



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO, MONTAJE Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN  
NUEVO EQUIPO DE BOMBEO EN EL TANQUE “EL MAESTRO”,  
ZONA 15, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA**

**Guillermo Alberto Martínez Reyes**

Asesorado por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, MONTAJE Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN  
NUEVO EQUIPO DE BOMBEO EN EL TANQUE “EL MAESTRO”,  
ZONA 15, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**GUILLERMO ALBERTO MARTÍNEZ REYES**  
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Víctor Eduardo Izquierdo Palacios
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO, MONTAJE Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN NUEVO EQUIPO DE BOMBEO EN EL TANQUE “EL MAESTRO”, ZONA 15, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 9 de abril de 2012.



**Guillermo Alberto Martínez Reyes**

Guatemala, 04 de febrero de 2013

Ingeniero  
**Julio César Campos Paiz**  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la revisión final del trabajo de graduación titulado, **DISEÑO, MONTAJE Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN NUEVO EQUIPO DE BOMBEO EN EL TANQUE "EL MAESTRO", ZONA 15, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA.** Presentado por el estudiante Guillermo Alberto Martínez Reyes, carné 2006 – 11506.

El trabajo se ha desarrollado de acuerdo con el programa y los objetivos iniciales planteados y considero que llena los requisitos para ser aprobado como trabajo de graduación.

Finalmente, considero importante resaltar la utilidad que el trabajo tendrá como apoyo a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica en el curso de Máquinas Hidráulicas y en la carrera de Ingeniería Civil en el área de Hidráulica.

Agradeciendo la atención a la presente, aprovecho la oportunidad de suscribirme de usted.

Atentamente



**Ing. José Ismael Véliz Padilla**  
Colegiado No. 3646

*José Ismael Véliz Padilla*  
INGENIERO MECÁNICO  
COL. 3646

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado DISEÑO, MONTAJE Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN NUEVO EQUIPO DE BOMBEO EN EL TANQUE “EL MAESTRO”, ZONA 15, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA, del estudiante Guillermo Alberto Martínez Reyes, recomienda su aprobación.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador de Área



Guatemala, febrero de 2013 .

/behdei.



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria, al Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO, MONTAJE Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN NUEVO EQUIPO DE BOMBEO EN EL TANQUE “EI MAESTRO”, ZONA 15, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA** del estudiante **Guillermo Alberto Martínez Reyes**, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio César Campos Paiz'.

Ing. Julio César Campos Paiz

**DIRECTOR**



Guatemala, junio de 2013

JCCP/behdei

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

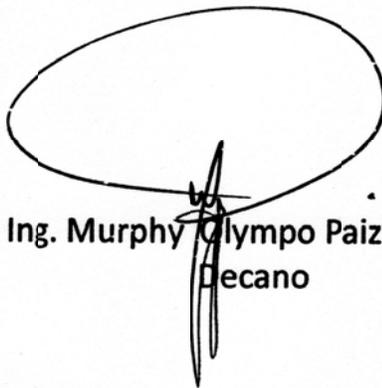


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 453 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO, MONTAJE Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN NUEVO EQUIPO DE BOMBEO EN EL TANQUE "EL MAESTRO", ZONA 15, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario: **Guillermo Alberto Martínez Reyes,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Glympto Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 26 de junio de 2013

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Iluminación constante en el transcurrir de mi carrera universitaria, para poder vencer todos los obstáculos que se presentaron.

### **Mis padres**

Guillermo Martínez Garoz e Irma Imelda Reyes de Martínez, por su apoyo incondicional en cualquier momento de mi vida estudiantil, lo cual me permitió alcanzar la meta trazada.

### **Mis amigos**

Por compartir alegrías, tristezas, preocupaciones y penas, pero siempre con visión de alcanzar nuestras metas juntos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por permitirme alcanzar una de mis principales metas en la vida y poder ser un profesional exitoso.
- Mis padres** Guillermo Martínez Garoz e Irma Imelda Reyes de Martínez, por brindarme el apoyo moral y económico en todo momento, para poder alcanzar este logro tan importante.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por abrirme las puertas y poder ingresar al mundo del saber, y llegar a ser una persona útil al desarrollo de nuestra querida patria.
- Instituto Guillermo Putzeys Álvarez** Por haber sido uno de mis pilares fundamentales en mi formación académica y de esta manera alcanzar el éxito profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. BOMBAS CENTRÍFUGAS .....	1
1.1. Clasificación y nomenclatura .....	1
1.1.1. Tendencias modernas en la variedad de capacidades pequeñas y medianas .....	3
1.1.2. Nomenclatura de bombas centrífugas.....	4
1.2. Impulsores.....	12
1.2.1. Tipos de flujo de impulsores.....	12
1.2.2. Tipos mecánicos de impulsores .....	19
1.2.2.1. Impulsores abiertos .....	20
1.2.2.2. Impulsores semiabiertos .....	21
1.2.2.3. Impulsores cerrados.....	22
1.2.2.4. Nomenclatura de impulsores .....	23
1.3. Diseños especiales: bombas verticales .....	24
1.3.1. Bombas verticales de foso seco.....	24
1.3.2. Bombas verticales de foso lleno.....	41
1.3.2.1. Bombas verticales de turbina .....	42
1.3.2.2. Aplicación de las bombas verticales de foso lleno.....	49
1.3.2.3. Arreglos típicos de bombas verticales ..	50

2.	ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CÁLCULO DE UN EQUIPO DE BOMBEO Y OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN NECESARIA.....	59
2.1.	Conceptos de hidráulica.....	59
2.2.	Definiciones básicas.....	63
2.3.	Obtención de la información necesaria .....	66
3.	DISEÑO Y CÁLCULO DEL NUEVO EQUIPO DE BOMBEO DEL SISTEMA.....	67
3.1.	Cálculo de la carga dinámica total (CDT) .....	67
3.2.	Cálculo del cuerpo de tazones o ensamble de tazones .....	68
3.2.1.	Cálculo de la carga por paso y número de pasos ...	68
3.2.2.	Cálculo de la potencia requerida .....	72
3.2.3.	Análisis de la flecha de tazones.....	74
3.3.	Cálculo de columna del equipo .....	79
3.3.1.	Tubo de columna.....	79
3.3.2.	Transmisión.....	80
3.3.2.1.	Transmisión en caso de lubricación agua .....	82
3.3.2.2.	Transmisión en caso de lubricación aceite.....	82
3.3.2.3.	Transmisión motriz .....	85
3.3.3.	Análisis de empuje y juego axial (estiramiento) .....	87
3.4.	Determinación del cabezal de descarga.....	90
3.5.	Cálculo del elemento motriz .....	91
3.6.	Consideraciones de ingeniería .....	91
3.6.1.	Análisis de la carga neta de succión positiva (NPSH).....	91

	3.6.1.1.	Carga neta de succión positiva requerida.....	91	
	3.6.1.2.	Carga neta de succión positiva disponible.....	92	
	3.7.	Cálculo del nuevo equipo de bombeo .....	97	
4.		EQUIPO DE BOMBEO DEL SISTEMA .....	103	
	4.1.	Equipo de bombeo y accesorios instalados .....	103	
		4.1.1. Datos de las bombas .....	103	
		4.1.2. Datos de los motores .....	104	
		4.1.3. Columnas de descarga .....	104	
		4.1.4. Manifold de descarga.....	105	
		4.1.5. Equipo de cloración .....	106	
	4.2.	Equipo eléctrico .....	107	
		4.2.1. Paneles.....	107	
			4.2.1.1. Panel de control .....	108
			4.2.1.2. Panel de transferencia múltiple semiautomática .....	110
			4.2.1.3. Panel de bomba 1 .....	112
			4.2.1.4. Panel de bomba 2 .....	115
		4.2.2. Acometida principal.....	118	
5.		OPERACIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO.....	119	
	5.1.	Operación hidráulica .....	119	
		5.1.1. Control y registro de presiones y caudales.....	119	
		5.1.2. Medición de niveles de agua en el tanque .....	120	
		5.1.3. Control del sistema de cloración .....	120	
	5.2.	Operación electromecánica .....	123	
		5.2.1. Secuencia para el encendido y apagado .....	123	

	5.2.1.1.	Procedimiento de encendido .....	123
	5.2.1.2.	Procedimiento del apagado .....	124
	5.2.1.3.	Control y registro de la operación eléctrica .....	124
5.3.		Condición de funcionamiento .....	124
	5.3.1.	Funcionamiento de los equipos .....	126
	5.3.2.	Arranque de las bombas.....	127
	5.3.2.1.	Arranque manual .....	127
	5.3.2.2.	Arranque automático .....	127
	5.3.3.	Señal de falla.....	129
	5.3.4.	Causas de la falla .....	130
	5.3.5.	Funcionamiento del clorador .....	131
	5.3.5.1.	Arranque manual .....	131
	5.3.5.2.	Arranque automático .....	131
	5.3.6.	Funcionamiento de la resistencia para deshumedecer el panel de control eléctrico.....	132
6.		MANTENIMIENTO A EQUIPO ELECTROMECAÁNICO .....	133
	6.1.	Mantenimiento de los manifold de descarga .....	134
	6.1.1.	Válvulas de compuerta .....	134
	6.1.2.	Manómetros .....	134
	6.1.3.	Válvulas de cheque horizontal.....	135
	6.1.4.	Válvulas de alivio.....	135
	6.1.5.	Medidores de caudal .....	137
	6.2.	Mantenimiento a bombas verticales .....	137
	6.2.1.	Inspección de las piezas que componen una bomba tipo turbina vertical.....	138
	6.2.2.	Armado de la bomba tipo turbina vertical.....	140
	6.3.	Mantenimiento a motores verticales .....	142

6.3.1.	Limpieza exterior y de los devanados .....	143
6.3.1.1.	Limpieza del aislamiento y devanados del motor .....	143
6.3.1.1.1.	Limpieza con aire comprimido.....	143
6.3.1.1.2.	Limpieza por aspiración .....	143
6.3.1.1.3.	Limpieza con solventes .....	144
6.4.	Mediciones eléctricas .....	144
6.4.1.	Medición de la resistencia de aislamiento .....	144
6.4.1.1.	Megger eléctrico.....	145
6.4.1.2.	Megger con fuente propia .....	146
6.4.2.	Verificación del voltaje y del amperaje .....	147
6.4.3.	Balanceo de la corriente del motor.....	147
6.4.4.	Revisar el calentamiento de los cojinetes.....	151
6.4.5.	Lubricación de los cojinetes .....	151
6.4.6.	Repaso total del motor .....	152
6.5.	Mantenimiento del equipo de cloración.....	153
6.5.1.	Actividades para dar un mantenimiento preventivo .....	153
6.5.2.	Desmontaje y limpieza integral del clorador .....	156
6.6.	Mantenimiento del panel y accesorios eléctricos del sistema.....	157
6.6.1.	Panel de control eléctrico.....	157
6.6.1.1.	Limpieza de contactos.....	158
6.6.1.2.	Prueba de disparo térmico .....	159
6.6.1.3.	Accesorios, cables y conexiones.....	159
6.6.2.	Contador de KW-h .....	160

6.6.3. Fusibles, cañas y transformadores .....	160
CONCLUSIONES .....	161
RECOMENDACIONES .....	163
BIBLIOGRAFÍA .....	165
APÉNDICES .....	167

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Esquema de una bomba centrífuga.....	1
2.	Bomba típica de un solo paso con succión en el extremo de voluta.....	4
3.	Bomba difusora típica.....	5
4.	Bombas de dos rotores .....	7
5.	Bomba horizontal de voluta doble de succión de un solo paso .....	8
6.	Vaso de bomba vertical difusora de foso lleno .....	9
7.	Vista de corte de una bomba de flecha vertical de succión en el extremo con una cubierta de doble voluta .....	10
8.	Impulsor cerrado de admisión sencilla con álabes derechos .....	13
9.	Impulsor cerrado de doble admisión con álabes Francis .....	14
10.	Impulsor cerrado de doble admisión con álabes Francis de alta velocidad específica.....	14
11.	Impulsor cerrado de admisión simple con álabes Francis de baja velocidad .....	15
12.	Impulsor abierto de flujo mixto.....	16
13.	Impulsor de flujo axial.....	16
14.	Variaciones de perfil de los impulsores que muestran el campo aproximado de las velocidades específicas.....	18
15.	Vista detallada de un impulsor de álabes radiales que no se obstruyen .....	19
16.	Impulsor para pulpa de papel.....	19
17.	Impulsores abiertos.....	20
18.	Impulsor abierto con caja parcial.....	21

19.	Impulsor semiabierto .....	21
20.	Impulsor abierto con caja parcial .....	22
21.	Partes de un impulsor de doble admisión .....	23
22.	Instalación de una bomba de flecha vertical de un solo paso y doble admisión .....	25
23.	Bomba vertical pequeña para aguas de albañal con transmisión intermedia.....	26
24.	Corte de la bomba de la figura 23.....	27
25.	Bomba vertical de aguas de albañal con motor directamente conectado .....	28
26.	Bomba vertical de voluta con succión de fondo con acoplamientos gobernados.....	29
27.	Bomba vertical de voluta de doble admisión con motor montado directamente.....	30
28.	Corte de una bomba vertical con impulsor de succión por arriba.....	32
29.	Corte de una bomba vertical con transmisión tubular .....	33
30.	Corte de una bomba vertical con transmisión sólida .....	35
31.	Baleros usados para cojinetes intermedios estables de transmisión....	36
32.	Cojinete autolubricado estable para transmisión vertical grande.....	37
33.	Corte de una bomba vertical de voluta grande con succión en el fondo con un solo cojinete guía .....	39
34.	Construcción de anillo de desgaste con falda extendida para bombas verticales grandes .....	41
35.	Corte de una bomba vertical de turbina con impulsores cerrados y línea de transmisión cubierta (lubricación de aceite).....	43
36.	Corte de una bomba vertical de turbina con impulsores cerrados y transmisión de línea abierta (lubricación con agua) .....	44
37.	Corte del tazón de una bomba vertical de turbina (impulsores cerrados) para conectarse a la transmisión encerrada .....	46

38.	Corte del tazón de una bomba vertical de turbina (impulsor abierto) para conectarse a la transmisión de línea abierta .....	47
39.	Bomba vertical de turbina de bote para servicio de condensado .....	49
40.	Estación de varias unidades con bombas verticales de voluta de foso seco longitudinal en todo el largo de una entrada de succión .....	51
41.	Estación de varias unidades con bombas verticales de voluta de foso lleno al extremo del conducto .....	52
42.	Estación de varias unidades con bombas verticales de hélice con abastecimiento de succión desde un extremo del pozo .....	53
43.	Estación de varias unidades con bombas verticales de hélice con abastecimiento de succión desde un extremo del pozo .....	54
44.	Diseño recomendado para canal y pozo .....	55
45.	Bomba vertical de hélice de foso lleno con válvulas de compuerta y charnela .....	57
46.	Bomba vertical de hélice de foso lleno con descarga de sifón.....	58
47.	Presión inferior del tanque igual a la presión necesaria para empujar el agua a la altura $h$ .....	61
48.	Definiciones básicas .....	65
49.	Curva de potencia consumida .....	73
50.	Pérdidas de potencia en la flecha o eje .....	74
51.	Cálculo de la flecha de tazones para bombas verticales .....	75
52.	Transmisión en caso de lubricación con agua .....	83
53.	Transmisión en caso de lubricación por aceite .....	84
54.	Tipos de transmisión .....	86
55.	Cabezales de descarga de lubricación, por agua y por aceite .....	90
56.	Datos para el cálculo del NPSH disponible .....	93
57.	Reporte de operación.....	122
58.	Esquema de la válvula de alivio .....	136
59.	Líneas que alimentan el motor desde el tablero de control.....	148

## TABLAS

I.	Nombres recomendados para partes de bombas centrífugas.....	11
II.	Cuadro de especificaciones para el cálculo de la flecha de tazones.....	76
III.	Clasificaciones de caballos de fuerza para ejes de transmisión de acero al carbón roscados estándar a 1 760 revoluciones por minuto .....	77
IV.	Diámetro inicial propuesto .....	80
V.	Selección del diámetro de la flecha en relación a los HP (máximo) en acero C-1045 rectificado y pulido a 1 760 revoluciones por minuto .....	81
VI.	Elongación del eje .....	89
VII.	Lectura de presiones atmosféricas correspondientes a diferentes altitudes.....	94
VIII.	Tabla de presión de vaporización del agua a diferentes temperaturas .....	96
IX.	Especificaciones de bombas .....	103
X.	Especificaciones de motores .....	104
XI.	Descripción de la columna de descarga .....	105
XII.	Accesorios del manifold de descarga .....	105
XIII.	Descripción del equipo de cloración .....	106
XIV.	Lista de componentes del panel de control.....	108
XV.	Componentes del panel de transferencia .....	110
XVI.	Componentes del panel de bomba 1 .....	112
XVII.	Componentes del panel de bomba 2 .....	115
XVIII.	Componentes de la acometida principal .....	118
XIX.	Cálculo de aplicación de cloro al día .....	121
XX.	Lecturas de corriente de un motor a plena carga.....	149

## GLOSARIO

<b>Aforo</b>	Determinar cuánta agua es capaz de dar una bomba en un pozo a cierta profundidad.
<b>Aguas de albañal</b>	Aguas sucias o residuales.
<b>Altura de elevación</b>	Es el nivel máximo al que se desea llevar el agua con respecto al cabezal de descarga.
<b>Cebado</b>	Cuando los conductos de la bomba se llenan con el líquido a bombear. El líquido reemplaza al aire, gas o vapor en los conductos.
<b>Empuje axial</b>	Suma de las fuerzas del impulsor no equilibradas que actúan en dirección axial.
<b>Megger</b>	Instrumento que se utiliza para la medición de aislamiento eléctrico en líneas de alta tensión.
<b>Prensaestopas</b>	Tiene la función principal de proteger la bomba contra fugas en el punto en que la flecha o eje sale de la carcasa de la bomba.
<b>Voluta</b>	Dispositivo que capta el líquido lanzado por el rodete impulsor y lo envía a la tubería de impulsión.



## **RESUMEN**

El presente trabajo de graduación es el resultado de la instalación de un nuevo equipo de bombeo realizada en el tanque El Maestro, zona 15, Municipalidad de Guatemala, el cual tiene como objetivo fundamental, proporcionar soluciones en respuesta a las necesidades reales de la población.

Se diseñó e instaló un nuevo equipo de bombeo porque los equipos que funcionaban anteriormente ya no abastecían a toda la población aledaña a este tanque. Se planteó un programa de mantenimiento, utilizando fichas de control para tener registros de los equipos.

Para el diseño se tomaron en cuenta todos los factores necesarios como: elevación topográfica, presión requerida, caudal necesario, entre otras. Se documentó todo lo referente a la instalación y elementos que componen cada equipo.

Se realizó el diseño y producción de hojas para los reportes de operación diaria que el operador tiene que llenar, fichas de control de registro de los equipos y se capacitó al personal para que el mantenimiento sea el óptimo.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Documentar el diseño, montaje y el plan de mantenimiento del nuevo equipo de bombeo en el tanque El Maestro, zona 15, Municipalidad de Guatemala.

### **Específicos**

1. Proveer un historial que documente el diseño y cálculo del nuevo equipo de bombeo en el tanque El Maestro.
2. Proveer un documento de referencia a los estudiantes y profesionales para la realización de un mantenimiento a un equipo de bombeo de este tipo.
3. Establecer los elementos de las bombas verticales tipo turbina que ameritan una continua inspección y mantenimiento.
4. Visualizar el antes y el después de realizadas las actividades de mantenimiento aplicadas al equipo de bombeo.



## INTRODUCCIÓN

La demanda de agua que hay en la ciudad de Guatemala, específicamente, en zonas aledañas al tanque El Maestro, ubicado en el arriate central del boulevard Vista Hermosa y 17 avenida D, zona 15, ha incrementado rápidamente al transcurrir de los años, debido al crecimiento poblacional y a la preferencia de la población para residir en este sector.

El equipo de bombeo instalado anteriormente ya no era capaz de satisfacer las necesidades requeridas, por lo que se propuso montar dos bombas verticales tipo turbina en el tanque y, así, mejorar el servicio que se brinda.

El presente estudio documentó todo lo referente al diseño y montaje de los equipos, para proveer un documento de referencia para futuras actividades preventivas y correctivas a bombas de este tipo, y con ello permitir el máximo aprovechamiento de recursos económicos y humanos.

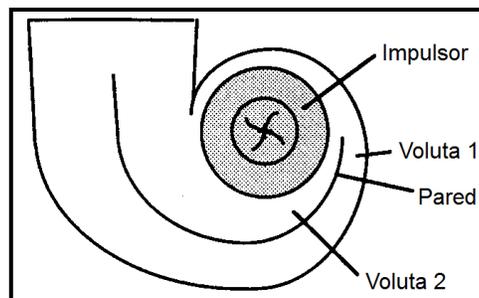


# 1. BOMBAS CENTRÍFUGAS

## 1.1. Clasificación y nomenclatura

Las bombas centrífugas son utilizadas en aplicaciones industriales más que cualquier otro tipo de bomba. Esto se debe porque estas ofrecen bajos costos iniciales y de mantenimiento. Tradicionalmente, bombas de este tipo han sido limitadas a aplicaciones con carga de baja presión. Los diseños modernos de bombas han superado este problema, ya que se requieren presiones muy altas. Entre las buenas características de estos tipos de dispositivos incluyen la fluidez y la capacidad de tolerar condiciones sin flujo.

Figura 1. **Esquema de una bomba centrífuga**



Fuente: KREITH, Frank. Mechanical engineering manual. p. 3-171.

Las partes más importantes de la bomba centrífuga son el impulsor y la voluta. Un impulsor puede tomar muchas formas, esencialmente, que van desde un disco giratorio a diseños con aletas elaboradas. Este último es usual. El diseño de un impulsor tiende a ser algo único para cada fabricante, así como encontrar una variedad de diseños para una variedad de aplicaciones. Un

ejemplo de un impulsor es mostrado en la figura 1. Este dispositivo imparte velocidad radial al fluido que entra a la bomba, y que entra perpendicular al impulsor. La voluta (puede haber una o más) realiza la función de disminuir el fluido e incrementar la presión.

Un factor muy importante en la especificación de una bomba centrífuga es la orientación y tipo de carcasa. Por ejemplo, la bomba puede ser orientada horizontal o verticalmente. El montaje horizontal es el más común. Las bombas verticales suelen ofrecer beneficios relacionados con la facilidad de cebado y reducción en la carga neta de succión positiva requerida. Este tipo, también requiere de menos espacio en el piso. Sumergible y tipo turbina son siempre del tipo vertical. Otro factor en el diseño es la forma que se divide la carcasa, y esto tiene implicaciones sobre la facilidad de fabricación y reparación. Las carcasas que están divididas perpendiculares al eje son llamadas radialmente divididas, mientras aquellas divididas paralelas al eje del árbol son denotadas como axialmente divididas. Esta última puede ser horizontal o verticalmente dividida. El número de pasos o etapas en la bomba afecta, de gran manera las características de descarga de esta. Varias etapas pueden ser incorporadas en la misma carcasa con un incremento asociado en la descarga de la bomba. Las bombas multietapas son frecuentemente usadas para aplicaciones con carga total de descarga mayor de 50 atmosferas o un equivalente de 735 psi.

Es importante si una bomba es autocebante o no. Si una bomba centrífuga es llenada con aire cuando esta es activada, la iniciación de acción de bombeo puede no ser suficiente para traer el fluido a la bomba. Las bombas pueden especificarse con características que puedan minimizar problemas de cebado.

### **1.1.1. Tendencias modernas en la variedad de capacidades pequeñas y medianas**

Una tendencia interesante en las bombas centrífugas de tamaño pequeño y mediano es la extensa unificación provocada por el hecho de que cerca del 60 por ciento de todas las bombas en uso son de diseño centrífugo, y más del 75 por ciento están en una clasificación de altura de elevación y capacidad que puede cubrirse con bombas normalizadas de succión en el extremo.

Un ejemplo típico de esta tendencia de unificación es la línea de bombas que consiste en varios extremos de líquido, todos apropiados para montarse de la forma siguiente:

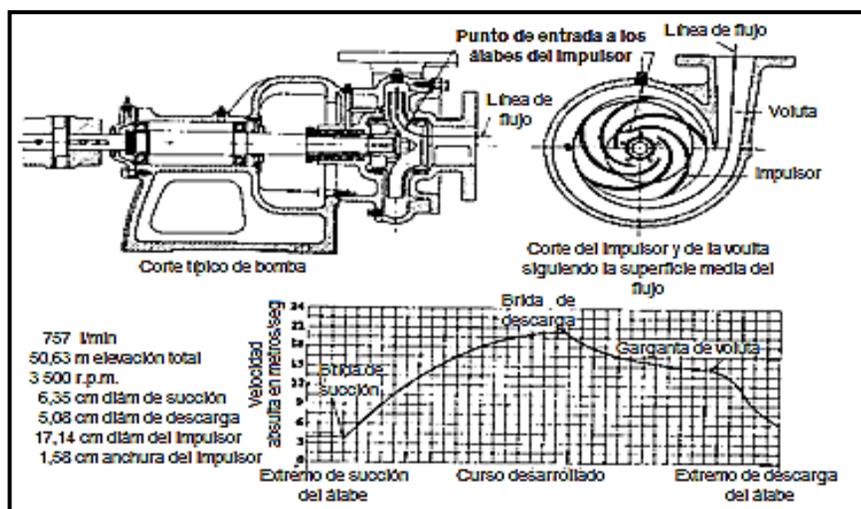
- En un motor para conexión de acoplamiento rígido
- En un soporte con chumaceras para impulsor acoplado o de banda
- En una turbina con acoplamiento rígido

Luego se incorporan muchas alternativas de norma en el plan básico, tanto en los materiales seleccionados como en construcción mecánica, eliminando así las especiales. El uso de una línea integral así da por resultado un servicio de entrega mejor, una selección más amplia de unidades normales y ahorro económico por el uso máximo de partes intercambiables. En un caso típico, un centenar de tamaños de bombas que usan partes intercambiables, pueden producir más de 60 000 combinaciones normales diferentes para ajustar a casi cualquier necesidad de los usuarios.

### 1.1.2. Nomenclatura de bombas centrífugas

En una bomba centrífuga se fuerza el líquido, ya sea por medio de presión atmosférica o de otra clase a un conjunto de paletas giratorias. Estas paletas constituyen un impulsor que descarga el líquido a una velocidad mayor en su periferia. Esta velocidad se convierte, entonces, en energía de presión por medio de una voluta, como se puede ver en la figura 2, o por medio de un conjunto de paletas difusoras estacionarias representadas en la figura 3, que rodean la periferia del impulsor. Las bombas con caja de voluta se llaman, generalmente, bombas de caracol, mientras que las de paletas difusoras se llaman bombas de boquilla o difusoras. Las bombas difusoras se llamaban, por lo común, bombas de turbina, pero este término últimamente se ha hecho más selectivo aplicándose a bombas centrífugas verticales difusoras de pozo profundo, llamándolas verticales de turbina.

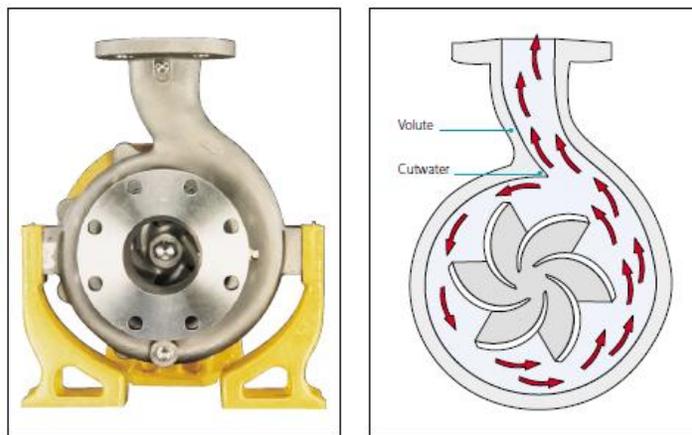
Figura 2. **Bomba típica de un solo paso con succión en el extremo de voluta**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 13.

La mayoría de la gente encuentra difícil imaginar la trayectoria del líquido al pasar por una bomba centrífuga. Esta trayectoria se muestra en la figura 2 para una bomba de caracol con succión en el extremo, operando a una capacidad normal (la capacidad a la que se obtiene la mejor eficiencia).

Figura 3. **Bomba difusora típica**



Fuente: A.W. CHESTERTON CO. Pump principles manual. p. 19.

Además de clasificarse en términos de conversación de energía, las bombas centrífugas se dividen en otras categorías, muchas de las cuales se refieren al impulsor. Primero, los impulsores se clasifican de acuerdo con la dirección principal del flujo en relación con el eje de rotación. Por lo tanto, las bombas centrífugas pueden tener:

- Impulsores de flujo radial.
- Impulsores de flujo axial, ahora llamados, generalmente, del tipo de hélice.
- Impulsores de flujo mixto, que combinan los principios de flujo radial y axial.

Estos impulsores se clasifican con mayor detalle, de acuerdo con el flujo a los bordes de succión en las paletas:

- Succión sencilla con una única entrada en un solo lado.
- Succión doble, con flujo de agua al impulsor simétricamente por ambos lados.

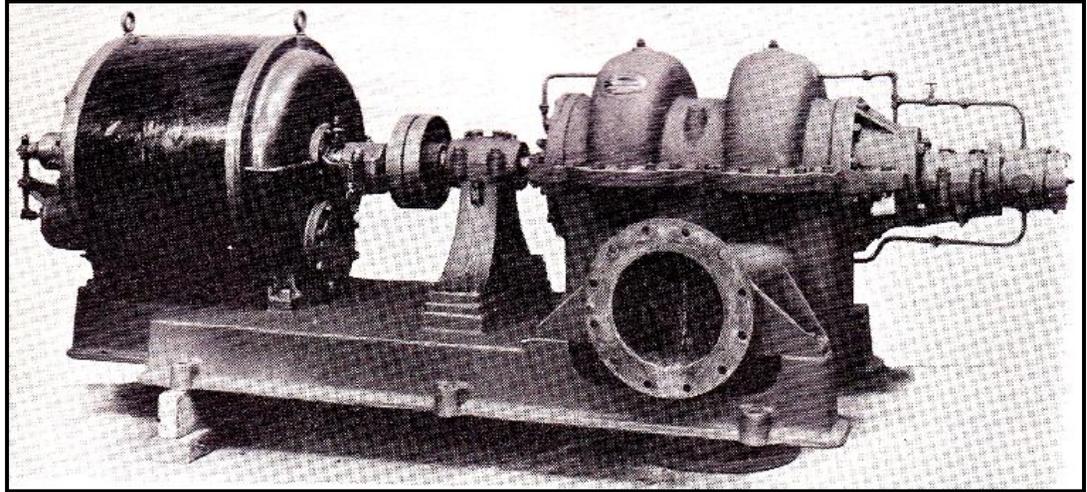
Los impulsores se clasifican de acuerdo con su construcción mecánica como sigue:

- Cerrado: con refuerzos o paredes laterales que encierran las vías de agua
- Abiertos: sin refuerzos
- Semiabiertos o semicerrados

Si la bomba es una, en la que la altura de elevación se desarrolla con un solo impulsor, tiene el nombre de bomba de un solo paso. Con frecuencia, la altura de elevación que se va a desarrollar requiere el uso de dos o más impulsores operando en serie, tomando cada uno su succión de la descarga del impulsor anterior. Para este objetivo pueden conectarse en serie dos o más bombas de un solo paso o pueden incorporarse en una sola cubierta todos los impulsores. La unidad se llama, en este caso, bomba de varios pasos (de succión).

Al principio del desarrollo de las bombas centrífugas, las bombas de dos rotores, como la de la figura 4, y aún de tres rotores eran bastante comunes. De hecho, estas eran dos bombas de media capacidad cada una o tres de una tercera parte de la capacidad construidas en una sola cubierta y operadas en paralelo.

Figura 4. **Bombas de dos rotores**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 14.

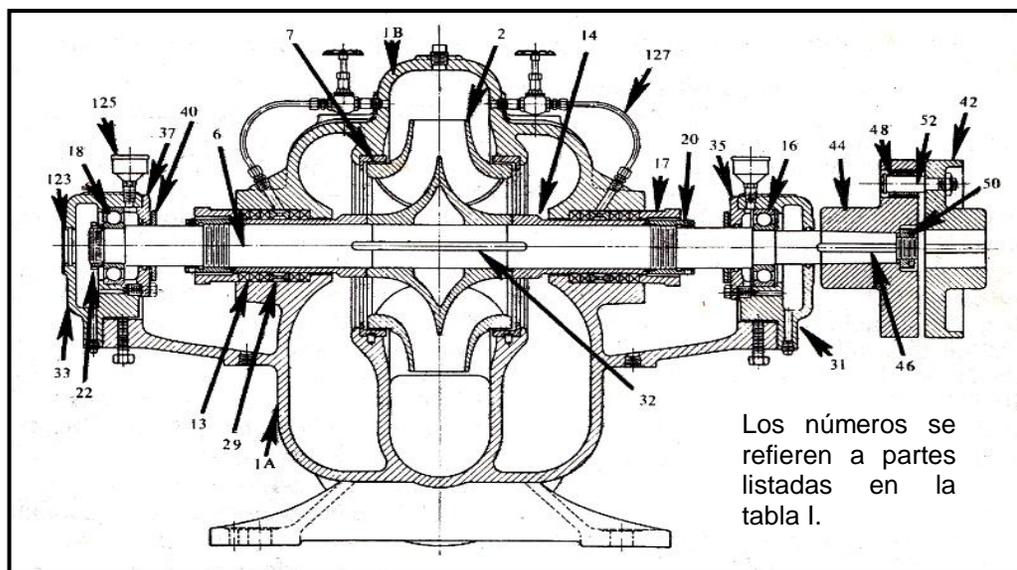
El diseño mecánico de las cubiertas origina la clasificación adicional de las bombas de seccionamiento axial o radial y el eje de rotación determina si la bomba es de flecha horizontal, de flecha vertical o (ocasionalmente) de flecha inclinada. Generalmente, a estas se les llama simplemente unidades horizontales y verticales.

Las bombas centrífugas horizontales se clasifican de acuerdo con la colocación de la boquilla de succión:

- En el extremo
- Lateral
- De fondo
- Superior

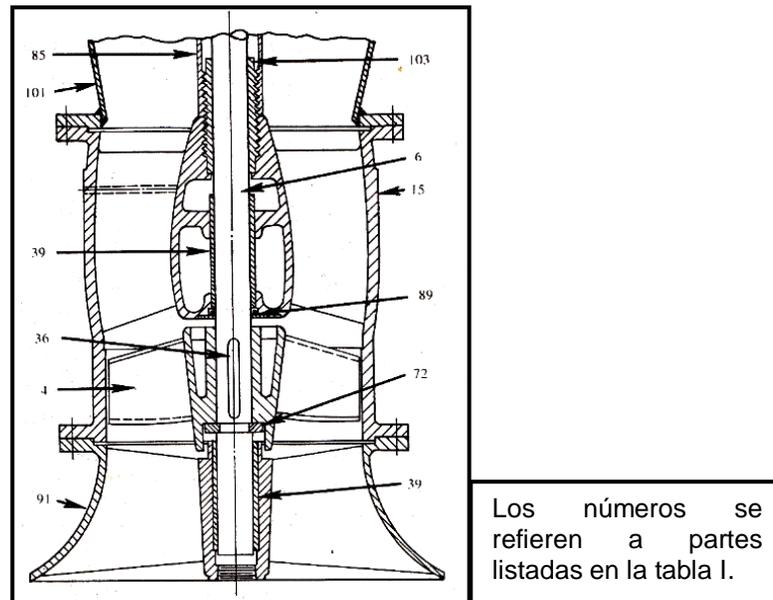
Algunas bombas operan con el flujo total del líquido conducido a la bomba y desde ella, por medio de tuberías. Otras bombas, con más frecuencia los tipos verticales, están sumergidas en su alimentación de succión. Por lo tanto, las bombas de flecha vertical se llaman de tipos de foso vacío o de foso lleno. Si las bombas de foso lleno son de flujo axial, de flujo mixto o del tipo de turbina vertical, el líquido se descarga hacia arriba por el vertedor soporte o columna de tubería a un punto de descarga, ya sea arriba o abajo del piso de soporte. A estas bombas se les designa, consecuentemente, como unidades de descarga sobre tierra o bajo tierra.

Figura 5. **Bomba horizontal de voluta doble de succión de un solo paso**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 15.

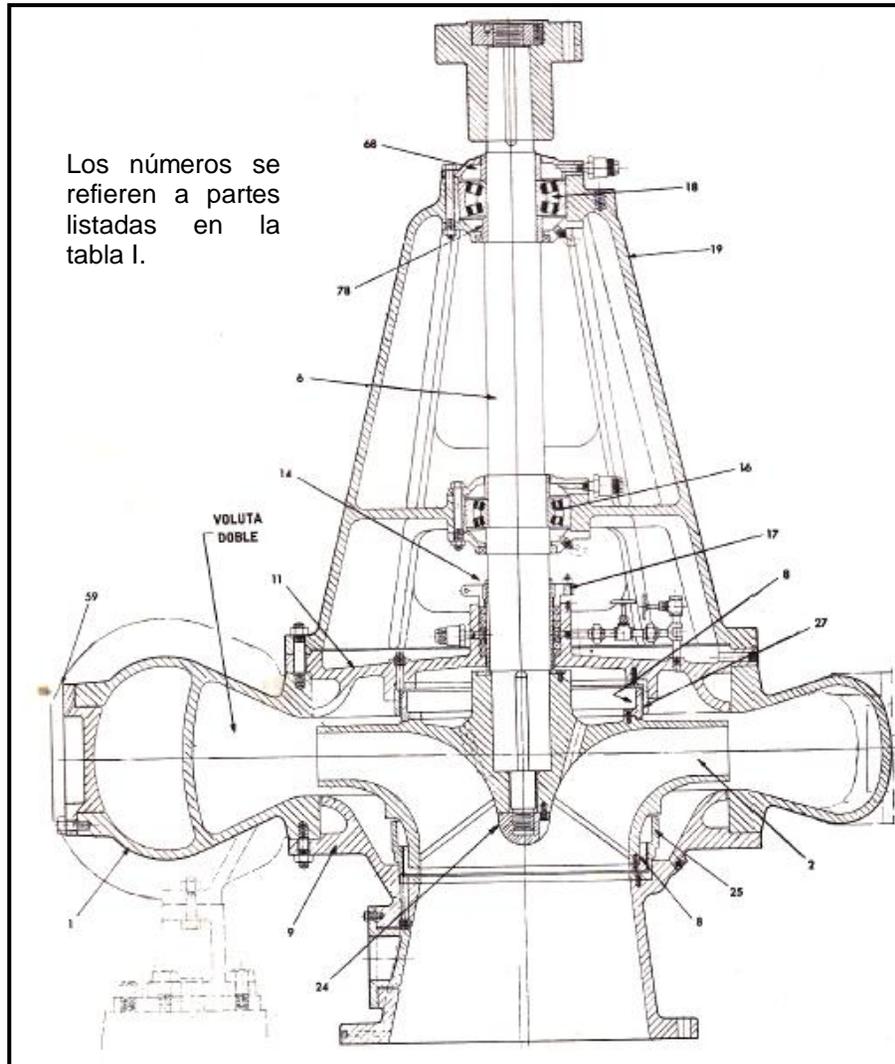
Figura 6. **Vaso de bomba vertical difusora de foso lleno**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 15.

Los elementos básicos de una bomba centrífuga son su impulsor, la cubierta, la flecha y las chumaceras, pero hay otras partes necesarias. Les han dado diferentes nombres los distintos fabricantes, lo cual, con frecuencia, produce confusión. Las figuras 5 y 6 muestran la construcción típica de una bomba horizontal de voluta de doble succión y la sección del tazón de una bomba de una etapa de flujo axial de hélice (impelente). Una bomba vertical de voluta de foso seco de una sola succión puede verse en la figura 7.

Figura 7. **Vista de corte de una bomba de flecha vertical de succión en el extremo con una cubierta de doble voluta**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 26.

Tabla I. **Nombres recomendados para partes de bombas centrífugas**

<b>Parte No.</b>	<b>Nombre de parte</b>	<b>Parte No.</b>	<b>Nombre de parte</b>
1.	Cuerpo, cárter, cubierta o caja	33.	Portabalero (exterior) o envolvente del rodamiento
1A.	Cubierta (parte inferior)	35.	Tapa de cojinete (interior)
1B.	Cubierta (parte superior)	36.	Cuña de la hélice (impelente)
2.	Impulsor	37.	Tapa de cojinete (exterior)
4.	Hélice	39.	Manguito del cojinete
6.	Flecha de la bomba	40.	Retén
7.	Anillo de la cubierta	42.	Acoplamiento (mitad motora)
8.	Anillo del impulsor	44.	Acoplamiento (mitad de la bomba)
9.	Tapa de la succión	46.	Cuña de acoplamiento
11.	Tapa del estopero	48.	Manguito del acoplamiento
13.	Empaque	50.	Tuerca de seguridad del acoplamiento
14.	Manga de la flecha	52.	Perno del acoplamiento
15.	Vaso de descarga de la bomba	59.	Tapa de registro para inspección
16.	Chumacera (o balero) interior	68.	Collar de la flecha
17.	Prensa-estopas	72.	Collar de tope o ajuste
18.	Chumacera (o balero) exterior	78.	Separador o espaciador de cojinete
19.	Soporte, armazón estructura o bastidor	85.	Cubierta tubular de la flecha
20.	Tuerca de la manga de la flecha	89.	Sello
22.	Tuerca de seguridad del balero	91.	Vaso de succión
24.	Tuerca del impulsor	101.	Columna de tubería
25.	Anillo de la cabeza de succión	103.	Cojinete de conexión
27.	Anillo de la tapa del estopero	123.	Cojinete y tapa
29.	Farol	125.	Copa (aceitera) o de engrase
31.	Portabalero (interior) o envolvente del rodamiento	127.	tubo para sello (sin costura)
32.	Cuña del impulsor		

Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 16.

## **1.2. Impulsores**

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

### **1.2.1. Tipos de flujo de impulsores**

Con base en el diseño de la entrada de agua, los impulsores se clasifican en:

- Impulsores de admisión simple
- Impulsores de doble admisión

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

Para el diseño de cubierta axialmente dividida de un solo paso para servicio general, se prefiere un impulsor de doble admisión por dos razones. Primero, está en teoría balanceada hidráulicamente en el eje, eliminando la necesidad de un cojinete de empuje de gran tamaño constantemente sujeto a toda la carga. Segundo, la mayor área de succión en un impulsor de doble admisión, comparada con el diseño de uno de admisión simple, permite que la

bomba opere con menos carga positiva de succión neta para una capacidad dada.

Para unidades pequeñas, el impulsor de admisión simple es más práctico para fabricarse que el de doble admisión, porque las vías de agua no están divididas en dos conductos muy estrechos. Algunas veces se prefiere un impulsor de admisión simple por razones estructurales. Las bombas de succión por el extremo con impulsores volantes tienen ventajas tanto de costo inicial como de mantenimiento que no se obtienen con un impulsor de admisión doble. Por lo tanto, la mayoría de las bombas con cubierta radialmente dividida, usa impulsores de admisión simple. Debido a que un impulsor volante no requiere una extensión de la flecha dentro de su ojo de succión, se prefiere para bombas que manejan materias en suspensión como las aguas de albañal.

En bombas de varios pasos, los impulsores de admisión simple se usan casi universalmente por la complicación de diseño, costo inicial y mantenimiento que requiere la etapa de admisión doble.

Figura 8. **Impulsor cerrado de admisión sencilla con álabes derechos**



Fuente: bodega de materiales de emergencia I, EMPAGUA.

Figura 9. **Impulsor cerrado de doble admisión con álabes Francis**



Fuente: [www.simsite.com/Public/editor/0340.jpg](http://www.simsite.com/Public/editor/0340.jpg). Consulta: septiembre de 2012.

Figura 10. **Impulsor cerrado de doble admisión con álabes Francis de alta velocidad específica**



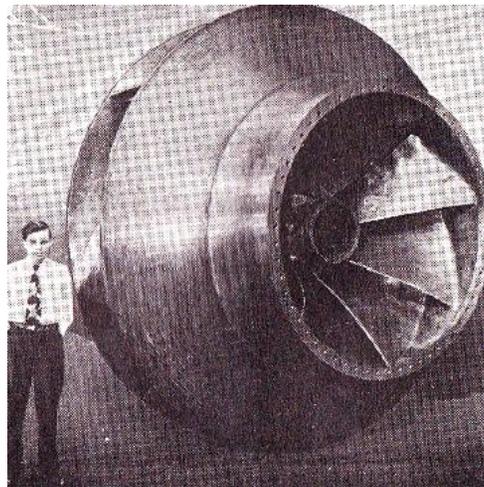
Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 52.

Los impulsores pueden también clasificarse por la forma y modelado de sus álabes:

- El impulsor de álabes derechos puede observarse en las figura 8 y figuras 17 a la 20
- El impulsor de álabes Francis puede observarse en las figuras 9 a la 11
- El impulsor de flujo mixto se puede ver en la figura 12
- El propulsor o impulsor de flujo axial se puede ver en la figura 13

En un impulsor de álabes derechos, las superficies de los álabes se generan por líneas rectas paralelas al eje de rotación. A estos también se les llama álabes de curvatura simple.

Figura 11. **Impulsor cerrado de admisión simple con álabes Francis de baja velocidad**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 52.

Figura 12. **Impulsor abierto de flujo mixto**



Fuente: [i01.i.aliimg.com/photo/v0/463511669/Open\\_impeller.jpg](http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/463511669/Open_impeller.jpg). Consulta: 23 de septiembre de 2012.

Figura 13. **Impulsor de flujo axial**



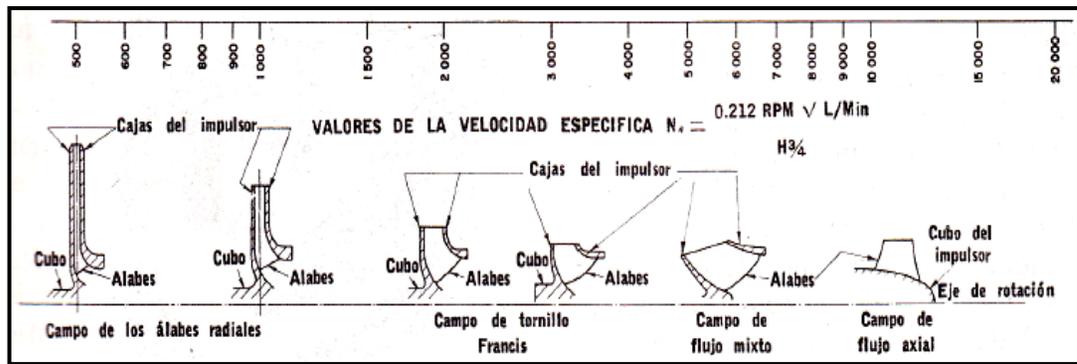
Fuente: bodega de materiales de emergencia I, EMPAGUA.

Las superficies de los álabes en un impulsor de álabes Francis tienen doble curvatura. A este impulsor, con frecuencia se le llama ábabe de tornillo Francis o impulsor de ábabe de tornillo.

Un diseño de impulsor que tiene tanto componentes de flujo radial como axial se llama impulsor de flujo mixto. Generalmente se restringe a diseños de admisión simple con una velocidad específica de más de 4 200 rpm. Los tipos con velocidades específicas más bajas se llaman impulsores de álabe tipo Francis. Los impulsores de flujo mixto con un componente de flujo radial muy pequeño, por lo general, se designan como hélices. En una hélice verdadera o impulsor de flujo axial, el flujo es estrictamente paralelo al eje de rotación. En otras palabras, se mueve solo axialmente.

La relación de perfiles de impulsor a velocidad específica para impulsores de admisión se muestra en la figura 14. La clasificación de los impulsores de acuerdo con el molde del álabe es arbitraria, porque los tipos de impulsor se superponen en varios tipos de bombas. Por ejemplo, los impulsores de bombas de admisión simple y doble de baja velocidad específica tienen álabes que se extienden a través del ojo de succión. Este arreglo produce un estilo de flujo mixto en la entrada del impulsor para pequeñas pérdidas de elevación a velocidades giratorias altas, pero permite que la porción de descarga siga el principio de los álabes derechos. En bombas de velocidades específicas más altas operando contra cargas hidrostáticas bajas, los impulsores tienen álabes de doble curvatura que se extienden en toda su superficie. Son, por lo tanto, completamente impulsores del tipo Francis. El impulsor de flujo mixto, generalmente de tipo de admisión simple, es esencialmente la mitad de un impulsor de álabes Francis de doble admisión y alta velocidad específica.

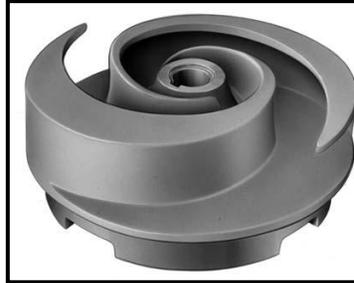
Figura 14. **Variaciones de perfil de los impulsores que muestran el campo aproximado de las velocidades específicas**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 53.

Muchos impulsores están diseñados para aplicaciones específicas. Por ejemplo, el diseño de impulsor convencional con bordes afilados en los álabes y áreas restringidas no es apropiado para manejar líquidos que contienen trapos, materiales fibrosos y sólidos como el agua de albañal debido a la obstrucción. Se han desarrollado impulsores especiales que no se obstruyen con bordes romos y vías de agua amplias, como se muestra en la figura 15, para esos servicios. Para bombas de tamaños no mayores de 39,5 a 40,0 cm estos impulsores que no se obstruyen solo tienen dos álabes. Las bombas de tamaños más grandes normalmente usan tres o cuatro álabes. El diseño del impulsor usado para bombas de pulpa de papel es totalmente abierto, no se obstruye y tiene álabes de tornillo y radiales currentilíneos, esto se puede ver en la figura 16. El extremo conductor de tornillo sobresale bastante dentro de la boquilla de succión, permitiendo el manejo de material de alta consistencia de pulpa de papel.

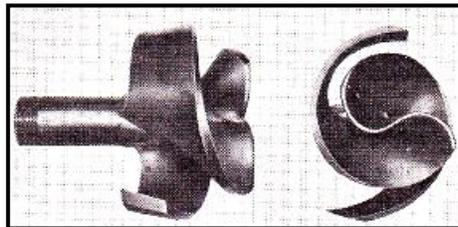
Figura 15. **Vista detallada de un impulsor de álabes radiales que no se obstruyen**



Fuente: BYMISA. [www.bymisa.mx/img/2011/08/24/1/20110824010914\\_07309000.jpg](http://www.bymisa.mx/img/2011/08/24/1/20110824010914_07309000.jpg).

Consulta: 23 de septiembre de 2012.

Figura 16. **Impulsor para pulpa de papel**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 54.

### 1.2.2. Tipos mecánicos de impulsores

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

- Completamente abiertos
- Semiabiertos
- Completamente cerrados

### 1.2.2.1. Impulsores abiertos

Hablando estrictamente, en un impulsor abierto como puede verse en las figuras 17 y 18, consiste únicamente de álabes. Estos están sujetos a un cubo central para montarse en la flecha sin forma alguna de pared lateral o cubierta. La desventaja de este impulsor es su debilidad estructural. Si los álabes 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 manejan líquidos abrasivos (en las que el impulsor gira entre dos placas laterales, entre las paredes de la cubierta de la voluta, o entre la tapa del estopero y la de succión). El espacio libre entre los álabes del impulsor y las paredes laterales permite cierto deslizamiento de agua (similar a la pérdida de una bomba recíprocante). Este deslizamiento aumenta al aumentar el desgaste. Para restaurar la eficiencia original se deben reponer tanto el impulsor como las placas laterales. Esto, incidentalmente, requiere un gasto mayor del que se incurriría en bombas de impulsor cerrado en la que la junta de escurrimiento la forman simples anillos.

Figura 17. Impulsores abiertos



Fuente: bodega de materiales de emergencia I, EMPAGUA.

Figura 18. **Impulsor abierto con caja parcial**



Fuente: bodega de materiales de emergencia I, EMPAGUA.

### 1.2.2.2. **Impulsores semiabiertos**

El impulsor semiabierto, figura 19, comprende una cubierta o una pared trasera del mismo. Se pueden incluir o no, álabes de salida; estos están localizados en la parte posterior de la cubierta del impulsor, como puede verse en la figura 20. 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 19. **Impulsor semiabierto**



Fuente: bodega de materiales de emergencia I, EMPAGUA.

Figura 20. **Impulsor abierto con caja parcial**



Fuente: DURCOMEX. [www.imbo.com.mx/images/impulsorbajosflujos.jpg](http://www.imbo.com.mx/images/impulsorbajosflujos.jpg). Consulta: 23 de septiembre de 2012.

### **1.2.2.3. Impulsores cerrados**

El impulsor cerrado, figuras 8 a la 11, que casi siempre se usa 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. Aunque este diseño evita el escurrimiento de agua que ocurre entre un impulsor abierto o semiabierto y sus placas laterales, es necesaria una junta movable entre los impulsores y la cubierta para separar las cámaras de succión descarga de la bomba. Esta junta movable generalmente formada por una superficie cilíndrica relativamente corta en la cubierta del impulsor que gira dentro de una superficie cilíndrica estacionaria ligeramente más grande. Si se hace una o ambas superficies renovables, la junta que escurra puede repararse cuando el desgaste cause una pérdida excesiva.

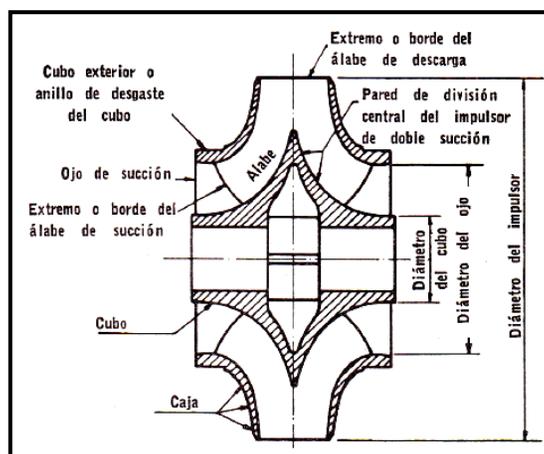
Si la flecha de la bomba termina en el impulsor, de modo que este esté soportado por cojinetes solo en un lado, se dice que es un impulsor volante. Este tipo de construcción es mejor para bombas de succión en el extremo con impulsores de admisión simple.

#### 1.2.2.4. Nomenclatura de impulsores

La entrada del impulsor, precisamente antes de los álabes se llama ojo de succión y puede verse en la figura 21. En una bomba de impulsor cerrado, el diámetro del ojo de succión se toma como el diámetro interior más pequeño de la cubierta. Para determinar el área del ojo de succión, se resta el área ocupada por el cubo de la flecha del impulsor.

Por definición, un 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. La expresión, sin embargo, se usa también frecuentemente para la parte del impulsor que gira dentro de la cubierta de ajuste o dentro del anillo de desgaste de la cubierta. En este caso se le llama cubo exterior del impulsor o el cubo de anillo de desgaste de la cubierta.

Figura 21. Partes de un impulsor de doble admisión



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 55.

### **1.3. Diseños especiales: bombas verticales**

Las bombas de flecha vertical caen dentro de dos clasificaciones distintas:

- De foso seco
- De foso lleno

Las de foso seco operan rodeadas de aire, mientras que las de foso lleno están total o parcialmente sumergidas en el líquido manejado.

#### **1.3.1. Bombas verticales de foso seco**

Las bombas de foso seco con cojinetes exteriores incluyen la mayoría de las bombas verticales de agua de albañal pequeñas, medianas y grandes; la mayoría de las bombas medianas y grandes de drenaje e irrigación para altura de elevación mediana y alta; muchas bombas grandes de circulación a condensadores y de suministro de agua; y muchas bombas marinas. Algunas veces se prefiere el diseño vertical, especialmente para bombas marinas, porque ocupa menos lugar en el piso. Otras veces es conveniente montar una bomba a una elevación baja debido a las condiciones de succión y entonces también es preferible o necesario tener su impulsor a una elevación más alta. La bomba vertical se usa normalmente, para aplicaciones de capacidad muy grande porque es más económica que la de tipo horizontal.

Figura 22. **Instalación de una bomba de flecha vertical de un solo paso y doble admisión**



Fuente: TACO. [www.peacocksalesco.com/images/taco\\_p1.jpg](http://www.peacocksalesco.com/images/taco_p1.jpg). Consulta: 23 de septiembre de 2012.

Muchas bombas verticales de foso seco son básicamente diseños horizontales con pequeñas modificaciones, generalmente en los cojinetes, para adaptarlas al impulsor de flecha vertical, como puede verse en la figura 22. Lo contrario es cierto en bombas pequeñas y de tamaño mediano para servicio de aguas de albañal; un diseño puramente vertical es el más popular para ese servicio. La mayoría de estas bombas de alcantarillado tienen boquillas de succión de codo, figuras 23 a la 25, porque su abastecimiento de succión generalmente se toma de un pozo lleno adyacente al foso en el que está instalada la bomba. El codo de succión, por lo general, contiene un agujero para mano con tapa removible que permite un acceso fácil al impulsor.

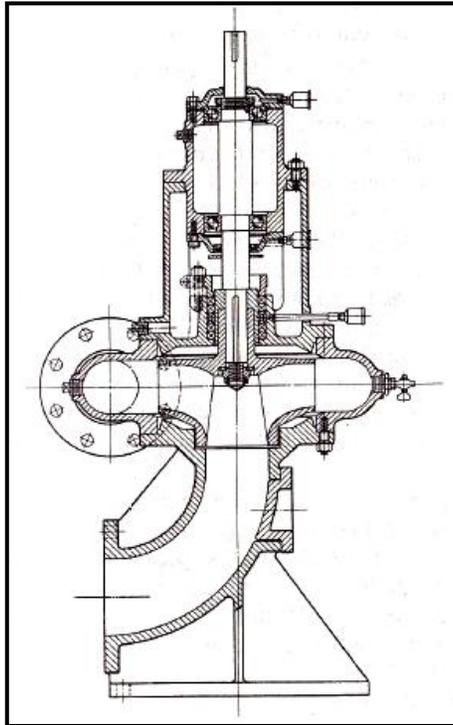
Figura 23. **Bomba vertical pequeña para aguas de albañal con transmisión intermedia**



Fuente: LEVO. [levo.ec/wp-content/themes/eStore/timthumb.php?src=http://levo.ec/wp-content/uploads/2011/09/5410-2410-Bombas-de-eje-vertical-para-manejo-de-solidos.jpg&w=300&zc=1](http://levo.ec/wp-content/themes/eStore/timthumb.php?src=http://levo.ec/wp-content/uploads/2011/09/5410-2410-Bombas-de-eje-vertical-para-manejo-de-solidos.jpg&w=300&zc=1). Consulta: 23 de septiembre de 2012.

Si se quiere desarmar una de estas bombas, hay que desatornillar la cabeza del estopero de la cubierta, después de que la flecha intermedia o el motor y el soporte del motor se han quitado. El conjunto del rotor se saca hacia arriba, completo con la cabeza del estopero, la caja del cojinete y todo lo demás. Este conjunto de rotor se puede, entonces, desarmar completamente en un lugar apropiado.

Figura 24. **Corte de la bomba de la figura 23**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 167.

Las instalaciones de flecha vertical de bombas de admisión sencilla con un codo de succión se suministran frecuentemente con una base de pedestal de codo, como puede verse en la figura 23. Estas se pueden atornillar a zapatas de cimiento y aun empotrarse en cemento. El arreglo de empotramiento no es muy conveniente a menos que se tenga la completa seguridad de que el pedestal o el codo nunca serán movidos o de que el espacio lechadeado es bastante regular y que la lechada se separará de la bomba sin dificultad excesiva.

Figura 25. **Bomba vertical de aguas de albañal con motor directamente conectado**



Fuente: LEVO. [levo.ec/wp-content/themes/eStore/timthumb.php?src=http://levo.ec/wp-content/uploads/2011/09/5430-Bomba-de-eje-vertical-acoplada-a-Motor-para-manejo-de-solidos-para-carcamo-seco.jpg&w=300&zc=1](http://levo.ec/wp-content/themes/eStore/timthumb.php?src=http://levo.ec/wp-content/uploads/2011/09/5430-Bomba-de-eje-vertical-acoplada-a-Motor-para-manejo-de-solidos-para-carcamo-seco.jpg&w=300&zc=1). Consulta: 23 de septiembre de 2012.

Las bombas verticales de admisión sencilla con succión en el fondo se usan con frecuencia en grandes aplicaciones de aguas de albañal, suministro de agua o circulación a condensadores. Estas bombas están provistas con patas de aletas que se atornillan en zapatas empotradas en pedestales de concreto o pilares, como se muestra en la figura 26. En ocasiones las patas de aletas pueden empotrarse directamente en los pedestales. Estos deben estar arreglados convenientemente para proporcionar acceso adecuado a cualquier registro para mano en la bomba centrífuga y, para permitir holgura para la boquilla de succión de codo si se usan estos.

Figura 26. **Bomba vertical de voluta con succión de fondo con acoplamientos gobernados**



Fuente: LEVO. [levo.ec/wp-content/themes/eStore/timthumb.php?src=http://levo.ec/wp-content/uploads/2011/09/Bomba-vertical-de-Flujo-angular-para-manejo-de-solidos.jpg&w=300&z=1](http://levo.ec/wp-content/themes/eStore/timthumb.php?src=http://levo.ec/wp-content/uploads/2011/09/Bomba-vertical-de-Flujo-angular-para-manejo-de-solidos.jpg&w=300&z=1). Consulta: 23 de septiembre de 2012.

Si se aplica una bomba vertical a servicio de condensado o algún otro, para el cual el ojo del impulsor deba ventilarse para evitar restricción por vapor, una bomba centrífuga con un impulsor de admisión sencilla en el fondo no es conveniente porque no permite la ventilación efectiva. Tampoco lo es una bomba vertical que emplee un impulsor de doble admisión, como puede verse en la figura 27. El diseño más apropiado para esas aplicaciones consiste de un impulsor con admisión sencilla superior, como se puede ver en la figura 28.

Figura 27. **Bomba vertical de voluta de doble admisión con motor montado directamente**



Fuente: VCP S.A. [www.vcpsa.com/productos/imagenes/b2.png](http://www.vcpsa.com/productos/imagenes/b2.png). Consulta: 23 de septiembre de 2012.

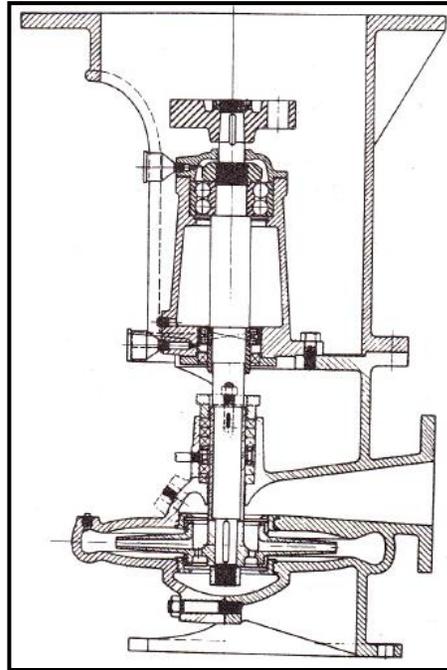
Si el impulsor de una bomba vertical de foso seco puede localizarse inmediatamente arriba de la bomba, con frecuencia está soportada por la bomba misma, como puede verse en la figura 25. Las flechas de la bomba y del impulsor pueden conectarse con un acoplamiento flexible que requiere que cada uno tenga su cojinete de empuje propio. Si la flecha de la bomba está acoplada rígidamente a la flecha del impulsor o es una extensión de ella, se usa un cojinete de empuje común, normalmente en el impulsor.

Aunque los motores impulsores están montados frecuente y precisamente arriba de la cubierta de la bomba, una razón importante para el uso del diseño de la flecha vertical es la posibilidad de localizar los motores a una elevación suficientemente arriba de las bombas para evitar su inundación accidental. La bomba y su impulsor pueden estar separados por una transmisión de longitud

apreciable que puede requerir cojinetes fijos entre las dos unidades. Es de extrema importancia que estos cojinetes fijos se encuentren rígidamente soportados y mantenerse en estricto alineamiento. El soporte, por lo general, se proporciona con vigas de acero estructural horizontales conectadas a la estructura de la pared, a pesar que en ocasiones se utiliza un soporte vertical similar. Para que pueda ocurrir la correcta operación de la transmisión vertical, la desviación de los cojinetes de guía verticales en cualquier condición de operación debe mantenerse dentro de los límites establecidos por el diseño de los ejes y la velocidad de operación. En unidades pequeñas un canal colocado entre las paredes de la estación da soporte adecuado en todas direcciones. Las unidades más grandes con cargas de reacción mayores en los cojinetes de guía pueden requerir dos canales o vigas con listones de celosía. Algunas instalaciones incluyen vigas de concreto reforzado en la estructura. Naturalmente, si el diseño del edificio requiere la construcción de un piso intermedio, este piso puede usarse para soportar los cojinetes de guía.

La transmisión más común que conecta una bomba centrífuga de tamaño pequeño o mediano con su impulsor utiliza la unión universal y el tubo ranurado, como puede verse en la figura 29. La sección más baja tiene una unión universal en ambos extremos mientras que la sección superior (si se usa más de una) tiene un cojinete de guía que soporta el extremo inferior y una unión universal en el extremo superior. Esa transmisión compensa el desalineamiento angular y como la sección inferior incluye una unión acanalada, también compensa cualquier discrepancia pequeña de longitud. En caso de que la velocidad lo permita es posible obtener secciones de flecha hasta de 3,04 m de longitud o más. Las secciones más largas de 3 m se tuercen fácilmente y por esta razón deben manejarse cuidadosamente. Como este sistema de ejes no transmite el empuje, tanto la bomba como el impulsor deben tener un cojinete de empuje.

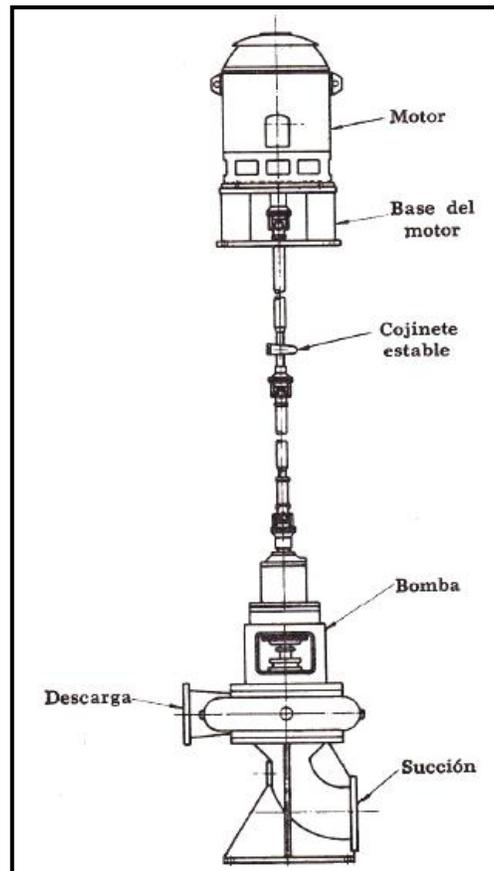
Figura 28. **Corte de una bomba vertical con impulsor de succión por arriba**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 170.

Aunque un motor eléctrico se puede montar directamente en zapatas empotradas en el suelo, algunas veces es necesaria una plataforma separada para que pueda levantarse el motor para dar acceso al acoplamiento. Ocasionalmente, se colocan vigas removibles directamente a través de una abertura grande en el suelo para servir como montadura del motor. Este método permite fácil acceso a las bombas centrífugas para darles servicio y simplifica bajarlas a su lugar durante la instalación inicial.

Figura 29. **Corte de una bomba vertical con transmisión tubular**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 171.

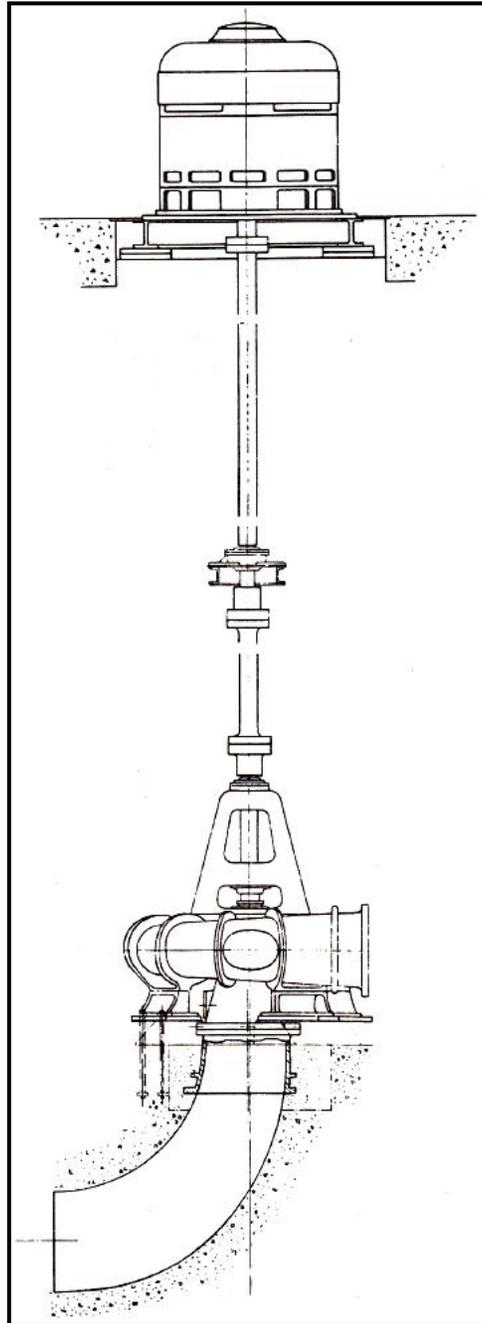
Un impulsor soportado en una plataforma arriba del suelo deja acceso a la conexión de bridas y a la unión universal superior con el objetivo de atornillarla y relubricarla. Si el impulsor usa transmisión de flecha hueca en vez de una de construcción sólida, debe proveerse con una cabeza de flecha guiada por un cojinete inferior para actuar en la misma capacidad. El peso de esta transmisión, excluyendo el de la unión universal más baja, lo resiste el motor, porque siempre que no sea extremadamente larga, el peso total implicado es relativamente pequeño y se puede usar un motor con empuje normal. En

realidad, las transmisiones huecas son mucho más caras que las sólidas. Pero la unión universal básica se usa tanto en automóviles y camiones que es un producto casi de fabricación en serie, y el aumento de costo que representa sobre la transmisión sólida es muy razonable.

Las bombas que requieren más torque en su transmisión intermedia del que pueden resistir los tamaños disponibles de transmisión con uniones universales usan transmisión sólida, ya sea con acoplamientos sólidos o flexibles. Si se usan acoplamientos sólidos o rígidos, solo se necesita un cojinete de empuje (generalmente en el impulsor) y todos los demás son solo cojinetes de guía. Esta transmisión tiene la desventaja de requerir un alineamiento muy preciso de todos los cojinetes, lo cual es una proeza difícil para transmisiones abiertas que emplean más de tres cojinetes.

Las transmisiones verticales sólidas que usan acoplamientos flexibles, generalmente consisten de varias secciones de flecha (incluyendo la bomba y el impulsor), que tienen cada una, dos o posiblemente tres cojinetes conectados por secciones de flechas fluctuantes y un acoplamiento flexible dirigido o guiado en cada extremo, trabajando en efecto como una unión universal, como se muestra en la figura 26. Naturalmente cada sección debe tener un cojinete de empuje para sostener el peso de la sección de flecha.

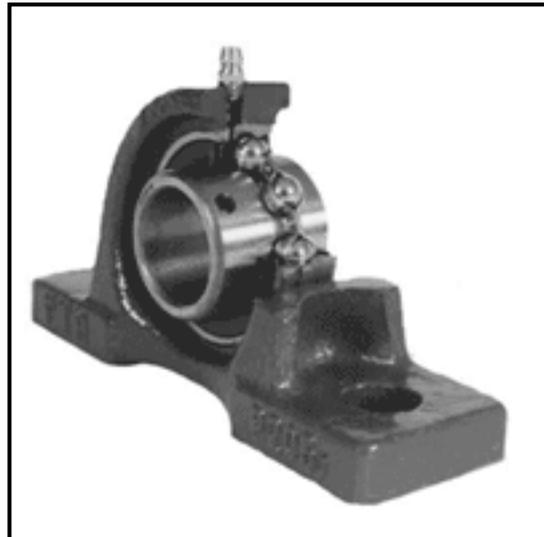
Figura 30. **Corte de una bomba vertical con transmisión sólida**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 171.

La transmisión intermedia para bombas grandes que requieren flechas grandes es, generalmente, de construcción sólida con acoplamientos sólidos de bridas que con frecuencia están forjadas en las secciones de la flecha, como se ve en la figura 30.

Figura 31. **Baleros usados para cojinetes intermedios estables de transmisión**

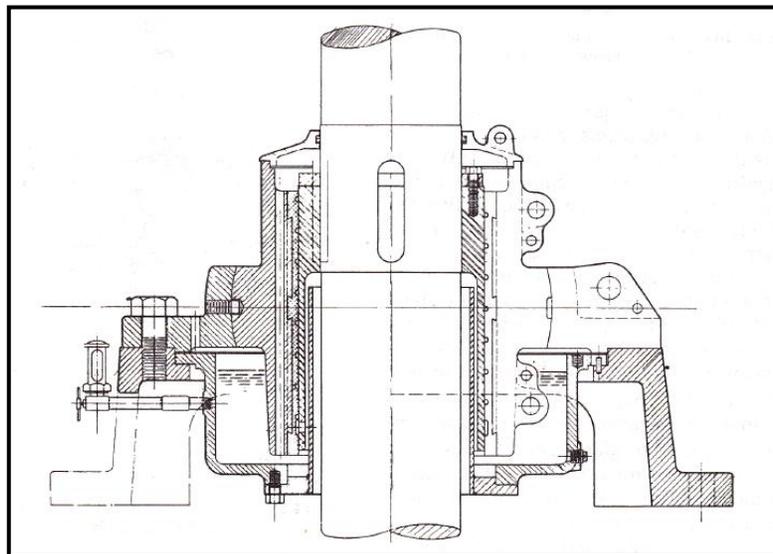


Fuente: REPAISUR. [www.repaisur.com/images/content/chumacerasAnimacion.gif](http://www.repaisur.com/images/content/chumacerasAnimacion.gif). Consulta: 23 de septiembre de 2012.

El tamaño de la transmisión usada para una instalación puede finalmente determinarse por el torque que se va a transmitir. Sin embargo, si se desea una determinada distancia entre cojinetes debido a que ya existen los soportes (pisos o vigas), puede ser que se necesite una flecha de mayor tamaño que la requerida por el torque para que la velocidad de operación sea lo suficientemente menor que la velocidad crítica. Por esta razón, lo que se hace con frecuencia, es tener la primera velocidad crítica más alta que cualquier

velocidad de operación o de desbocamiento de la bomba. La velocidad crítica de una flecha sólida vertical es una función directa del diámetro e inversa del cuadrado de la separación entre los cojinetes. Si una flecha va a correr al doble de velocidad de otra, deberá ser de doble tamaño en diámetro para la misma distancia entre cojinetes o su separación permisible entre ellos se reducirá al 70 por ciento de la permitida con la velocidad más baja.

Figura 32. **Cojinete autolubricado estable para transmisión vertical grande**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 172.

Los cojinetes para bombas verticales de foso seco y para usos de guías intermedias son, generalmente, cojinetes antifricción que están lubricados con grasa para simplificar el problema de retener un lubricante en la caja con una flecha atravesándola verticalmente. Unos baleros típicos como cojinetes estables intermedios de la flecha se muestran en la figura 31. Las unidades más grandes para las que no se tienen cojinetes antifricción no son utilizables o

convenientes, y se usan cojinetes con babbitt autolubricables o cojinetes con babbitt aceitados con alimentación forzada con un sistema de lubricación separada, como puede verse en las figuras 32 y 33. La figura 33 ilustra un diseño de bomba vertical de foso seco con un cojinete lineal del tipo de una sola manga. La bomba está conectada por un acoplamiento rígido a su motor (que no se muestra en la ilustración), que se provee con un cojinete de empuje y uno de alineamiento.

Los soportes para cojinetes de guía de las transmisiones verticales que conectan una bomba centrífuga con su impulsor deben ser suficientemente rígidos. La carga radical, generalmente, se supone que es la misma que si la unidad estuviera en posición horizontal. Con esta carga, la desviación de los soportes en cualquier dirección no deberá exceder de  $\Delta$  en la siguiente ecuación:

$$\Delta = 300 n_c^2$$

En la cual

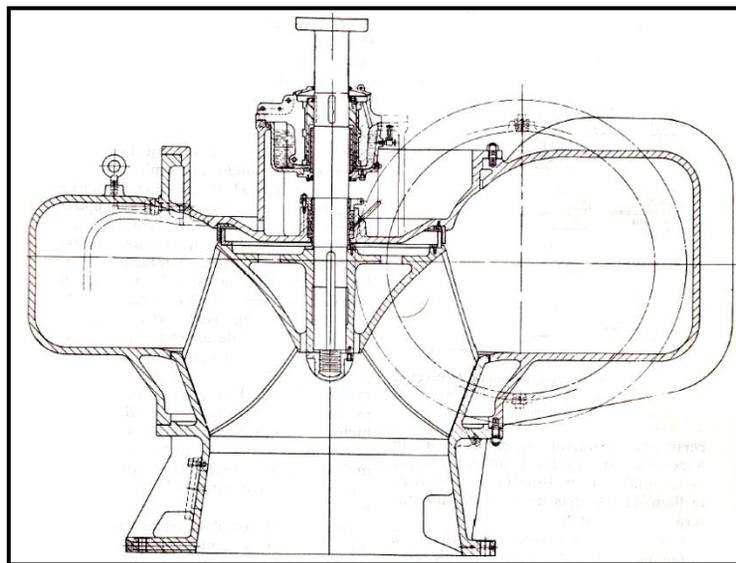
$\Delta$  = desviación en centímetros

$n_c$  = velocidad crítica de la transmisión en rpm

Esta velocidad crítica es por lo general 125 por ciento de la velocidad giratoria de la bomba o algún valor arriba de la posible velocidad de desbocamiento para compensar el paso en sentido inverso de la bomba. Si son vigas o canales las que soportan los cojinetes, el diseño de estos últimos naturalmente depende de las separaciones entre ellos, la fuerza radial, y la desviación permitida. Las instalaciones de bombas pequeñas con separaciones cortas generalmente requieren un solo canal (al cual se fijan con suma facilidad

los cojinetes montados verticalmente). Las unidades más grandes con separación grande, con frecuencia requieren canales bastante separadas o vigas con refuerzo reticular (para las cuales es más conveniente un cojinete montado horizontalmente que descansa directamente en las vigas o en una placa de puente). Estas consideraciones tienden a hacer preferibles los cojinetes montados verticalmente para unidades pequeñas y cojinetes montados horizontalmente para unidades grandes.

Figura 33. **Corte de una bomba vertical de voluta grande con succión en el fondo con un solo cojinete guía**



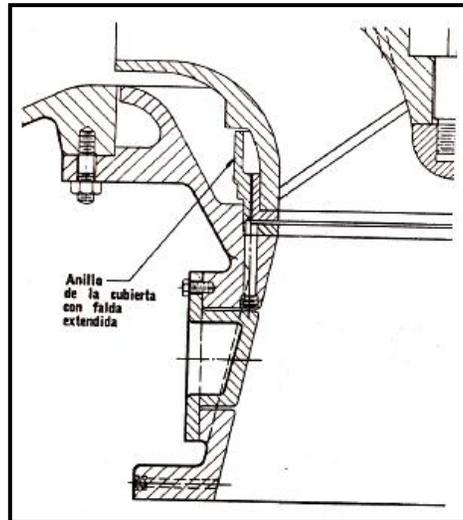
Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 173.

Las bombas centrífugas verticales de foso seco son estructuralmente similares a las bombas de flecha horizontal. Se debe hacer notar, sin embargo, que muchas de las bombas de voluta de un solo paso de admisión sencilla (generalmente de fondo) que se prefieren para bombeo de agua de grandes tormentas, drenaje, irrigación, aguas de albañal y plantas de suministro de

agua, no tienen un equivalente comparable entre las unidades de flecha horizontal. La cubierta básica de sección en U de estas bombas, que es estructuralmente débil, con frecuencia requiere el uso de costillares fuertes para darles suficiente rigidez. En la práctica comparable de turbinas de agua, un juego de álabes (llamado rueda directriz) se usa entre la cubierta y el rotor para actuar como un puntal. Aunque la rueda directriz no afecta adversamente la operación de una turbina hidráulica, funcionaría básicamente como un difusor en una bomba por las limitaciones hidráulicas inherentes de esa construcción. Algunas bombas de gran altura de elevación de este tipo se han hecho con el diseño de doble voluta. La pared que separa las dos volutas de la bomba centrífuga de foso seco, trabaja como una costilla de refuerzo de la cubierta, haciendo así más fácil el diseño de una cubierta para bombas centrífugas lo bastante fuerte para la presión implicada, como se puede ver en la figura 7.

Las bombas verticales equipadas con impulsores de admisión sencilla de fondo, como en la figura 24 tienen una junta de escurrimiento entre el anillo de desgaste del cubo del impulsor y la cabeza de succión. Cuando las bombas de este tipo manejan agua arenosa, la arenisca se asienta durante los períodos de parada y concentra en esta junta o cerca de ella. Tan pronto como la bomba se arranca de nuevo, esta concentración de arena se arrastra a través de la junta de escurrimiento causando desgaste. Las bombas más grandes pueden recurrir a una construcción de anillo, como la que muestra la figura 34, en la que el anillo estacionario se extiende sobre la cabeza de succión para formar una bolsa para que la arena se deposite en ella y de la que se pueda lavar con chorro periódicamente. Este y otros refinamientos son posibles en las bombas centrífugas grandes, pero no en las pequeñas.

Figura 34. **Construcción de anillo de desgaste con falda extendida para bombas verticales grandes**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 174.

### 1.3.2. **Bombas verticales de foso lleno**

Las bombas verticales dedicadas a la operación sumergida se fabrican en un gran número de diseños dependiendo, principalmente del servicio para el que se destinan. Por lo tanto, las bombas centrífugas de foso lleno se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Bombas verticales de turbina
- Bombas de hélice o hélice modificada
- Bombas para aguas de albañal
- Bombas de voluta
- Bombas de colector

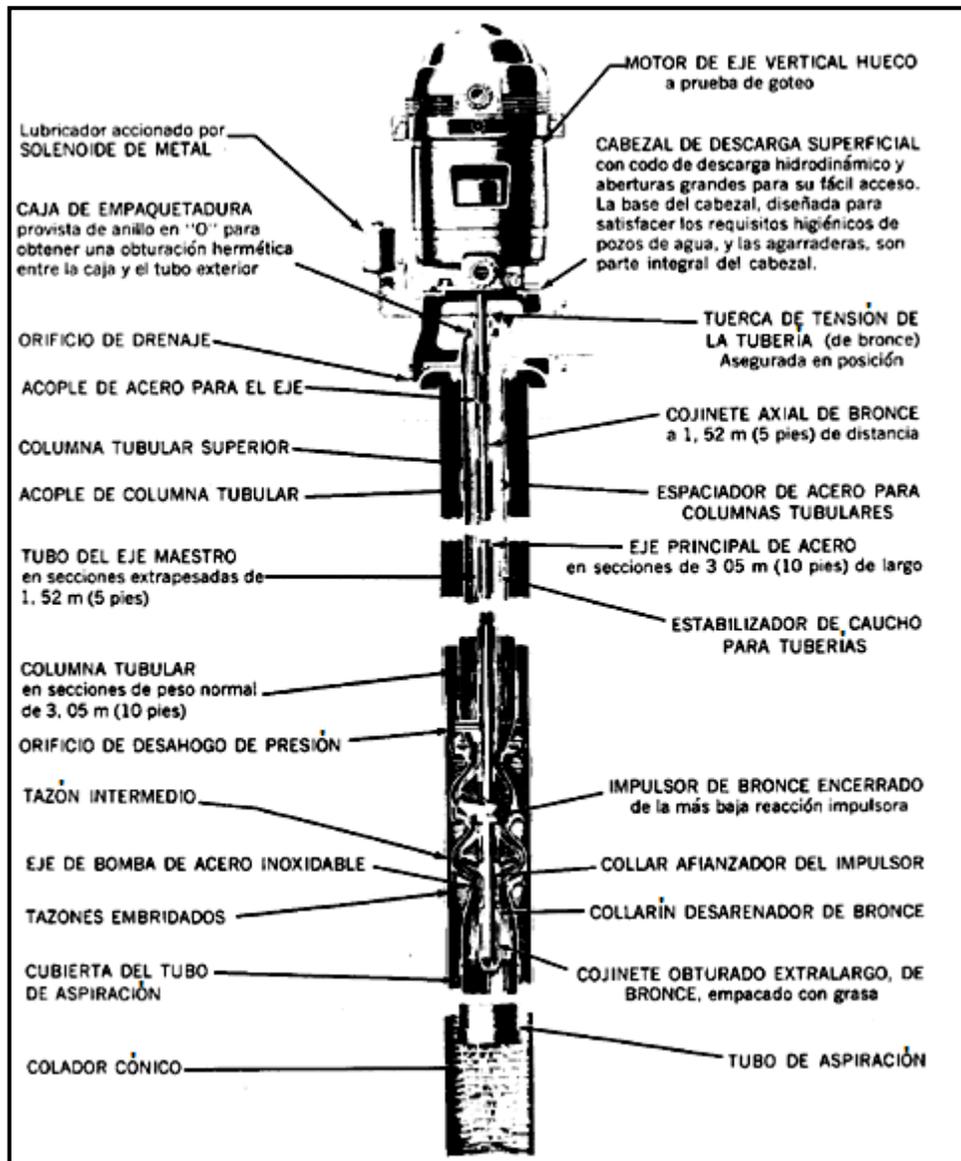
### **1.3.2.1. Bombas verticales de turbina**

Las bombas verticales de turbina se desarrollaron originalmente para bombear agua de pozos y se les ha llamado bombas de pozo profundo, bombas de pozo de turbina y bombas de agujero. Como su aplicación a otros campos ha aumentado, el nombre de bombas verticales de turbina ha sido adoptado por los fabricantes en lo general. Esta designación no es muy específica porque el término bomba de turbina se ha aplicado en el pasado a cualquier bomba que empleara un difusor. Actualmente hay una tendencia a designar las bombas que usan álabes de difusión como bombas de voluta. Al hacerse más universal esa designación, la aplicación del término bombas verticales de turbina a la construcción anteriormente llamada bombas de pozo de turbina será más específica.

Los campos de mayor aplicación para la bomba vertical de turbina son los bombeos de pozos para irrigación y otros propósitos agrícolas, para abastecimiento municipal y abastecimientos industriales de agua, proceso, circulación, refrigeración y acondicionamiento de aire. Este tipo de bomba, también se ha usado para bombear salmuera, desaguado de minas, represión de campos petroleros y otros trabajos.

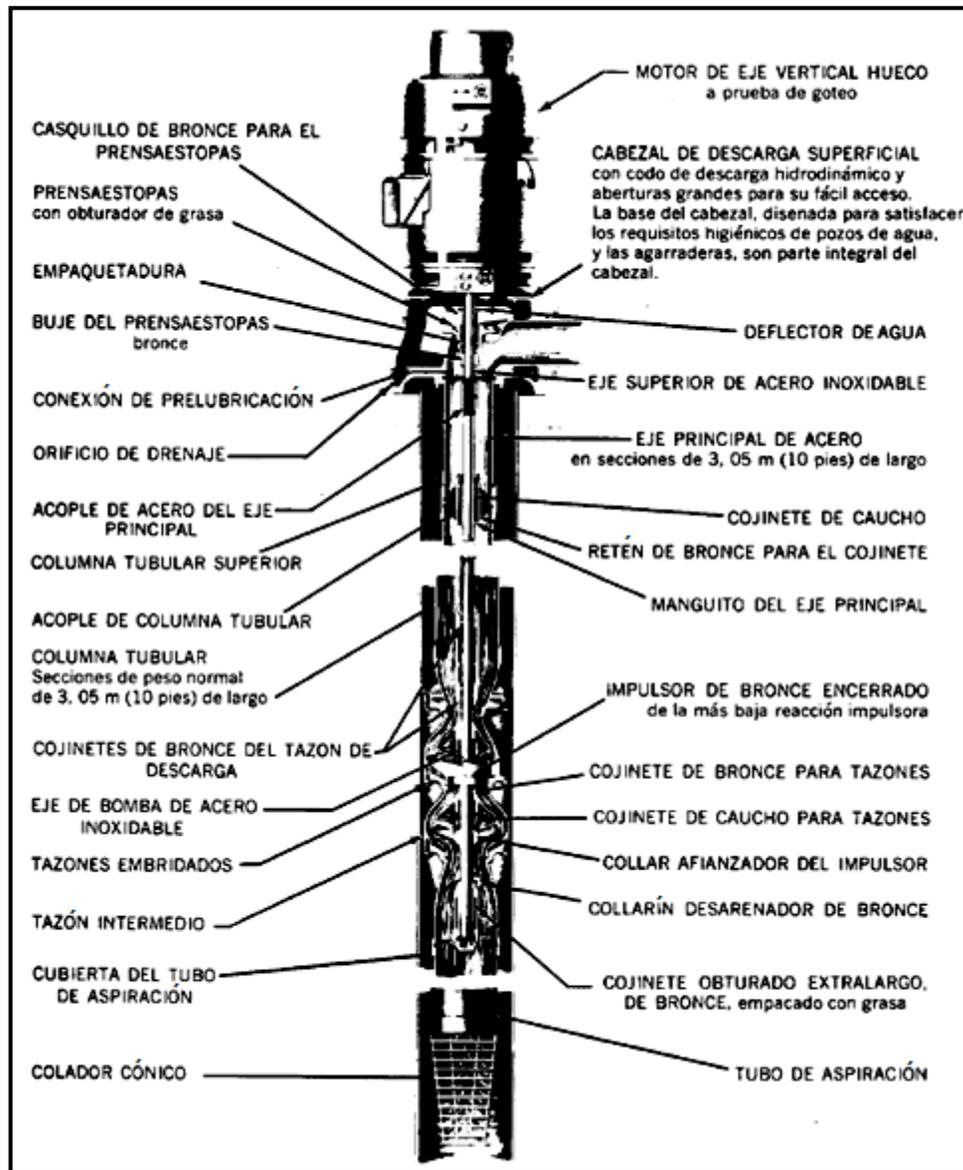
Estas bombas se han hecho para capacidades tan bajas como 38 a 52 lt/min y tan altas como 94 625 lt/min o más, y para alturas de elevación hasta de 305 m; la mayoría de las aplicaciones naturalmente es con las capacidades más pequeñas. La capacidad de las bombas usadas para pozos perforados está naturalmente limitada por el tamaño físico del pozo, así como la velocidad con la que se puede sacar sin bajar su nivel a un punto de sumergencia insuficiente de la bomba.

Figura 35. Corte de una bomba vertical de turbina con impulsores cerrados y línea de transmisión cubierta (lubricación de aceite)



Fuente: FERRECCIO NOSIGLIA, Antonio. Estaciones de bombeo, bombas y motores utilizados en abastecimiento de agua. p. 7.

Figura 36. Corte de una bomba vertical de turbina con impulsores cerrados y transmisión de línea abierta (lubricación con agua)



Fuente: FERRECCIO NOSIGLIA, Antonio. Estaciones de bombeo, bombas y motores utilizados en abastecimiento de agua. p. 6.

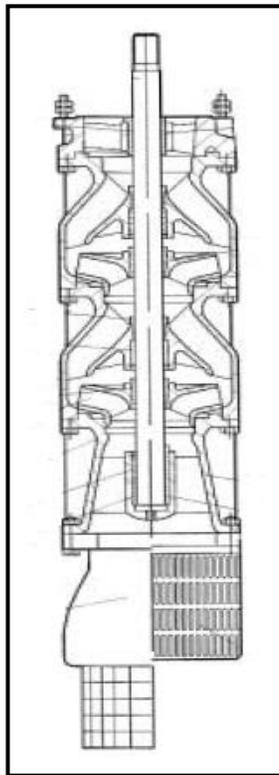
Las bombas verticales de turbina deberán diseñarse con una flecha que pueda fácilmente subirse o bajarse desde arriba para permitir el ajuste apropiado de la posición del impulsor en el tazón. También es necesario un cojinete de empuje adecuado para soportar la transmisión vertical, el impulsor y el empuje hidráulico desarrollado cuando la bomba está en servicio. El mecanismo impulsor también debe tener un cojinete de empuje para soportar su flecha vertical, que generalmente se le provee con uno de tamaño adecuado para aguantar también las partes de la bomba. Por estas dos razones, el motor o engrane con flecha hueca es lo más utilizado para impulsar bombas verticales de turbina. Además, estas bombas se hacen algunas veces con sus propios cojinetes de empuje para permitir un impulsor de banda o el impulso por medio de un acoplamiento flexible con un motor de flecha sólida, engrane o turbina. Las bombas con doble impulsor generalmente emplean un engrane de ángulo con un motor eléctrico montado en su parte superior.

El diseño de bombas verticales ilustra cómo una bomba centrífuga puede especializarse para desempeñar una aplicación específica. La figura 35 ilustra un diseño de turbina con impulsores cerrados y una transmisión lineal cubierta. La figura 36 ilustra otro diseño de turbina con impulsores cerrados y flecha lineal abierta.

El conjunto o sección del tazón consiste en: la caja de succión (llamada también cabeza de succión o álabe de entrada), el o los impulsores, el tazón de descarga, el o los tazones intermedios (si se trata de más de un paso), la caja de descarga, los distintos cojinetes, la flecha y diversas partes como cuñas, dispositivos fijadores de los impulsores y otras similares. El conjunto de columna de tubería consiste de la propia columna de tubo, la transmisión arriba del conjunto del tazón, los cojinetes de la flecha y la cubierta de tubería o retenes de los cojinetes. La bomba está suspendida de la cabeza impulsora,

que consiste en el codo de descarga (para descarga arriba del nivel del suelo), el motor o soporte del impulsor, y ya sea estopero (en construcción de flecha abierta) o el conjunto para suministrar tensión a la cubierta de tubería e introducir lubricante a ella. La descarga a nivel subterráneo se toma de una te en la columna de tubo y la cabeza impulsora trabaja principalmente como un soporte para el impulsor y para la columna de tubería.

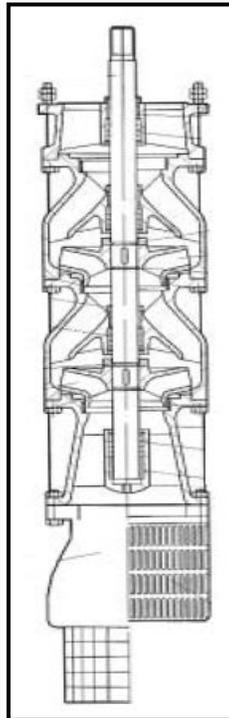
Figura 37. **Corte del tazón de una bomba vertical de turbina (impulsores cerrados) para conectarse a la transmisión encerrada**



Fuente: IDEAL. Manual de uso y mantenimiento. p. 39.

El líquido es guiado al impulsor de la bomba vertical de turbina por la caja o cabeza de succión. Esta puede ser una sección cónica, como puede verse en las figuras 37 y 38, para fijarse a una coladera o tubería de succión cónica o puede ser una boca acampanada.

Figura 38. **Corte del tazón de una bomba vertical de turbina (impulsor abierto) para conectarse a la transmisión de línea abierta**



Fuente: IDEAL. Manual de uso y mantenimiento. p. 39.

Los impulsores semiabiertos y encerrados se utilizan comúnmente. Para espacios libres apropiados en los distintos pasos, el impulsor semiabierto requiere más cuidado al armar en la flecha del impulsor y un ajuste más preciso en el campo de la posición vertical de la flecha para obtener la mejor eficiencia. Se prefieren los impulsores encerrados a los semiabiertos, además, porque el

desgaste en estos últimos reduce la capacidad, que no puede restaurarse a menos que se instalen nuevos impulsores. El desgaste normal en los impulsores encerrados no afecta los álabes del impulsor y los espacios desgastados pueden restaurarse reponiendo los anillos de desgaste. El empuje producido por los impulsores semiabiertos puede ser hasta 150 por ciento mayor que el producido por los impulsores encerrados.

Ocasionalmente, en las plantas de fuerza, el nivel máximo de agua que se puede tener en el pozo caliente del condensador, no dará una adecuada altura neta de succión positiva, *net positive suction head* (NPSH) para una bomba horizontal de condensado convencional montada en el piso del sótano, especialmente si la unidad se ha instalado en una planta existente en un espacio original asignado a una bomba de menor tamaño. Construir un foso para una bomba horizontal de condensado convencional o de una bomba vertical de foso seco que proporcione suficiente sumersión, implica un gasto considerable. Las bombas del diseño que se muestra en la figura 39, se han hecho muy populares para esa aplicación. Esta es básicamente una bomba vertical de turbina montada en un tanque (con frecuencia llamado bote) que se entierra en el suelo. La longitud de la bomba tiene que ser tal que se cuente con suficiente NPSH para el diseño del impulsor del primer paso, y el diámetro y longitud del tanque tiene que permitir el flujo correcto por el espacio entre la bomba y el tanque y, además, para un giro y flujo dentro de la boca acampanada. La instalación de este diseño en una planta existente es naturalmente mucho menos cara que hacer un foso, porque el tamaño del agujero necesario para instalar el tanque es mucho más pequeño. El mismo diseño básico se ha aplicado también a bombas que manejan líquidos volátiles que están montadas en el piso de operación y que no están provistas con suficiente NPSH.

Figura 39. **Bomba vertical de turbina de bote para servicio de condensado**



Fuente: SULZER. [www.sulzer.com/es/-/media/Media/Images/ProductsAndServices/PumpsAndSystems/Vertical\\_Pumps/SJD\\_CEP/SJD\\_at\\_SPHO.jpg?mw=690](http://www.sulzer.com/es/-/media/Media/Images/ProductsAndServices/PumpsAndSystems/Vertical_Pumps/SJD_CEP/SJD_at_SPHO.jpg?mw=690). Consulta: 23 de septiembre de 2012.

### **1.3.2.2. Aplicación de las bombas verticales de foso lleno**

Como todas las bombas, las verticales de foso lleno tienen ventajas y desventajas, las primeras en su mayor parte hidráulicas y las últimas principalmente mecánicas. Si el impulsor (el del primer paso en bombas de varias etapas) está sumergido no hay problema de cebado, y la bomba puede

controlarse automáticamente sin miedo de que alguna vez trabaje en seco. Además, la NPSH disponible es mayor (excepto en tanques cerrados) y a veces permite una velocidad giratoria más altas para las mismas condiciones de servicio. La única ventaja mecánica es que el motor o impulsor se puede colocar a cualquier altura que se desee arriba de cualquier nivel de inundación. Las desventajas mecánicas son las siguientes:

- Posibilidad de pegarse cuando está inactiva.
- Posibilidad de dañarse instalada en una zanja abierta o instalación similar.
- Inconveniente de sacarla y desmantelarla para inspección y reparaciones, no importa que tan pequeñas.
- La vida relativamente corta de los cojinetes de la bomba a menos que el agua y el diseño de los cojinetes sea ideal.

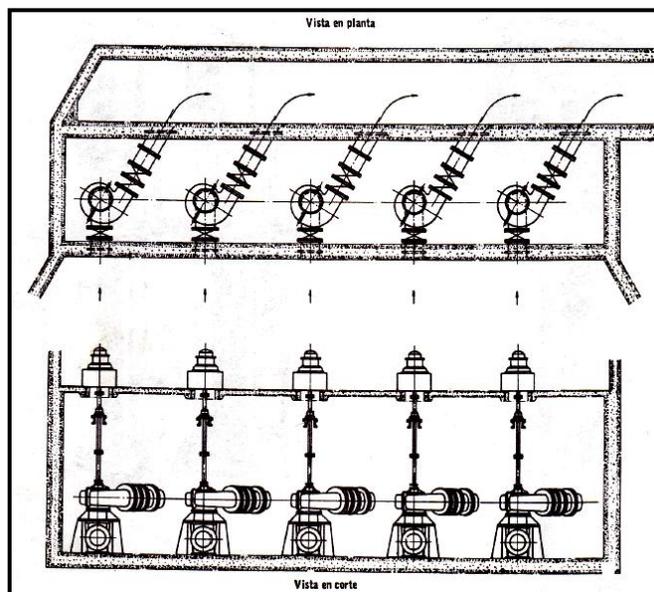
La bomba vertical de foso lleno es la mejor bomba disponible para algunas aplicaciones; no la ideal, pero la más económica para otras instalaciones, una mala selección para otras y todavía la menos deseable para otras más.

### **1.3.2.3. Arreglos típicos de bombas verticales**

Una bomba es solo una parte de un sistema de bombeo. El diseño hidráulico del sistema fuera de la bomba afectará la economía total de la instalación y puede fácilmente tener un efecto adverso sobre el funcionamiento de la misma bomba. Las bombas verticales son especialmente susceptibles, porque el pequeño espacio de suelo ocupado por cada unidad ofrece la posibilidad de reducir el tamaño de la estación situando unidades más cerca entre sí. Al reducir el tamaño, el arreglo de la succión podría impedir el flujo apropiado del agua a la entrada de la succión de la bomba. Como son muchos los factores que afectan en el cálculo del diseño de un pozo de succión y la

localización de una boca acampanada no se pueden aplicar con exactitud reglas o relaciones sencillas, y por lo tanto no se incluyen en este estudio. El tamaño físico de las bombas, ya sea de hélice o de voluta, afecta muy poco el cálculo del diseño del pozo de succión, la localización de la boca acampanada o la distancia entre unidades. Estas están, generalmente, controladas por factores que gobiernan el flujo apropiado del agua a la boca acampanada.

Figura 40. **Estación de varias unidades con bombas verticales de voluta de foso seco longitudinal en todo el largo de una entrada de succión**

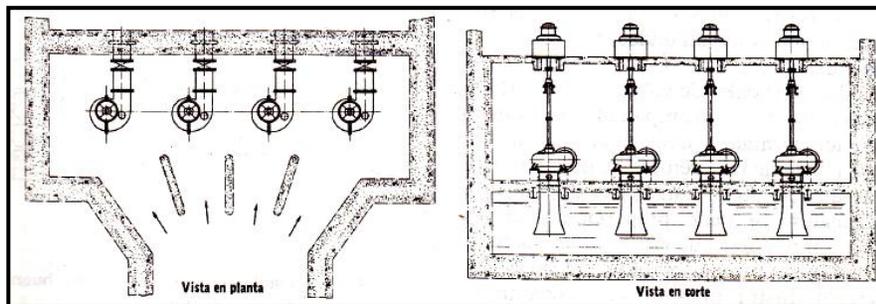


Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 182.

La figura 40 ilustra un arreglo ideal para una estación de varias unidades con bombas de foso seco. Proporciona un flujo sin restricciones en el lado de la succión de todas las unidades. Las estaciones que usan esta configuración para un grupo de bombas verticales de voluta con frecuencia tienen las bocas

acampanadas y codos de succión formados precisamente en la subestructura de concreto. Si se instalan bombas de foso lleno con bocas de campana verticales, es necesario proporcionar un espacio libre, adecuado en la pared posterior y entre las unidades, como lo muestra la figura 41. Este arreglo ilustra una situación común en la que la succión está situada al extremo de un conducto cuyo ancho es menos que la longitud del pozo de succión. Sin una sección floreada con paredes divisorias para guiar la distribución del agua que entra a las distintas unidades, el flujo se alteraría mucho y afectaría la operación de las bombas.

Figura 41. **Estación de varias unidades con bombas verticales de voluta de foso lleno al extremo del conducto**

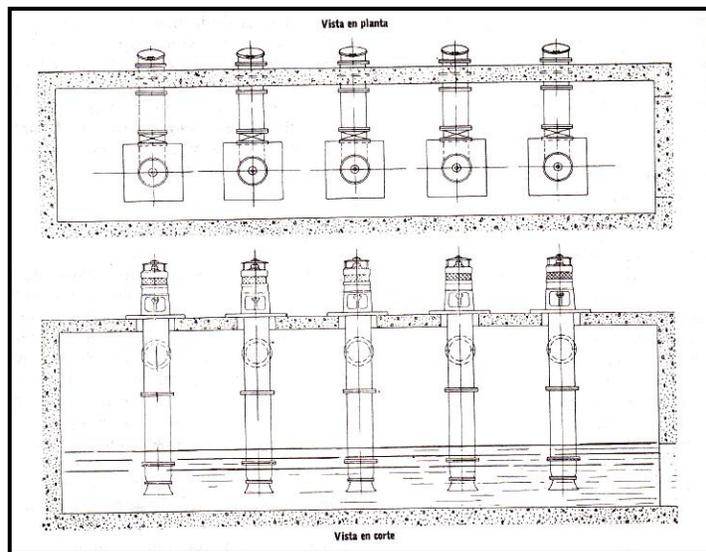


Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 183.

Un arreglo de bomba vertical de hélice, que es con frecuencia molesto, se ve en la figura 42. Los arreglos de las bombas verticales de voluta con bocas acampanadas de succión como las que están en la figura 41 tienen el mismo problema. Si el ancho del pozo de succión proporciona suficiente área y si la ubicación de las bocas acampanadas permitan buen flujo, la demanda de las primeras unidades de la línea alterará el flujo en unidades más alejadas. Con bastante frecuencia, las instalaciones de este arreglo general requieren abundantes tabiques de desviación para corregir la distribución. Algunas

estaciones se hacen con paredes que forman pozos individuales para cada bomba y un canal para alimentar esos pozos que corre a lo largo de la estación.

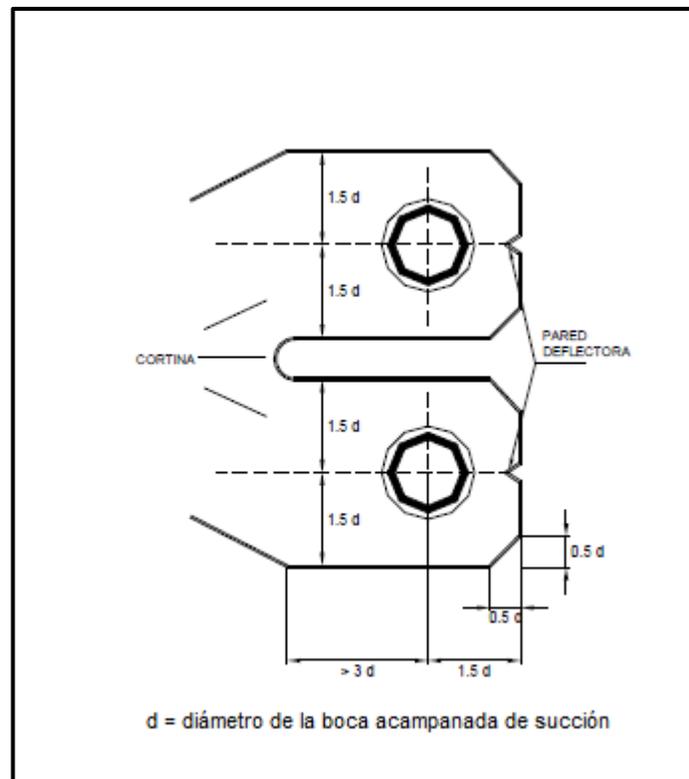
Figura 42. **Estación de varias unidades con bombas verticales de hélice con abastecimiento de succión desde un extremo del pozo**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 184.

Se han desarrollado con los años a lo largo de la estación, dimensiones de los canales de entrada y accesos. Si es posible una entrada, como la que se ilustra en la figura 43, dará muy buenos resultados. Las dimensiones para el ancho del canal y las distancias se dan en términos del diámetro de las bocas acampanadas de succión. Otro ejemplo, de buen diseño de canal y pozo para bombas verticales de turbina se da en la figura 44, que también indica los espacios libres entre las bocas acampanadas de succión y el fondo del pozo entre la bomba, la pared posterior del pozo y las paredes divisorias.

Figura 43. Estación de varias unidades con bombas verticales de hélice con abastecimiento de succión desde un extremo del pozo

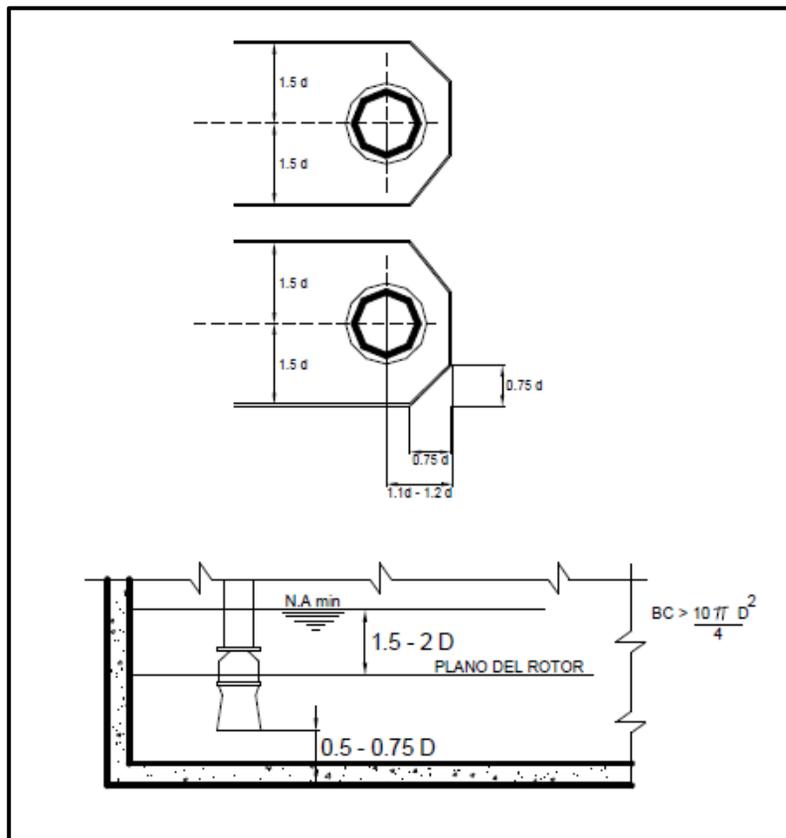


Fuente: OMS. Guía para la selección equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. p. 37.

Si están consideradas líneas largas de descarga, se necesitan válvulas en la tubería. Normalmente se usan tanto una válvula de compuerta como una de retención, como se puede ver en la figura 45. La válvula de retención acciona para evitar el flujo inverso, mientras que la válvula de compuerta funciona cuando la unidad está fuera de servicio durante un largo período de tiempo. En algunas instalaciones, no se coloca la válvula de compuerta y por ello se colocan tabloncillos de cierre o válvulas de esclusa. Una válvula de cono que

trabaja tanto como una de retención y de compuerta aparece en otras instalaciones. El alto costo de esta válvula, sin embargo, generalmente limita su uso a instalaciones que necesitan un flujo que se inicia y suspende gradualmente para evitar el golpe de ariete. Unas pocas instalaciones con líneas largas de descarga para bombas aisladas no tienen más válvulas que una de charnela en el extremo de descarga. Si la unidad está parada, el agua en la línea de descarga fluye de regreso a través de la bomba hasta que la tubería queda vacía.

Figura 44. **Diseño recomendado para canal y pozo**

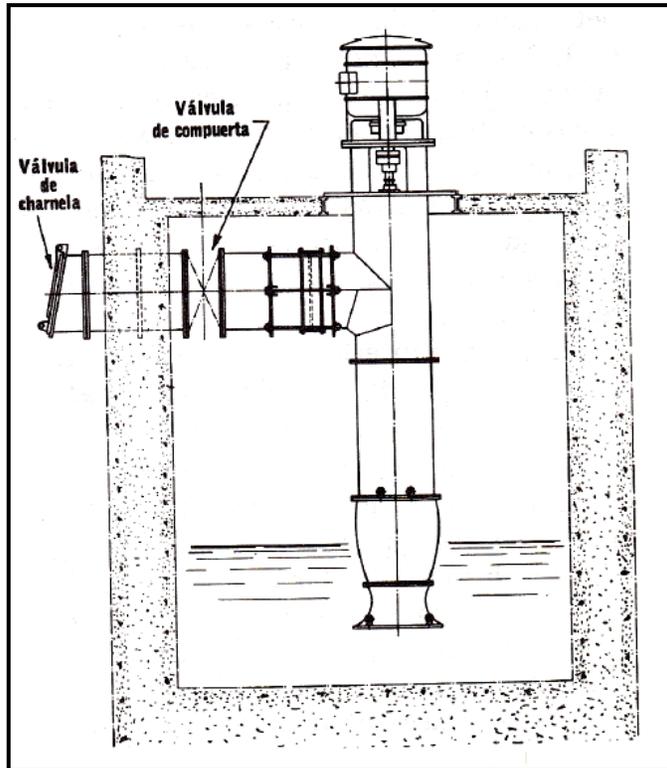


Fuente: OMS. Guía para la selección equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. p. 35 y 37.

Si el diseño de una instalación o la falla de una válvula de retención o de charnela que no cierran permiten el flujo inverso de agua a través de la bomba, la bomba actúa como una turbina hidráulica. El torque desarrollado por la bomba como turbina causará la rotación inversa de los impulsores de rotación libre como de los motores eléctricos. Por lo general, no es suficiente para provocar la rotación inversa en máquinas de combustión interna. En los motores la velocidad inversa que se alcanzará dependerá de la carga neta y de la velocidad de descontrol de la bomba menor que la carga estática, debido a las pérdidas por fricción. La velocidad de fuga depende de la velocidad específica de la bomba. Las velocidades específicas más altas tienen velocidades de fuga más altas (medidas como porcentaje de la velocidad normal). La velocidad inversa que se obtiene en una instalación real es generalmente, inferior a la velocidad segura de operación de sus partes componentes y no es necesario usar un diseño especial.

El uso de una descarga de sifón elimina la necesidad de válvulas en la línea de descarga, como se ve en la figura 46. El punto alto del sifón debe estar arriba del nivel alto del agua en la descarga con el fin de romper el sifón y evitar el flujo inverso del agua cuando se para la bomba. Cuando una bomba que opera con una descarga de sifón se arranca, el procedimiento usual es dejar escapar el aire del sistema con algún dispositivo cebador hasta que la bomba queda cebada. Entonces puede arrancarse la bomba para ayudar a llenar el sifón. La conexión al punto alto del sifón, también está provista con una abertura que tiene válvula para que se pueda admitir aire y romper el sifón cuando se desea parar la unidad. Es posible controlar la admisión de aire automáticamente, de modo que la válvula funciona si se para la unidad por alguna razón.

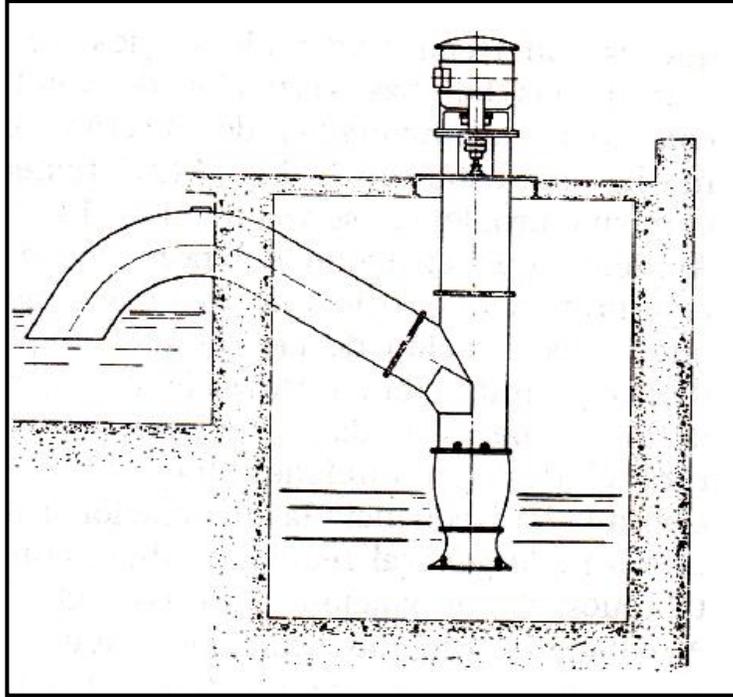
Figura 45. **Bomba vertical de hélice de foso lleno con válvulas de compuerta y charnela**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 185.

Aunque los sifones de ramas cortas son relativamente sencillos y libres de molestias tanto de diseño como de operación, se debe tener más cuidado si tienen ramas largas. Algunos sifones operan correctamente con ramas que exceden 8 m, pero estos están, principalmente, limitados a sistemas de circulación en instalaciones de plantas eléctricas. El uso de una descarga de sifón es conveniente en instalaciones de drenaje para bombear sobre un dique, porque proporciona menor carga de la que se tendría si el agua se descarga arriba del dique.

Figura 46. **Bomba vertical de hélice de foso lleno con descarga de sifón**



Fuente: KARASSIK, Igor J. Bombas centrífugas: selección, uso y mantenimiento. p. 186.

## **2. ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CÁLCULO DE UN EQUIPO DE BOMBEO Y OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN NECESARIA**

### **2.1. Conceptos de hidráulica**

Se define a la hidráulica como una rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos.

En el presente caso, el fluido a estudiar siempre será el agua, y se conoce como hidrostática al estudio del comportamiento de agua en reposo e hidrodinámica al estudio del agua en movimiento.

El agua siempre toma la forma del recipiente que la contiene y se toma para fines prácticos como incompresible, es decir, no se puede comprimir o cambiar el volumen que ocupa en el recipiente que la contiene.

El agua, también tiene un peso el cual siendo destilada, es decir, limpia y sin gases ni sólidos disueltos en ella, es de 1 kg por cada litro o decímetro cúbico de agua. A este concepto se le conoce como densidad, la cual es el peso por unidad de volumen de líquido. Otro concepto es la gravedad específica, la cual es el valor relativo del peso de cualquier líquido con respecto al agua que pesa 1 kg/lt. Así, si un líquido tiene una gravedad específica de 1,2 significa que se habla de un líquido que es 20 por ciento más pesado que el agua destilada; dicho líquido puede ser también agua, pero con sales disueltas como el agua de mar.

Otro concepto básico para entender el comportamiento del agua es la presión que se define como la fuerza que ejerce el agua en una determinada área. Esto dice que el agua confinada en un recipiente, necesariamente ejerce una fuerza contra las paredes y base de dicho recipiente. Esta fuerza dividida entre el área donde la ejerce se conoce como presión y su fórmula matemática es:

$$P = F/A$$

En donde: P = presión, F = fuerza y A = área

Esta fuerza es el peso del agua sobre el punto donde se está midiendo, por lo que se depende de la altura de la columna de agua en dicho punto.

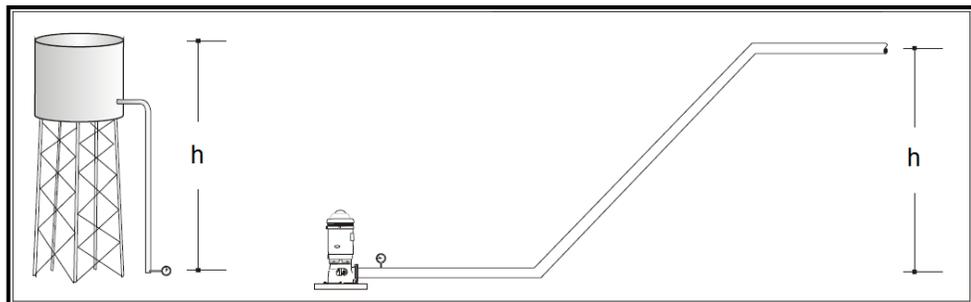
Por ejemplo: si se toma un recipiente de 1 cm x 1 cm y se llena de agua a una altura de 1 m, la presión será igual a peso / área. Para obtener el peso se debe sacar cuántos decímetros cúbicos de agua hay en el recipiente que será:  $0,1 \times 0,1 \times 10 = 0,10 \text{ dm}^3$ . Si sabemos que la densidad del agua es  $1 \text{ kg/dm}^3$ , se deduce que el peso o fuerza ejercida es 0,1 kg y, como el área es  $1 \text{ cm}^2$ , la presión será  $0,1 \text{ kg/cm}^2$  por cada metro de columna de agua.

Esto no cambia si el agua a 1 m de profundidad está contenida en este pequeño depósito, a diferencia si está en un lago y al mismo metro de profundidad, el área analizada es solo un centímetro cuadrado del fondo de ambos recipientes, puesto que ambos sienten una fuerza de 0,1 kg por centímetro cuadrado. Si en lugar de un metro de profundidad se tienen dos metros de profundidad, la presión será el doble, pues se tiene el doble de peso de agua en el mismo centímetro cuadrado del fondo. Esto significa que para

obtener una presión de  $1 \text{ kg/cm}^2$  se necesita una columna de 10 metros y a esta relación entre presión y elevación se le conoce como: metros de carga.

Con este factor de conversión se puede saber qué presión se puede esperar en la parte inferior de un tanque elevado con agua en reposo, o un tubo que viene desde un depósito en la cima de una colina de determinada altura, como se ve en la figura 47. Esta es la misma presión que se requiere para empujar el agua hacia la cima de una colina o hacia la superficie, si se tiene dentro de un pozo de cierta profundidad, la presión que tiene que dar la bomba diseñada para elevar el agua a la altura necesaria, esto significa que, se requiere de  $1 \text{ kg/cm}^2$  de presión para elevar 10 metros de carga de desnivel desde un punto de referencia, por lo que no se puede llevar agua a 50 metros de altura con una bomba que tenga 30 metros de carga.

Figura 47. **Presión inferior del tanque igual a la presión necesaria para empujar el agua a la altura h**



Fuente: elaboración propia.

Presión estática se refiere a los  $\text{kgs/cm}^2$  de presión en un sistema cerrado y sin movimiento.

En una línea de tubería, cuando se tiene agua dentro de ella y están cerradas todas las válvulas de salida, esta línea puede tener una presión estática, esta es una presión potencial disponible para operar un sistema. Hay dos maneras de crear esta presión estática en la línea, llevando el agua a un tanque o depósito a un punto más alto del que se necesita o inmediatamente una bomba, presurizando directamente.

Cuando en el sistema cerrado anterior se abre una válvula, el agua fluye por la tubería a cierta velocidad, la cual depende de dos variables básicas:

- El gasto o caudal que son los lts/seg que se quiere que fluyan
- El diámetro de la misma

Entre menor sea el diámetro de la tubería de conducción se tiene una menor área y la velocidad aumenta; y entre mayor sea el gasto que se quiere pasar por un diámetro dado, también se tiene una mayor velocidad.

Por lo que se define la velocidad con la siguiente fórmula de continuidad:

$$V = Q / A$$

Donde:

V = velocidad a la que pasa un fluido en mts/seg

Q = gasto que está pasando en lts/seg

A = área en donde pasa el fluido en mts

Entendido el concepto de velocidad ahora se definirá el concepto de fricción.

La fricción es una pérdida de presión o carga al transportar agua en una tubería y se debe a la resistencia al flujo que ofrecen las paredes del tubo, así también, como cualquier tipo de accesorio o elemento que oponga resistencia al flujo como: válvulas, conexiones, etc., por donde circula dicha agua.

Esta resistencia depende de la velocidad a la que pasa el agua por el tubo o accesorio y a la rugosidad del tubo mismo. Esta rugosidad significa que entre más rugosa sea la pared, mayor fricción se tendrá en la tubería; y entre más velocidad del agua, mayor fricción se tiene también.

Ahora se puede hablar ya de la presión dinámica o presión de operación. Esta presión es variable en diferentes puntos de la tubería debido a estas pérdidas por fricción por la tubería y accesorios, así como la pérdida o ganancia por elevación.

Se debe calcular la bomba para obtener una presión mínima necesaria, que sea capaz de vencer todos los desniveles desde donde se tiene el agua hasta donde se necesita llevar, así como vencer todas las pérdidas por fricción tanto en la tubería de conducción como en los accesorios, y así tener la presión necesaria en el punto de salida de línea para que un sistema de distribución de agua funcione adecuadamente. Por ejemplo: un sistema de riego agrícola o sistema de agua potable.

## **2.2. Definiciones básicas**

- Nivel estático

La distancia vertical desde el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando se encuentra fuera de operación el equipo de bombeo.

- Nivel dinámico

La distancia vertical desde el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando se encuentra en operación el equipo de bombeo.

- Gasto o caudal

Este se da en lts/s, gpm o  $m^3/s$  y es la razón a la cual el volumen de agua cruza la sección transversal del tubo en una unidad de tiempo.

- Diámetro del ademe

El diámetro máximo disponible para colocar el equipo de bombeo.

- Tipo de lubricación

Esto se refiere al tipo de lubricación para la transmisión, puede ser agua o aceite.

- Tipo de impulsor

Los tipos de impulsor pueden ser semiabiertos o cerrados.

- Velocidad

El número de rpm que necesita la bomba para cumplir las condiciones de diseño, las más comunes son 1 760 y 3 600 rpm.

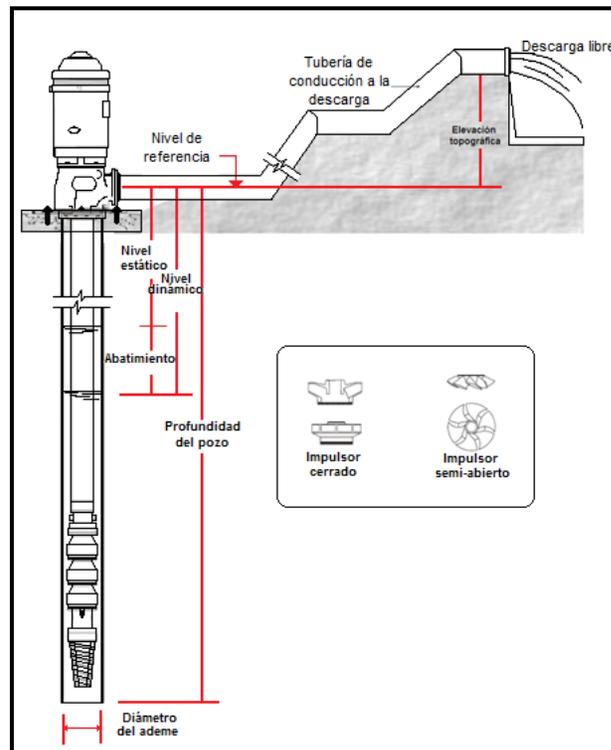
- Abatimiento

Diferencia entre el nivel dinámico y nivel estático, sirve para saber si se está sub o sobre estimando el equipo de bombeo.

- Elevación topográfica

El desnivel topográfico desde el cabezal de descarga hasta la descarga del agua.

Figura 48. Definiciones básicas



Fuente: elaboración propia.

### **2.3. Obtención de la información necesaria**

Lo primero con lo que se debe contar, para poder realizar el diseño de un sistema de bombeo son los siguientes datos:

- Tipo de lubricación que se desea
- Tipo de impulsor (semiabierto o cerrado)
- Velocidad de operación (rpm)
- Presión de operación a la descarga de la bomba
- Elevación topográfica

### **3. DISEÑO Y CÁLCULO DEL NUEVO EQUIPO DE BOMBEO DEL SISTEMA**

#### **3.1. Cálculo de la carga dinámica total (CDT)**

A continuación se procede a calcular la carga dinámica total (CDT), esta se obtiene de la siguiente manera.

$CDT = \text{nivel dinámico} + \text{elevación} + \text{fricciones en columna} + \text{fricciones en descarga o conducción} + \text{presión de operación}$

Resumen de conceptos

- Nivel dinámico: es la distancia vertical desde el cabezal de descarga o nivel de superficie, hasta el nivel del agua cuando se encuentra en operación el equipo de bombeo.
- Elevación: es el nivel máximo al cual se desea llevar el agua con respecto al cabezal de descarga.
- Fricciones en columna: son las pérdidas de carga, generadas por el rozamiento que existe entre las paredes del tubo. Esto es debido a la velocidad del agua que circula dentro de él y a la rugosidad del mismo.
- Fricciones en conducción: son las pérdidas de carga, generadas por el rozamiento que existe entre las paredes del tubo de descarga debido a la velocidad del agua que circula dentro de él, así como en los accesorios

que existen en el trayecto de la descarga o conducción después del cabezal de descarga.

- Presión de operación: es la presión que se requiere en el último punto de salida del agua, expresada en metros o pies ( $1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ metros}$  y  $1 \text{ psi} = 2,31 \text{ pies}$ ). Esta presión puede ser cero si se desea el agua a descarga libre.

### **3.2. Cálculo del cuerpo de tazones o ensamble de tazones**

Con el gasto de diseño se busca la curva de operación que dé mejor eficiencia y tratando de quedar en el lado izquierdo del punto de mejor eficiencia.

Tomar en cuenta el diámetro del ademe, para poder localizar la curva de operación de acuerdo a la familia del modelo de tazón que corresponde, considerando el diámetro máximo disponible.

#### **3.2.1. Cálculo de la carga por paso y número de pasos**

La curva de operación seleccionada se posiciona en el gasto de diseño y se traza una línea vertical hasta tocar la curva de operación, de mayor diámetro, obteniendo el porcentaje de eficiencia de ese punto de operación, luego se traza una línea horizontal en dirección a la carga total, en la cual se da el número de metros que eleva un paso dicho modelo de tazón-impulsor, y se obtiene el número de pasos dividiendo la CDT entre la carga que nos da por paso a la eficiencia del punto de operación. Esa eficiencia, sin embargo, no es la real a la que trabajará la bomba, por lo que hay que hacer algunas consideraciones al respecto.

La eficiencia real es la que va a trabajar la bomba, hasta ahora solo se tiene el punto de eficiencia obtenido anteriormente, la cual es una eficiencia con tazón esmaltado y con un número de pasos tal, que no hay necesidad de corregir dicha eficiencia.

Pero se debe analizar los puntos de eficiencia que hay que disminuir por número de pasos y por no ser esmaltado, dato que se puede ver en las tablas de la curva de operación.

La eficiencia de la curva de operación menos los puntos restados dará la nueva eficiencia o eficiencia real.

Para saber cuál es la carga real por paso se obtiene un factor de corrección, el cual es la división de la eficiencia real entre la eficiencia de la curva de operación, con este factor se multiplica por la carga por paso sin corregir, para obtener la carga real por paso y de aquí se tiene el número de pasos reales.

También se tiene que hacer la corrección por concepto de gravedad específica, es decir, que si la gravedad específica del agua es diferente a 1,0 se tiene que obtener un segundo factor de corrección que es igual a la gravedad específica del agua destilada (1,0) entre la gravedad específica del agua que se pretende bombear.

Matemáticamente, lo anterior se escribe así:

$$c.p.p. 2 = F1 \times F2 \times c.p.p. 1$$

Donde

$$F1 = \frac{ef2}{ef1} \text{ y } F2 = \frac{g1}{g2}$$

c.p.p.2 = carga real o ajustada por paso.

ef2 = ef1 menos los puntos por tazón no esmaltado y menos los puntos por los números de pasos de la bomba que se pondrá.

ef1 = es la eficiencia obtenida en las curvas de operación.

g1 = gravedad específica del agua destilada = 1,0

g2 = gravedad específica del agua que se pretende bombear.

c.p.p.1 = carga por paso teórica obtenida en las curvas de operación.

$$\text{número de pasos} = \frac{CDT}{c.p.p.2}$$

(El número de pasos es el entero mayor más próximo al resultado de esta división)

- Recorte del impulsor

Si la carga real por paso multiplicada por el número de pasos es muy diferente a la CDT requerida (esto es porque se toma el entero mayor de la división), debemos corregirla y la manera de hacerlo es mediante un recorte del diámetro del impulsor.

Es decir, disminuir un poco el diámetro del impulsor, para que disminuya su carga por paso y, así la CDT sea más cercana a la que se requiere realmente.

Para calcular el recorte de un impulsor se debe hacer un proceso inverso: partir primero de obtener la carga real por paso, en este caso, la carga dinámica total dividida entre el número de pasos obtenidos anteriormente, con esa carga real por paso se obtiene la carga teórica por paso dividiendo la carga real por paso entre los factores de corrección obtenidos en la ecuación para obtener la c.p.p.2.

$$c.p.p.2 = \frac{CDT}{\text{número de pasos}}$$

$$c.p.p.1 = \frac{c.p.p.2}{F1 \times F2}$$

Entonces, se obtiene una solución del tipo gráfica.

Solo se debe tomar en cuenta los factores de corrección F1 y F2 mencionados anteriormente basados en disminuir la eficiencia a una eficiencia real y en la gravedad específica real del agua a bombear.

### **3.2.2. Cálculo de la potencia requerida**

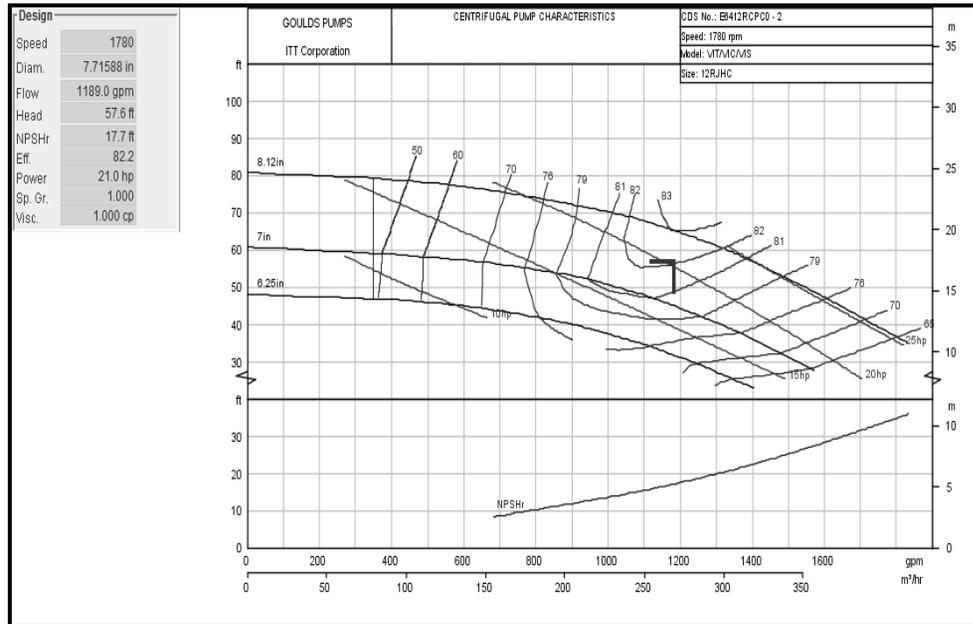
Siempre las curvas de operación muestran ciertos diámetros típicos de operación de impulsor. A medida que el impulsor tiene menor diámetro, la curva tiene menor carga a un determinado gasto.

La primera curva es la que corresponde al diámetro nominal del impulsor, se debe ubicar o interpolar la curva en la que nuestro impulsor operará. Esto se logra ubicando de una manera relativa el diámetro nuevo contra el diámetro nominal en la curva de potencia.

Existe una curva de caballaje por paso, que se muestra en la figura 49, también de acuerdo con el diámetro del impulsor, con la cual se obtienen los caballos de potencia consumidos por el equipo, en la parte inferior de la curva de operación del modelo seleccionado.

Estos caballos se obtienen trazando una línea vertical del gasto en dirección a la curva elegida, tomando en cuenta también el recorte si lo hubo. De este punto se traza una línea y se obtienen los HP que consume un paso de dicho modelo de tazón-impulsor.

Figura 49. Curva de potencia consumida



Fuente: elaboración propia, con el programa PSS de Goulds Pumps.

Este valor se multiplica por el número de pasos obtenidos anteriormente y se obtendrán los hp totales consumidos por la bomba que se pondrá.

Esta potencia obtenida es la potencia que requiere la bomba en la flecha.

A esta potencia se deberá agregar la potencia perdida en la flecha de acuerdo con la figura 50.

Figura 50. **Pérdidas de potencia en la flecha o eje**

RPM de la bomba	Diámetro del eje en pulgadas													
	3/4	1	1 3/16	1 1/2	1 11/16	1 15/16	2 3/16	2 7/16	2 11/16	2 15/16	3 3/16	3 7/16	3 11/16	3 15/16
3500	0,62	1,10	1,45	2,20	2,80									
2900	0,52	0,88	1,30	1,80	2,30									
1760	0,32	0,53	0,72	1,25	1,40	1,90	2,30	2,90	3,40	4,20	4,80			
1460	0,26	0,44	0,61	0,96	1,20	1,60	2,00	2,40	2,90	3,50	4,00			
1160	0,21	0,35	0,48	0,75	0,94	1,20	1,50	1,90	2,30	2,70	3,10	3,60	4,00	4,70
970		0,29	0,40	0,61	0,77	1,00	1,30	1,60	1,90	2,30	2,60	3,10	3,50	4,00
870		0,26	0,36	0,56	0,69	0,92	1,20	1,40	1,70	2,10	2,35	2,70	3,10	3,50
730		0,22	0,31	0,48	0,58	0,77	1,00	1,20	1,40	1,70	2,00	2,40	2,60	3,00
690		0,21	0,29	0,45	0,55	0,74	0,92	1,13	1,32	1,61	1,89	2,18	2,46	2,84
575		0,17	0,24	0,38	0,46	0,61	0,77	0,95	1,10	1,34	1,58	1,81	2,04	2,36
490		0,15	0,21	0,32	0,39	0,52	0,65	0,81	0,94	1,14	1,34	1,54	1,74	2,01
430		0,13	0,18	0,28	0,34	0,46	0,57	0,71	0,82	1,00	1,18	1,36	1,53	1,71
390		0,12	0,17	0,26	0,31	0,42	0,52	0,64	0,75	0,91	1,07	1,23	1,39	1,60

Fuente: empresas Suárez S.A.

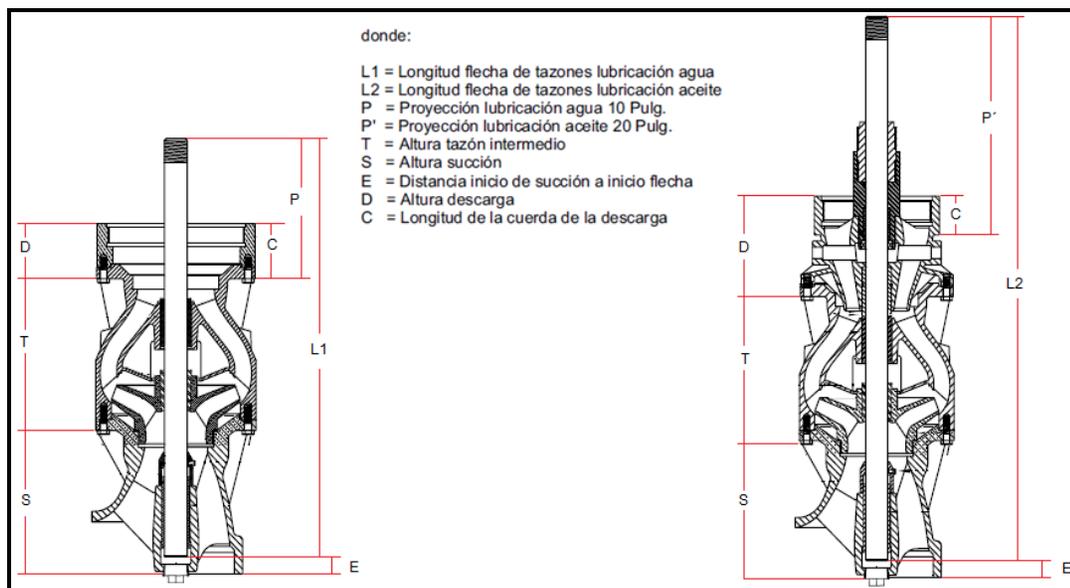
### 3.2.3. Análisis de la flecha de tazones

Se debe tener en cuenta que la potencia que consume la bomba que se pondrá, no debe exceder los límites de resistencia a la torsión que tiene la flecha del ensamble de tazones.

Esta resistencia depende del diámetro de la flecha, la velocidad de rotación a la que funciona, el empuje axial máximo a que está sometida dicha flecha y del material que está fabricada.

Para analizar la flecha de tazones, la tabla II indica a que diámetro de flecha corresponde cada modelo de tazón-impulsor. Se tiene que tomar en cuenta la potencia en la flecha que ya se calculó, y el empuje axial, ya que el diámetro de flecha del ensamble de tazones deberá ser mayor o igual al de diámetro mínimo permisible que aparece en la tabla III, de otro modo se tendrá que consultar a la fábrica para realizar un diseño especial.

Figura 51. **Cálculo de la flecha de tazones para bombas verticales**



Fuente: National PC. Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento y lista de piezas para bombas verticales de turbina. p. 20 y 21.

Fórmulas para el cálculo de la flecha, ver figura 51:

Lubricación por aceite:  $L2 = (S-E) + (T \times \text{No. pasos}) + (D-C) + P'$

Lubricación por agua:  $L1 = S-E) + (T \times \text{No. pasos}) + (D-C) + P$

Tabla II. Cuadro de especificaciones para el cálculo de la flecha de tazones

Modelo	Flecha Tazones	Diámetro máximo	Altura succión S	Flecha succión E	Altura descarga D	Longitud cuerda	Columna descarga	Paso adicional	Longitud flecha 1er paso		Empuje axial kg/mt	Peso elemento rotativo kg
									L. Agua L1	L. Aceite L2		
6lcs	3/4	5 15/16	6,500	4,000	6,250	1,500	3"-4" STD	5,100	20,100	30,100	2,2	1,6
6hxhc	7/8	5 5/8	6,500	4,000	7,825	1,500	4" STD	4,750	19,750	29,750	3,3	1,4
6hhc	1	5 3/4	6,500	4,000	7,825	1,500	4" STD	5,100	20,100	30,100	6,1	1,6
7hxhc	1	7	5,850	4,000	6,250	1,500	4" STD	5,850	20,200	30,200	5,1	2,7
8lsc	1 3/16	7 5/8	8,500	4,000	9,400	1,500	4" STD	6,500	23,500	33,500	3,6	3,2
8msc	1 3/16	7 3/4	1,350	5,000	9,400	1,500	4" STD	6,250	25,100	35,100	8,3	3,2
8hxhc	1 3/16	7 3/4	7,500	5,000	3,000	2,000	6" STD	6,100	21,600	31,600	5,4	3,2
8hhc	1 3/16	7 3/4	7,500	5,000	2,000	2,000	6" STD	7,625	23,125	33,125	11,5	3,2
8mfhc	1 3/16	7 3/4	7,750	5,000	2,000	2,000	6" STD	6,700	22,450	32,450	15,6	3,2
10lsc	1 3/16	9 15/16	1,750	5,000	9,400	2,000	6" STD	8,600	27,350	37,350	6,1	5,4
10msc	1 3/16	7 3/4	1,000	5,000	9,400	2,000	6" STD	7,825	25,825	35,825	6,2	5,4
10hxhc	1 1/2	9 11/16	8,750	5,000	9,000	2,000	8" STD	8,500	25,250	35,250	15,4	6,8
10hhc	1 1/2	9 11/16	8,750	5,000	9,000	2,000	8" STD	8,500	25,250	35,250	20,4	7,8
12lsc	1 1/2	11 15/16	1,250	5,000	9,250	2,000	8" STD	9,925	29,175	39,175	8,9	6,3
12msc	1 1/2	11 13/16	1,250	5,000	9,250	2,000	8" STD	9,850	29,100	39,100	11,8	6,0
12hxhc	1 15/16	11 11/16	1,750	7,000	10,000	2,750	10" STD	11,625	30,625	40,625	12,7	12,0
14msc	1 15/16	13 3/4	1,500	7,000	13,250	2,750	10" STD	12,750	31,500	41,500	14,8	15,0
14hhc	1 15/16	14	6,625	4,000	10,000	2,750	10" STD	14,000	27,875	37,875	29,8	20,0
18hhc	1 15/16	21 1/2	1,500	4,500	9,750	C/Brida	Brida 12" STD	18,625	39,125	49,125	52,0	68,5
8msa	1	7 7/8	4,000	4,500	9,400	1,500	4" STD	6,000	18,500	28,500	16,4	3,2
8mfha	1 3/16	7 3/4	7,750	5,000	3,000	2,000	6" STD	6,700	22,450	32,450	15,6	3,2
10msa	1 1/2	6 5/8	10,000	5,000	9,400	2,000	6" STD	6,800	24,800	34,800	11,2	5,4
10hxha	1 1/2	9 11/16	8,750	5,000	9,000	2,000	8" STD	8,500	25,250	35,250	15,3	6,8
10hha	1 1/2	9 11/16	8,750	5,000	9,000	2,000	8" STD	8,500	25,250	35,250	20,1	6,8
12msa	1 1/2	11 5/8	11,250	5,000	9,250	2,000	8" STD	10,500	29,750	39,750	18,6	7,7
12hxha	1 15/16	11 3/4	11,750	7,000	10,000	2,750	10" STD	11,625	30,625	40,625	23,0	12,0
14msa	1 15/16	13 3/4	11,500	7,000	13,250	2,750	10" STD	12,750	31,500	41,500	14,8	15,0

Fuente: empresas Suárez S.A.

Tabla III. Clasificaciones de caballos de fuerza para ejes de transmisión de acero al carbón roscados estándar a 1 760 revoluciones por minuto

Empuje	3/4"	1"	1 3/16"	1 1/2"	1 11/16"	1 15/16"	2 3/16"	2 7/16"	2 11/16"	2 15/16"	3 3/16"	3 7/16"	3 11/16"	3 15/16"
1000	27,4	68,8	107,8	236	348	545	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
1200	27,3	68,8	107,8	236	348	545	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
1400	27,3	68,7	107,7	236	347	545	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
1600	27,2	68,7	107,7	236	347	545	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
1800	27,2	68,6	107,7	236	347	545	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
2000	27,1	68,6	107,6	236	347	545	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
2400	26,9	68,5	107,6	236	347	544	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
2800	26,7	68,3	107,4	236	347	544	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
3200	26,3	68,1	107,2	236	347	544	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
3600	26,2	67,9	107	235	347	544	804	764	1040	1383	1794	2279	2845	3497
4000	25,9	67,7	106,9	235	347	544	803	763	1040	1383	1794	2279	2845	3497
4400	25,5	67,5	106,6	235	347	544	803	763	1040	1383	1794	2279	2845	3497
4800	25,1	67,2	106,4	235	347	544	803	763	1040	1383	1794	2279	2845	3497
5200	24,7	66,9	106,2	235	346	544	803	763	1040	1383	1794	2279	2845	3497
5600	24,2	66,6	105,9	235	346	544	803	763	1040	1383	1794	2279	2845	3497
6000	23,7	66,2	105,6	234	346	543	803	762	1039	1382	1793	2278	2844	3496
6500	23	66,8	105,2	234	346	543	803	762	1039	1382	1793	2278	2844	3496
7000	22,2	66,3	104,8	234	346	543	802	762	1039	1382	1793	2278	2844	3496
7500	21,3	64,7	104,3	233	345	543	802	762	1039	1382	1793	2278	2844	3496
8000	20,3	64,1	103,8	233	345	542	802	761	1038	1381	1792	2278	2843	3496
9000	17,9	62,8	102,7	232	344	542	801	760	1037	1380	1792	2277	2843	3495
10000	14,8	61,3	101,5	231	343	541	801	760	1037	1380	1791	2277	2842	3495
12000		57,6	98,5	229	341	539	790	758	1035	1378	1790	2276	2841	3494
14000		52,9	94,9	226	339	538	798	756	1033	1377	1788	2274	2840	3492
16000		47	90,6	223	337	535	796	753	1031	1375	1786	2272	2838	3491
18000		39,1	55,4	220	334	533	794	750	1028	1372	1784	2270	2836	3489
20000		27,9	79,3	216	330	530	791	747	1025	1370	1782	2268	2834	3487
22000			71,8	212	327	527	788	744	1022	1367	1779	2266	2832	3485
24000			62,7	207	322	523	786	740	1019	1364	1776	2263	2830	3483
26000			50,9	201	318	520	782	736	1035	1360	1773	2260	2827	3481
28000			33,8	195	313	516	779	731	1011	1357	1770	2257	2824	3478
30000				188	307	511	775	726	1007	1353	1766	2254	2821	3475
32000				191	302	506	771	721	1002	1348	1762	2250	2818	3472
34000				172	295	501	766	715	997	1344	1758	2246	2814	3469
36000				163	288	496	762	709	991	1339	1754	2242	2811	3465
38000				152	280	490	757	702	986	1334	1749	2238	2807	3461
40000				140	272	483	751	695	980	1328	1744	2233	2802	3458
42000				126	263	477	746	688	973	1323	1739	2229	2798	3454
44000				110	254	469	740	680	966	1317	1734	2224	2793	3449
46000				89	243	462	734	672	959	1310	1728	2218	2789	3445
48000				61	231	454	727	663	952	1304	1722	2213	2784	3440
50000					219	445	720	653	944	1297	1716	2207	2778	3435
55000					180	421	701	628	922	1278	1690	2192	2764	3422
60000					125	394	680	599	898	1257	1680	2175	2748	3407
65000						361	656	565	871	1233	1659	2156	2731	3392
70000						322	630	526	840	1208	1636	2136	2713	3374
75000						274	599	482	807	1179	1612	2114	2693	3356

Fuente: empresas Suárez S.A.

- Cálculo del empuje axial

Calcular el empuje axial al que está sometida la flecha del cuerpo de tazones, el cual es el empuje hacia abajo ocasionado por la reacción al girar los impulsores, dato que aparece en la tabla II en kg/mt de carga y depende del modelo del tazón, más el peso del impulsor mismo que aparece en la misma tabla.

Ejemplo:

12 metros de 6 pasos con CDT de 125 mts su empuje axial será:

$$\begin{array}{rcl} 125 \text{ mt} \times 11,80 \text{ kg/mt} & = & 1\,475 \text{ kg de empuje} \\ 6 \text{ pasos} \times 6 \text{ kg/paso} & = & 36 \text{ kg de peso} \\ \text{Empuje axial total} & = & 1\,511 \text{ kg} = 3\,328,19 \text{ lbs} \end{array}$$

Con este empuje se mira en la tabla III y da el caballaje máximo que resiste una flecha de 1 ½" C-1045, el cual es alrededor de 235 HP.

Es importante indicar que la flecha de tazones es de material T-416, de acero inoxidable y tiene un factor de incremento de 1,053 C-1045 de que experimente una ruptura debido al efecto de torsión, por lo que la potencia máxima que resiste esta flecha de 1 ½" es en realidad de  $235 \times 1,053 = 247,5$  HP.

Es necesario observar que la tabla III aplica con mayor exactitud, en casos críticos, para el análisis de diseño de flecha para la transmisión intermedia, solo que el empuje axial deberá incluir también el peso mismo de todas las flechas intermedias.

La longitud de la flecha de tazones está dada por:

Longitud de la flecha = longitud de flecha en la succión (A) + longitud de tazón intermedio por número de tazones intermedios (B) + longitud de la flecha en descarga (C) + proyección.

Hay que notar que el número de tazones intermedios es el número de pasos totales menos 1,0.

- Proyección: el caso de lubricación por agua es de 10"; en lubricación por aceite es de 20", de los cuales los primeros 10" lleva una funda o cubierta.

### **3.3. Cálculo de columna del equipo**

Los datos a obtener en el cálculo de columna son: tubo de columna, transmisión por agua y aceite, transmisión motriz, empuje axial y elongación del eje.

#### **3.3.1. Tubo de columna**

De acuerdo al gasto que se necesite, se elige el diámetro de tubo con la tabla IV.

El diámetro de tubo elegido debe acoplar con el tazón de descarga, si no coincidieran, se hace un acoplamiento mixto verificando con la fábrica, ya que es una restricción que se debe tomar en cuenta.

La longitud de la rosca del tazón de descarga (C) se encuentra en la tabla II.

Tabla IV. **Diámetro inicial propuesto**

<b>GASTO (L/s)</b>	<b>DIÁMETRO DEL TUBO DE COLUMNA</b>
5 – 12	2
12 – 20	4
20 – 40	6
40 – 70	8
70 – 110	10
110 – 140	12

Fuente: empresas Suárez S.A.

### **3.3.2. Transmisión**

Aquí el único problema es calcular el diámetro de la flecha de nuestra transmisión, y el diámetro a seleccionar va en relación a los HP que va a consumir la bomba a instalar.

La tabla V indica los caballos de potencia máximos que resiste una flecha a un determinado diámetro, estos HP ya fueron calculados anteriormente, lo único que se debe hacer es escoger un diámetro que esté dentro del rango de resistencia de la flecha.

En el caso de que los HP que se obtuvieron se encuentren muy cerca de los valores que limitan el diámetro de la flecha, se recomienda a criterio seleccionar el diámetro siguiente.

Es importante tener cuidado al escoger la transmisión, ya que es un elemento muy importante de la bomba a instalar.

Tabla V. **Selección del diámetro de la flecha en relación a los HP (máximo) en acero C-1045 rectificado y pulido a 1760 revoluciones por minuto**

DIÁMETRO (pulg)		H.P. MÁXIMOS			
FLECHA	CUBIERTA	3460	1760	1160	970
3/4	-	29,4	15	9,9	8,26
1	1-1/2	98,0	50	33,0	27,55
1-3/16	2	147,0	75	49,5	41,33
1-1/2	2-1/2	294,0	150	99,0	82,65
1-11/16	2-1/2	490,0	250	165,0	137,75
1-15/16	3	686,0	350	231,0	192,85

FLECHA		FACT. PARA MAT. ESPECIALES	
cms	pulg	316SS	416SS
1,9 – 4,92	3/4 – 1-15/16	0,652	1,053
5,5 – +	2-3/16 – +	0,750	1,500

Fuente: empresas Suárez S.A.

Para un diseño más preciso hay que tener en cuenta el empuje axial en los tazonos y el peso mismo de las flechas, para obtener los kg de fuerza a los que está sometida dicha flecha, y con la tabla III se obtiene el caballaje máximo que resiste la flecha involucrando también el material y velocidad a la que gira.

### **3.3.2.1. Transmisión en caso de lubricación con agua**

La flecha tiene una longitud de 120,5 pulgadas (3,06 mts), las cuales se unirán a otra flecha del mismo diámetro, por medio de un acople.

Esta flecha tiene un metalizado donde deberán trabajar las mariposas, estas mariposas o porta chumacera tienen en su interior un buje o chumacera de hule cuya función es la de lubricar con el agua misma la flecha. La función de la mariposa es la de estabilizar la flecha cuando gira.

### **3.3.2.2. Transmisión en caso de lubricación con aceite**

La transmisión intermedia, cuando es de lubricación con aceite consta de una flecha cuya longitud es 3,05 mts y se una por medio de un acople a otra flecha.

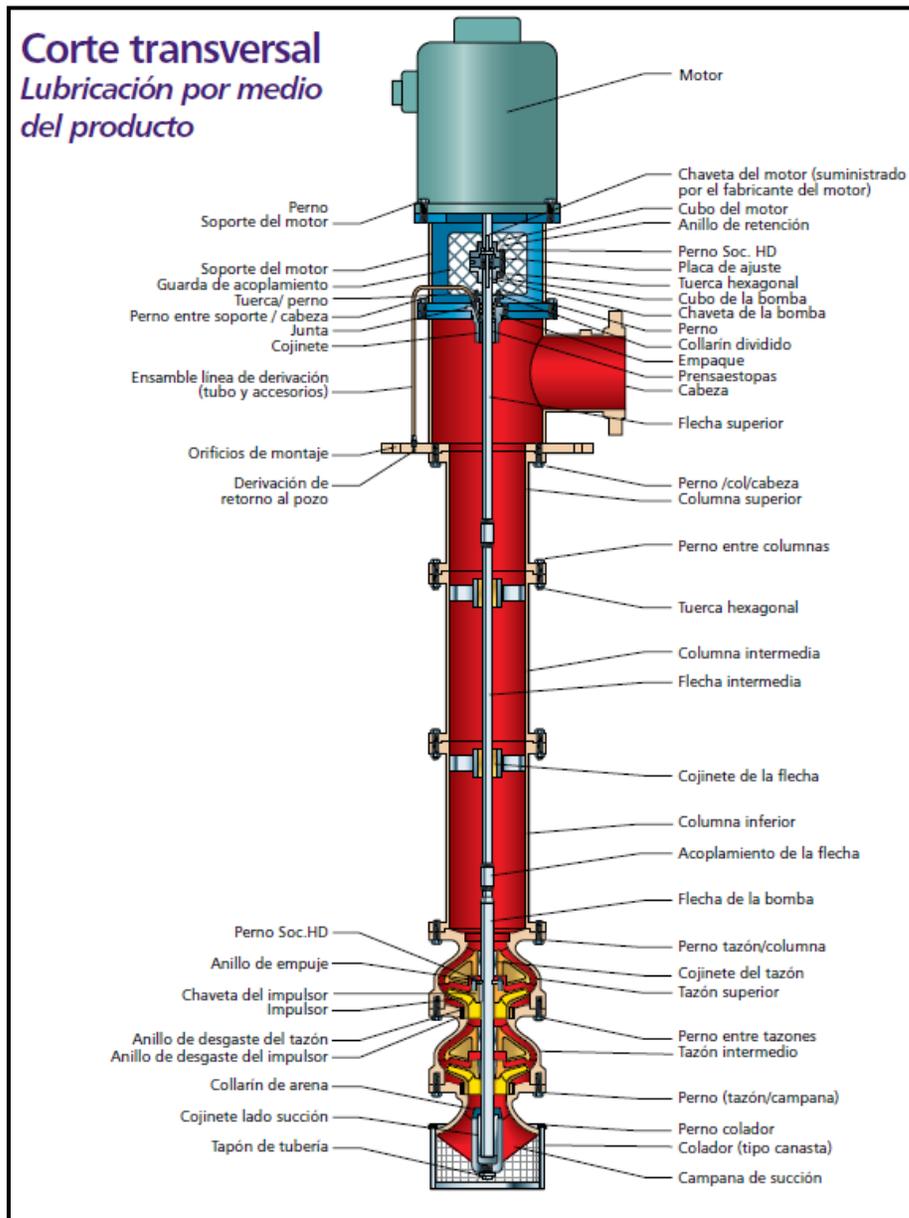
Las cubiertas tienen una longitud de 1,52 mts que es la mitad de una flecha y su función es la de alojar a la flecha para que no esté en contacto con el agua, y así pueda lubricarse con el aceite, que viene desde el gotero que está en el cabezal de descarga, para que las chumaceras por medio de las venas que se encuentran en su interior permitan ir lubricando dicha flecha.

Al mismo tiempo tiene una función de estabilización, evitando vibraciones que pudieran ocurrir.

Entre las cubiertas y el tubo de columna se colocan cada tres tramos de cubierta un estabilizador, el cual es de neopreno y su función es la de

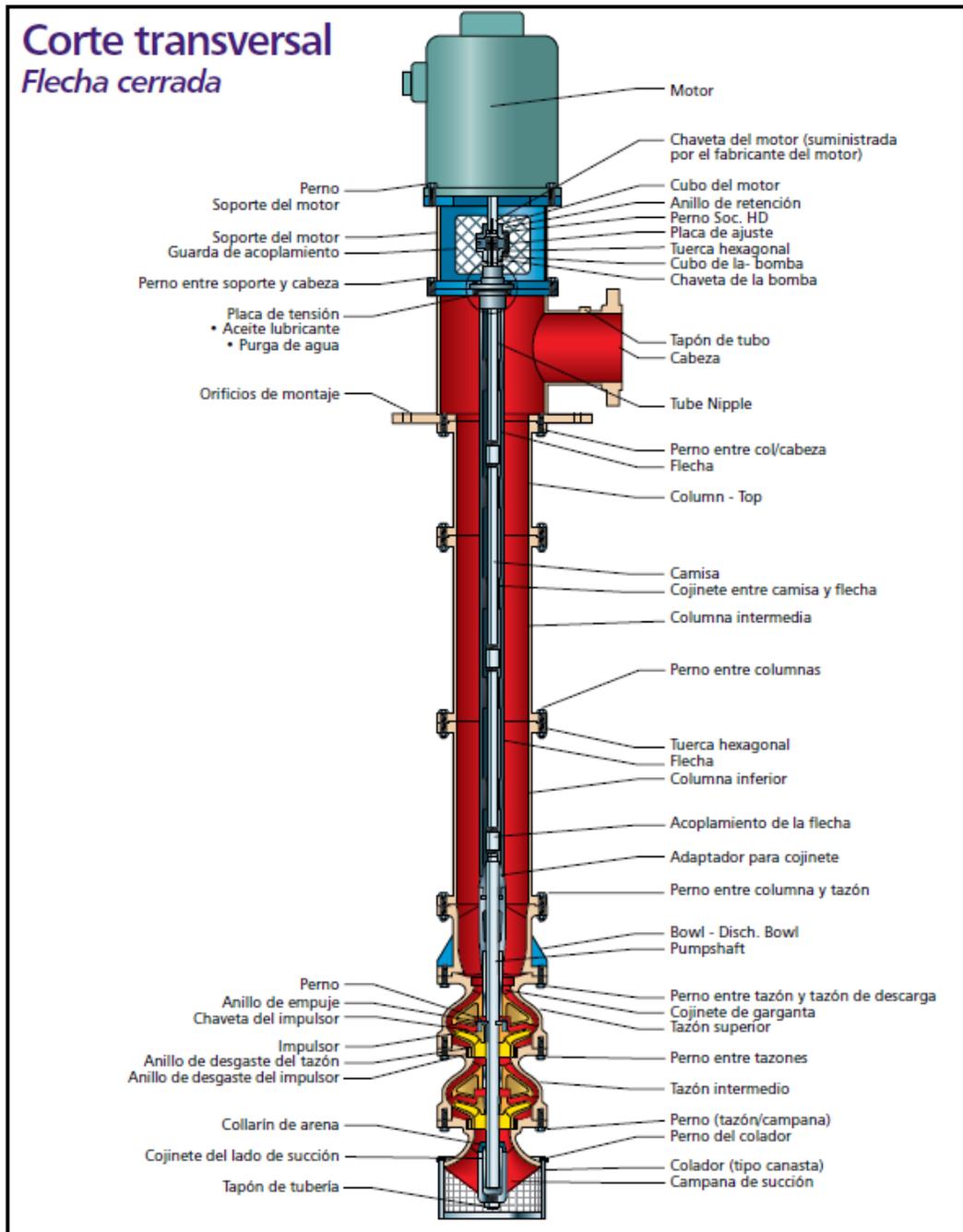
amortiguar los movimientos radiales de las cubiertas, al estar en movimiento la flecha.

Figura 52. Transmisión en caso de lubricación con agua



Fuente: Goulds Pumps. Bombas verticales tipo turbina. p. 3.

Figura 53. Transmisión en caso de lubricación por aceite



Fuente: Goulds Pumps. Bombas verticales tipo turbina. p. 4.

### **3.3.2.3. Transmisión motriz**

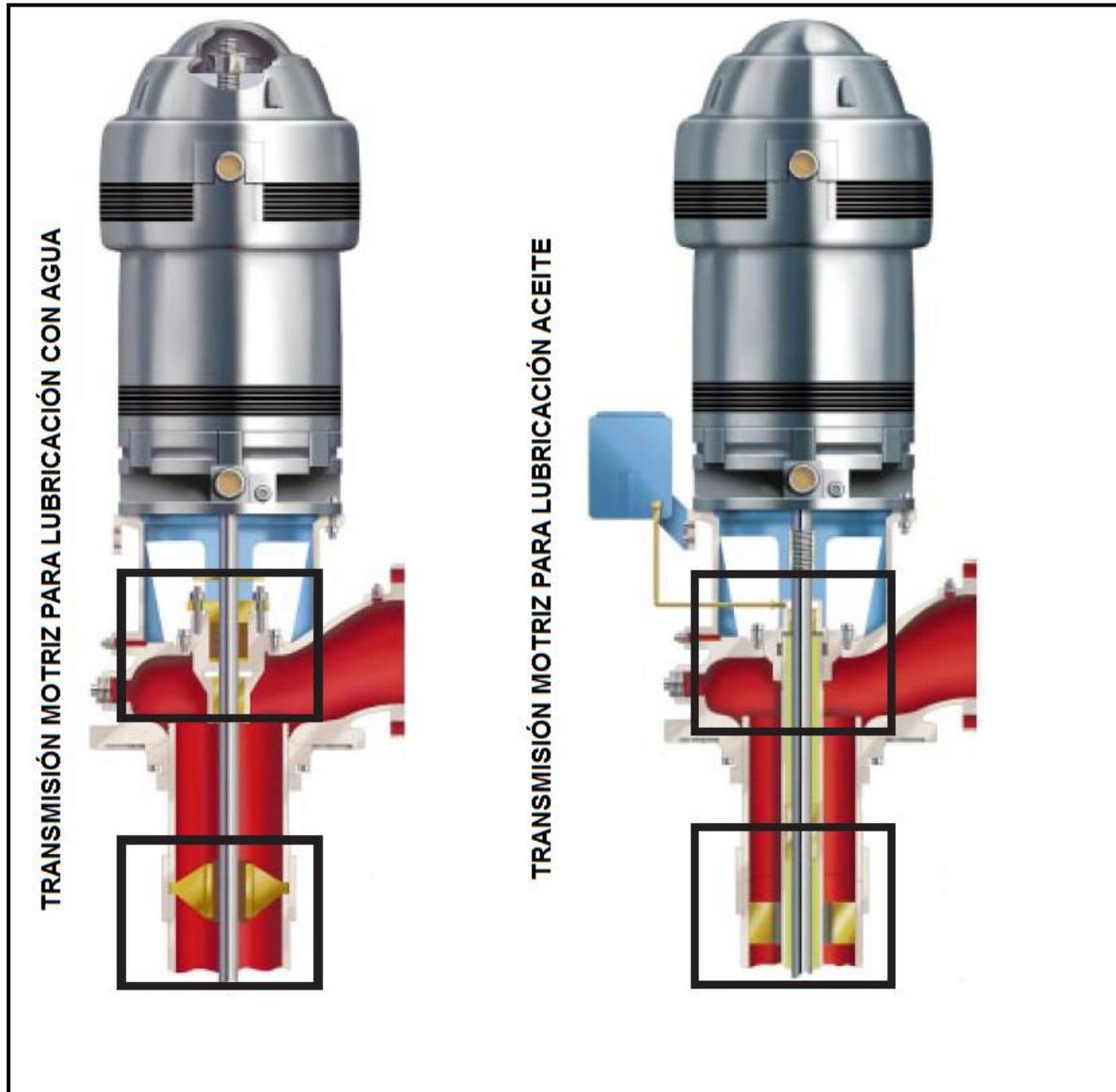
La transmisión motriz tiene una longitud, la cual tiene la particularidad que en un extremo de ella cuenta con una cuerda acme, que le permite ajustar el juego axial en los impulsores por medio de la tuerca de ajuste. Esta tuerca tiene en cada una de sus caras un opresor para evitar que se descalibre la bomba cuando ya está perfectamente calibrada.

La cuerda acme tiene la flecha, por uno de sus lados un cuñero y una cuña de arrastre, esta permite que el movimiento de motor se transmita a la flecha.

También cuenta con un metalizado que se encuentra a la altura del estopero, cuando se trata de lubricación por agua, y por último, tiene un acople y un niple para unirse a la flecha intermedia.

Cuando es lubricación por aceite, se tiene una cubierta superior que está roscada en su exterior, y que sirve para tensar la totalidad de la cubierta, por medio de una tuerca tensora alojada en el cabezal de descarga.

Figura 54. Tipos de transmisión



Fuente: Bell & Gossett. Vertical turbine pumps. p. 4 y 6.

### 3.3.3. Análisis de empuje y juego axial (estiramiento)

La flecha de la columna de la bomba (no la de los tazones), experimenta un fenómeno de estiramiento, debido a que los impulsores producen una reacción o empuje hacia abajo, como el efecto del peso mismo de la flecha de la columna. Por esto, se debe calcular este fenómeno, para que por medio de la tuerca de ajuste compensar dicho estiramiento y eliminar el peligro de que los impulsores se arrastren sobre el tazón, para que los impulsores trabajen en el lugar óptimo de eficiencia.

Para poder sacar el estiramiento se tiene que observar la tabla VI.

- Estiramiento

Este estiramiento depende de tres cosas básicas:

- El empuje hacia abajo ejercido por el impulsor al estar en funcionamiento, el cual depende de la CDT, la geometría y el peso del impulsor.
- El largo de la flecha de la columna.
- El peso de la flecha de la columna.

- Explicación del uso de la tabla

Para obtener el empuje axial del impulsor se mira la tabla II, con la CDT calculada anteriormente y el número de pasos, se obtiene el empuje total hacia abajo que soporta la flecha de la columna en conjunto, es decir:

$$HT = (\text{empuje axial} \times \text{CDT}) + (\text{peso del impulsor} \times \text{número de pasos})$$

El resultado de esta operación es el empuje hacia abajo. Solo falta considerar el peso mismo de la flecha, lo que se obtiene directamente de la tabla V, multiplicando el peso de una flecha por el número de flechas que tiene la bomba.

Luego, la tabla VI relaciona la carga axial total y el diámetro de la flecha, obteniendo el estiramiento por cada 100 pies, y así se obtiene el estiramiento total.

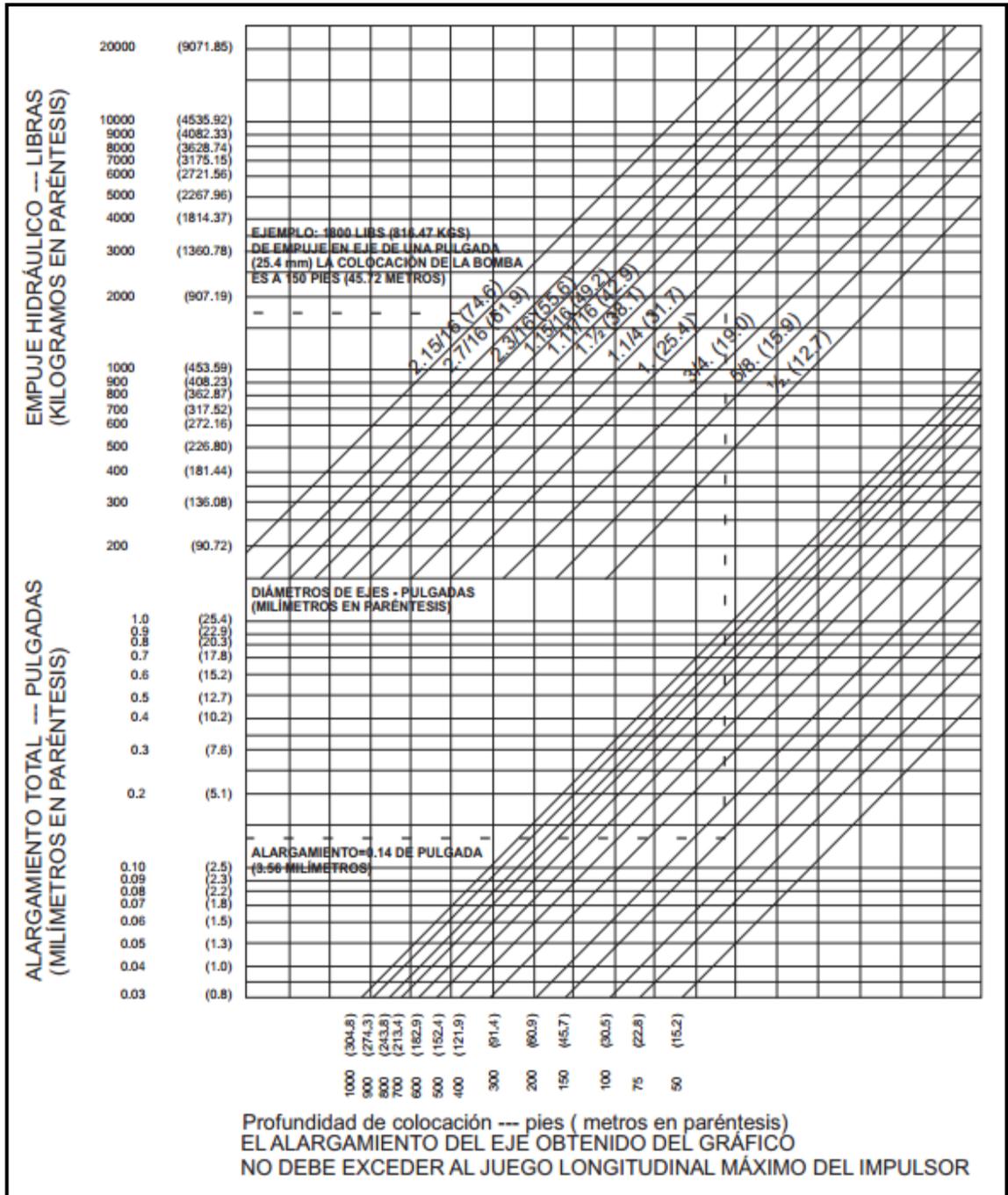
$$E = \frac{L \times 12 \times HT}{29\,000\,000 \times GSA}$$

Donde:

- E = alargamiento (pulg)
- L = largo de la flecha (pies)
- e = módulo de elasticidad (29 000 000)
- HT = carga axial (lbs)
- GSA = sección área de flecha (pulg)

$$GSA = \frac{\pi D^2}{4}$$

Tabla VI. Elongación del eje

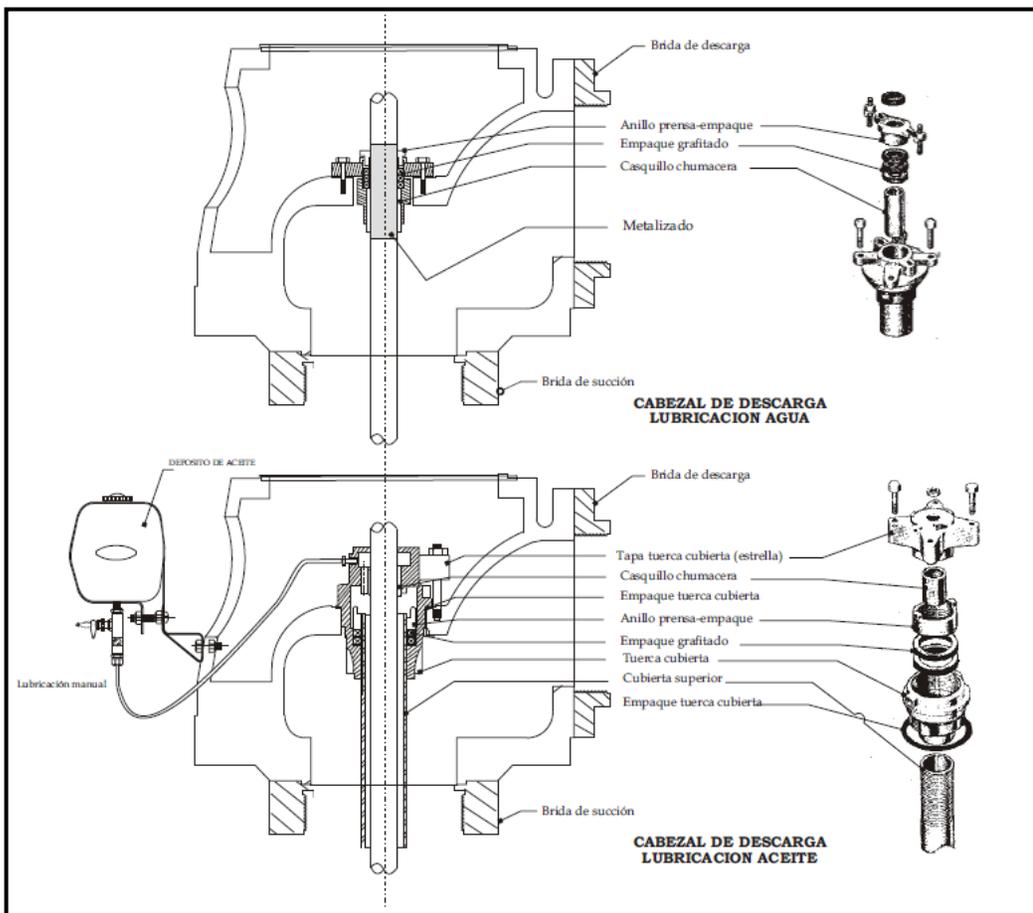


Fuente: Bombagua.

### 3.4. Determinación del cabezal de descarga

Este es de acuerdo con el diámetro del tubo utilizado. Sus partes son: estopero, prensa empaque, empaque grafitado, bridas tanto succión como descarga. En lubricación con aceite además de estos elementos también lleva estrella, depósito y conexiones.

Figura 55. **Cabezales de descarga de lubricación, por agua y por aceite**



Fuente: bombas Warson.

### **3.5. Cálculo del elemento motriz**

El elemento motriz es el motor que dará la potencia para poner a funcionar el equipo de bombeo; puede ser eléctrico o de combustión interna.

Se debe escoger de acuerdo con el caballaje que consume nuestro equipo y tomando en cuenta las pérdidas mecánicas en las flechas, y nunca limitando, pues se corre el riesgo de forzarlo.

### **3.6. Consideraciones de ingeniería**

Este punto es para obtener algunos datos críticos de diseño en el equipo de bombeo, que siempre hay que tomar en cuenta con lo que respecta a condiciones de operación y diseño.

#### **3.6.1. Análisis de la carga neta de succión positiva (NPSH)**

La carga neta de succión positiva, NPSH por sus siglas en inglés, *net positive suction head*, se divide en NPSH requerida y disponible. Por regla general la disponible siempre tiene que ser mayor que la requerida para que no hayan problemas por cavitación.

##### **3.6.1.1. Carga neta de succión positiva requerida**

Es la carga neta positiva absoluta requerida en metros, que deben existir en la succión de la bomba para prevenir la vaporización o cavitación del fluido.

Esta cantidad de carga en metros depende del diseño y geometría del impulsor y lo define el fabricante en sus curvas de operación. Dicha carga varía

de acuerdo con el gasto y es basada en agua clara con una gravedad específica de 1,0.

### **3.6.1.2. Carga neta de succión positiva disponible**

Es la carga neta positiva absoluta que se dispone en metros en la succión de la bomba, si esta es menor que la requerida se tendrá el problema de vaporización o cavitación en el sistema.

Esta carga disponible depende de las condiciones de cómo esté operando la bomba, más que la bomba misma.

Estas condiciones de operación son: presión atmosférica a la altitud de instalación, temperatura del agua a bombear, la sumergencia de la bomba.

Para obtener el NPSH requerido se busca en la parte inferior de las curvas de operación, para este caso se ve en la figura 49. El valor en metros se encuentra trazando una línea vertical partiendo del gasto en dirección a la curva, y de este se traza una línea horizontal y se obtiene el NPSH requerido.

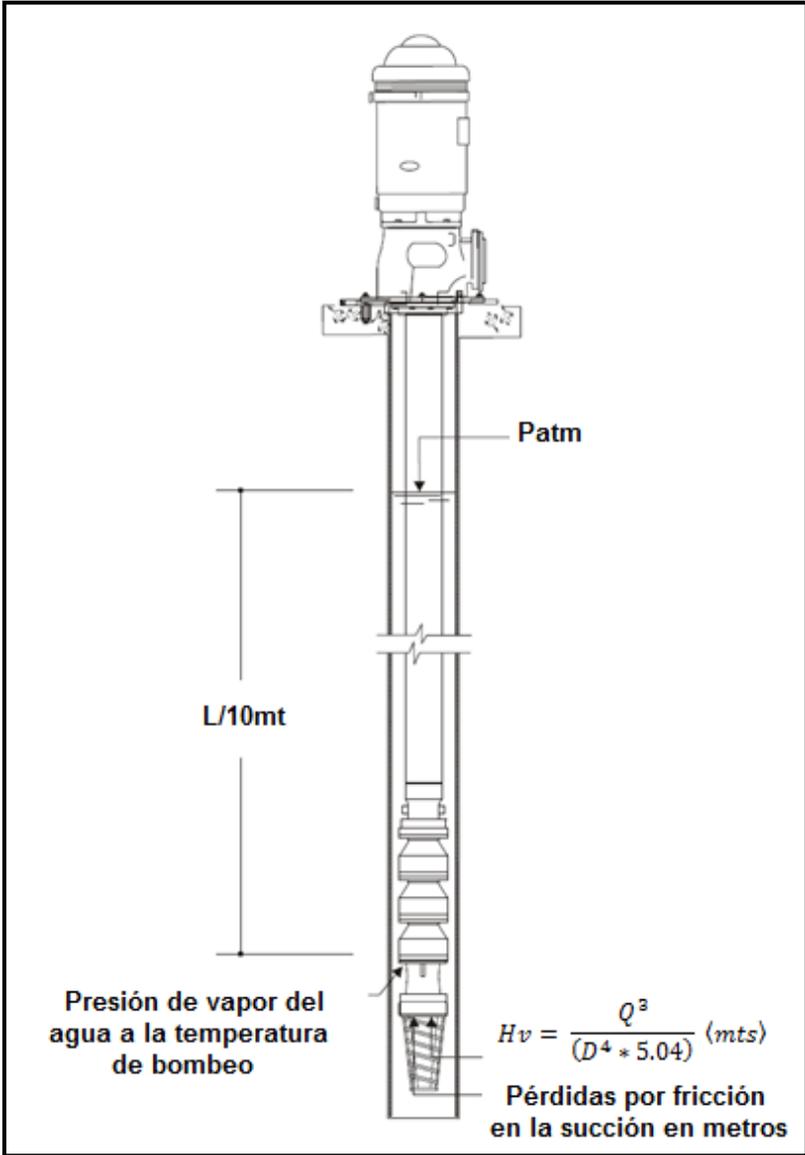
El siguiente paso es obtener el NPSH D (NPSH disponible). Viendo la figura 56 se calcula de la siguiente manera.

$$\text{NPSH D} = P_{\text{atm}} + H_v + L/10 - \text{pérdidas por fricción} - \text{presión de vapor}$$

Para obtener dicho NPSH D, se debe siempre tomar un punto de referencia constante en el que se harán las mediciones de presión o carga en metros, a favor (+) o en contra (-), que en el caso de las bombas verticales se

toma como punto de referencia la entrada de agua en el primer impulsor de la bomba.

Figura 56. Datos para el cálculo del NPSH disponible



Fuente: bombas Warson.

- Patm

- Presión atmosférica (Patm) en metros en el lugar de instalación la cual depende de la altura sobre el nivel del mar en el lugar de instalación. Diferentes lecturas de presiones se pueden visualizar en la tabla VII.
- En el caso de que el punto de succión en el primer impulsor fuera un tanque a presión (en caso de bombas enlatadas o levantadoras de presión) al valor del inciso a) deberá agregarse la presión del tanque, es decir, que esta presión incrementaría el NPSHD.

**Tabla VII. Lectura de presiones atmosféricas correspondientes a diferentes altitudes**

PIES	METROS	LEC. BAROMETRICA		PRESIÓN ATMOSFÉRICA		PUNTO DE EBULLICIÓN DEL AGUA (°F)
		PLG. HG	MM. HG	PSI	PIES AGUA	
-100	-304,8	31	788	15,2	35,2	213,8
-500	-152,4	30,5	775	15	34,6	212,9
0	0	29,9	760	14,7	33,9	212
500	152,4	29,4	747	14,4	33,3	211,1
1000	304,8	28,9	734	14,2	32,8	210,2
1500	457,2	28,3	719	13,9	32,1	209,3
2000	609,6	27,8	706	13,7	31,5	208,4
2500	762	27,3	694	13,4	31	207,4
3000	914,4	26,8	681	13,2	30,4	206,5
3500	1066,8	26,3	668	12,9	29,8	205,6
4000	1219,2	25,8	655	12,7	29,2	204,7
4500	1371,6	25,4	645	12,4	28,8	203,8
5000	1524	24,9	633	12,2	28,2	202,9
5500	1676,4	24,4	620	12	27,6	201,9
6000	1828,8	24	610	11,8	27,2	201
6500	1981,2	23,5	597	11,5	26,7	200,1
7000	2133,6	23,1	587	11,3	26,2	199,2
7500	2286	22,7	577	11,1	25,7	198,3
8000	2438,4	22,2	564	10,9	25,2	197,4
8500	2590,8	21,8	554	10,7	24,7	196,5
9000	2743,2	21,4	544	10,5	24,3	195,5
9500	2895,6	21	533	10,3	23,8	194,6
10 000	3048	20,6	523	10,1	23,4	193,7
15 000	4572	16,9	429	8,3	19,2	184

Fuente: bombas Warson.

- Hv: carga de velocidad en metros de agua en la succión. Normalmente es despreciable.
- Sumergencia o desnivel (L/10 mt): carga estática en metros sobre o bajo el nivel del primer impulsor. Esta carga es positiva si el nivel del líquido está sobre el impulsor o negativa si está bajo el nivel del primer impulsor.
- Pérdidas por fricción: todas están en metros incluyendo válvulas y accesorios que hubiera entre el primer impulsor y la conducción de succión.
- Presión de vapor: del agua bombeada a la temperatura del agua bombeada, expresada en metros de carga. Esto puede visualizarse en la tabla VIII.

Sumando y restando los cinco elementos mencionados anteriormente se obtiene el NPSHD, que deberá siempre ser al menos un metro mayor que el NPSHR, para no tener problemas de cavitación.

Si esto no sucediera, deberán cambiarse las condiciones de operación de la bomba y la manera más fácil de hacerlo es generando sumergencia en el primer impulsor, cuando las condiciones lo permitan.

Debido a la discusión anterior, la temperatura, la gravedad específica y el nivel de sumergencia requerido tienen una gran importancia, ya que si la bomba no se encuentra con un NPSH disponible mayor que el NPSH requerido, se tendrá el fenómeno de cavitación, el cual hace que por condiciones de presión y temperatura dentro del impulsor se generen burbujas dentro del mismo, que al

pasar a una zona de baja a una de alta presión estallan, generando datos importantes al impulsor y al funcionamiento de la bomba en funcionamiento.

Tabla VIII. **Tabla de presión de vaporización del agua a diferentes temperaturas**

TEMP (°C)	PRESIÓN	
	MTS. AGUA	PIES AGUA
0	0,0623	0,20
5	0,089	0,29
10	0,125	0,41
15	0,173	0,57
20	0,238	0,78
25	0,323	1,06
30	0,432	1,42
35	0,573	1,88
40	0,752	2,47
45	0,977	3,20
50	1,257	4,12
55	1,605	5,27
60	2,031	6,66
65	2,55	8,37
70	3,177	10,42
75	3,931	12,90
80	4,829	15,84
85	5,894	19,34
90	7,149	23,46
95	8,619	28,28
100	10,332	33,90

Fuente: bombas Warson.

### 3.7. Cálculo del nuevo equipo de bombeo

- Definición de datos

Gasto o caudal	=	1 189 gpm = 0,07501 m <sup>3</sup> /s = 75,01 lps
Nivel dinámico	=	1,5 mts
Diámetro del ademe	=	20"
Tipo de lubricación	=	por agua
Tipo de impulsor	=	cerrado
Velocidad de operación	=	1 760 rpm
Gravedad específica	=	1,0
Temperatura	=	30 °C
Presión de operación	=	75 psi = 5,2730 kg/cm <sup>2</sup> = 52,73 mts

Datos adicionales: conducción de 1 000 metros en tubo de 8" y un desnivel de 10 metros desde el cabezal de descarga al punto de descarga del agua.

- Cálculo de la carga dinámica total (CDT)

Lo primero es definir el número de tramos, lo cual se hace con una aproximación inicial de 10 metros adicionales al nivel dinámico, y con la tabla IV se propone un diámetro de tubería de columna de acuerdo al caudal de diseño.

CDT = 1,5 mts (nivel dinámico) + 10 mts (elevación topográfica) + 1,27 metros (pérdidas por fricción) + 52,73 mts (presión de operación)

$$CDT = 65,5 \text{ metros} = 214,84 \text{ pies}$$

- Cálculo del ensamble de tazones

Con el caudal de 1 189 gpm o 75,01 lps se busca en las curvas de operación el más eficiente, como se muestra en la figura 49, en este caso 12JRHC. Con esta curva de operación se obtiene los siguientes datos:

Carga por etapa = 57,6 pies o 17,55 metros  
Eficiencia = 82,2 %  
Potencia por etapa = 21 HP

Número de etapas =  $CDT / \text{carga por etapa (h}_{\text{impulsor}}) = 65,5 / 17,55 = 3,73 \approx 4$  etapas

Puntos de eficiencia a quitar = 3 % por tazón no esmaltado y por número de etapas no hay necesidad de quitar ningún punto de eficiencia.

Con esta información se procede a obtener el factor de corrección en la carga por etapa:

$$F1 = (82,2 - 3,0) / 82,2 = 0,96$$

Para el factor de corrección por densidad o gravedad específica:

F2 = 1,0, es decir que no hay necesidad de corregir por gravedad específica dado que esta es 1,0.

Por lo que la carga ajustada por etapa será:

$$17,55 \times 0,96 = 16,85 \text{ metros por etapa}$$

Y el número de etapas ajustado será =  $65,5/16,85 = 3,89 \approx 4$  etapas.

Y la carga que dará este ensamble de tazones será =  $4 \times 16,85 = 67,4$  metros.

Lo cual excede ligeramente la CDT de diseño que es 65,5 metros.

Si esta carga excediera demasiado de la CDT de diseño, se debe pensar en la opción de recortar el impulsor.

- Cálculo de la potencia consumida

Con la potencia por etapa solo se multiplica por el número de etapas:

$$21 \text{ hp} \times 4 \text{ etapas} = 84 \text{ HP}$$

Esta potencia se puede comparar con la dada por la siguiente fórmula de potencia requerida para un equipo de bombeo:

$$\text{Pot} = \frac{\gamma * Q * CDT}{75 * \eta}$$

Donde:

Pot = potencia de bomba en HP

$\gamma$  = peso específico del agua en  $\text{kg/m}^3$

Q = caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$

CDT = carga dinámica total

$\eta$  = eficiencia de la bomba

Por lo tanto:

$$\text{Pot} = \frac{1\,000 * 0,07051 * 65,5}{75 * 0,822} = 74,91 \text{ HP}$$

Asimismo, la potencia del motor que acciona la bomba es mayor, y para que funcione adecuadamente, se recomienda que sea superior a la potencia de la bomba entre el 10 y el 30 %, es decir:  $1,1 < \text{Potencia de motor} < 1,3$ .

Las pérdidas en la flecha o eje son despreciables, ya que esta es de longitud muy corta.

- Transmisión

De acuerdo con la tabla V y con la velocidad de operación (1 760 rpm) se ve que se debe de tener una flecha de 1 ½” que resiste hasta 150 hp y se van a consumir solo 84 hp. La transmisión motriz deberá ser el mismo diámetro.

- Cabezal de descarga

Tendrá que ser del mismo diámetro de la columna, en este caso 8” por lo que deberá ser 8 x 8 x 16 ½, que significa 8” de succión, 8” de descarga y 16 ½” del plato del ensamble del motor eléctrico.

- Consideraciones del NPSH

En la curva de operación aparece la gráfica del NPSH requerido, en este caso en 75 lps es de 5,40 metros. Solo se debe calcular el NPSH disponible el cual tiene que ser mayor para evitar cavitación.

Cargas a favor:

Presión atmosférica a 1 760 msnm = 31,8 pies / 3,28 pies = 9,69 metros

Carga de velocidad = despreciable

Sumergencia de la bomba = 5 – 1,5 = 3,5 metros

Suma de cargas a favor = 9,69 metros + 3,5 metros = 13,19 metros

Cargas en contra:

Presión de vapor a la temperatura de bombeo = 0,432 metros a 30 °C

Fricciones en la succión: no hay debido a que no hay accesorios en la succión excepto el colador de fábrica que se considera despreciable tal fricción.

Suma de cargas en contra = 0,432 metros

Entonces el NPSH disponible es:

= 13,19 – 0,432 = 12,758 metros o 41,846 pies

El NPSH disponible es mayor que el requerido, por lo tanto no hay ningún problema de cavitación.



## 4. EQUIPO DE BOMBEO DEL SISTEMA

### 4.1. Equipo de bombeo y accesorios instalados

El equipo tiene varios componentes mecánicos y eléctricos cuyas características técnicas se describen a continuación.

#### 4.1.1. Datos de las bombas

Las especificaciones de la bomba se detallan en la tabla IX.

Tabla IX. Especificaciones de bombas

	Bomba 1	Bomba 2
Tipo de bomba	Turbina vertical	Turbina vertical
Marca	Goulds	Goulds
Número de serie	430008	430097
Modelo	12RJHC	12RJHC
Caudal	1189 galones por minuto	1189 galones por minuto
CDT	230 pies	230 pies
No. etapas	4	4
Eficiencia	83,40 %	83,40 %
Diámetro de impulsores	7,875"	7,875"
Diámetro de tazón	11,6"	11,6"

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Datos de los motores

Las especificaciones de los motores instalados se muestran en la tabla X.

Tabla X. **Especificaciones de motores**

	<b>Motor 1</b>	<b>Motor 2</b>
Tipo de Motor	Vertical	Vertical
Marca	US Motors	US Motors
HP	100	100
Voltios	230/460	230/460
Hertz	60	60
Amperios	241/120.5	241/120.5
Rpm	1775	1775
Código	G	G
S.F.	1,15	1,15
Cat #	H0100S2BLG	H0100S2BLG

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.3. Columnas de descarga

La columna de descarga está compuesta por el cabezal de descarga, la tubería por donde fluye el agua, ejes, arañas y bujes. Estos materiales se listan en la tabla XI.

Tabla XI. **Descripción de la columna de descarga**

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
2	Cabezales de descarga tipo W para turbina de 10 x 16 ½ marca Goulds.
30	Pies de columna de acero negro, cédula 40 de 8". Incluye eje de acero inoxidable de 1 ½.
6	Arañas de bronce.

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.4. Manifold de descarga**

El manifold de descarga son todos los accesorios y tubería instalada después del cabezal de descarga. Estos accesorios se muestran en la tabla XII.

Tabla XII. **Accesorios del manifold de descarga**

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
2	Válvulas de compuerta de 8" marca Pacific 125 psi bridada HF.
2	Válvulas de cheque horizontal de 8" marca Pacific 125 psi bridada HF.
2	Válvulas de alivio de 8" Marca Watts/ACV.
1	Válvula anticipadora contra golpe de ariete de 4" marca Flomatic.
1	Medidor de flujo de 8" marca Water Specialities No. Serie 202369-8".

Continuación de la tabla XII.

2	Reductores concéntricos de 8" a 6".
2	Juntas flexibles de 8".
2	Manómetros inmersos en glicerina marca Senninger escala 0 – 200 psi.
	Todos los accesorios necesarios para formar el cuerpo del manifold, tales como: te, reductores, codos, niples, etc.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.5. Equipo de cloración

Los instrumentos y accesorios que forman el equipo de cloración se muestran en la tabla XIII.

Tabla XIII. Descripción del equipo de cloración

Cantidad	Descripción
1	Bomba centrífuga marca Sta. Rite Modelo FSNDHX Código IAOIP 0067
1	Motor eléctrico marca Sta. Rite con las siguientes características Potencia ¾ HP KW 0,55 Volts 115/230 Rpm 3450 Phase 1 (monofásico)

Continuación de la tabla XIII.

1	Arrancador monofásico marca Siemens.
1	Balanza mecánica.
1	Dosificador para cilindro de gas de cloro marca Advance. número de serie VR602C0000000247.
1	Dosificador para cilindro de gas de cloro marca Advance. número de serie VR602C0000000248.
1	Dosificador Master para gas cloro marca Advance. número de serie AS100C0000001269.
1	Indicador Master de dosificación marca Advance. número de serie RM007C0000000209.
1	Manómetro inmerso en glicerina marca Senninger escala (0-200) psi.
1	Cilindro de gas cloro de 68 kilogramos.

Fuente: elaboración propia.

## **4.2. Equipo eléctrico**

A continuación se describe el listado del equipo eléctrico del sistema.

### **4.2.1. Paneles**

Los paneles instalados en el sistema son tres: de control, de la bomba 1 y el de la bomba 2.

#### 4.2.1.1. Panel de control

En la tabla XIV se listan los componentes eléctricos del panel de control.

Tabla XIV. Lista de componentes del panel de control

Cantidad	Descripción
1	Gabinete metálico de chapa de acero con puerta embisagrada y con llave.
1	Interruptor miniatura para el encendido de la lámpara del gabinete, identificado con la nomenclatura S14.
1	Lámpara fluorescente de 1 x 20 watts, identificada con la nomenclatura H16.
1	Regulador de voltaje de 3,0 kva marca APC OA Guard, identificado con la nomenclatura T2.
1	Controlador lógico programable (PLC) marca OMROM, identificado con la nomenclatura G2, que comprenden los siguientes módulos: 1 módulo de fuente de poder PA206 1 módulo de entradas ID213 2 módulos de salidas OC221 1 fuente de poder IPS01 1 módulo analógico AD041
1	Fuente de poder para alimentación de la pantalla inteligente NT, identificada con la nomenclatura T7.
2	Reveladores de control con su base marca OMROM, identificados con la nomenclatura R4 y R5.

Continuación de la tabla XIV.

1	Interruptor automático de 1 x 5 amperios marca CAMSCO, identificado con la nomenclatura F14.
1	Juego de bornes plásticos para conexión de cables identificada como X0, contiene 104 unidades.
1	Resistencia de 1200 <i>watts</i> en 240 vac. Identificada con la nomenclatura R11.
1	Rejilla para flujo de aire.
1	Medidor ultrasónico de nivel marca LUNDAHL, identificado con la nomenclatura G16.
1	Pantalla inteligente (NT), marca OMRON, identificada con la nomenclatura G8.
1	Luz piloto color verde, marca TEND indica clorador arrancado, identificada con la nomenclatura H16.
1	Selector de dos posiciones ON – OFF para el control de la resistencia, marca TEND, identificado con la nomenclatura S7.
1	Selector de tres posiciones para elegir el funcionamiento, identificado con la nomenclatura S6.
1	Transformador monofásico seco de control de 3,0 kVA, marca SIEMENS, identificado con la nomenclatura T1.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.2. Panel de transferencia múltiple semiautomática

En la tabla XV se listan los componentes del panel de transferencia múltiple semiautomática.

Tabla XV. Componentes del panel de transferencia

Cantidad	Descripción
1	Gabinete metálico de chapa de acero con llave.
1	Interruptor miniatura para el encendido de la lámpara del gabinete. Identificado con la nomenclatura S25.
1	Lámpara fluorescente de 1 x 20 <i>watts</i> , identificada con la nomenclatura H16.
1	Interruptor automático ( <i>flip-on</i> ) de 1 x 5 amperios, marca CAMSCO, identificado con la nomenclatura F27.
1	Juego de bornes plásticos identificado con la nomenclatura X5 y que contiene 22 unidades.
3	Contactores magnéticos marca SIEMENS identificados con la nomenclatura K1, K2, K3 Y K4.
4	Reveladores de control con sus bases marca OMRON identificados con la nomenclatura R21, R22, R23 y R24.
2	Sistemas de barras trifásicas de 125 amperios, que reciben la energía de los arrancadores hacia los motores.
1	Luz piloto color blanco marca TEND que indica energía de control, identificada con la nomenclatura H22.
1	Luz piloto verde que indica que el variador esta con la bomba 1, marca TEND, identificada con la nomenclatura H31.

Continuación de la tabla XV.

1	Luz piloto color verde que indica que el variador esta con la bomba 2, marca TEND, identificada con la nomenclatura H32.
1	Luz piloto color verde que indica que el variador esta con la bomba 1, marca TEND, identificada con la nomenclatura H30.
1	Luz piloto color verde que indica que el variador esta con la bomba 2, marca TEND, identificada con la nomenclatura H33.
2	Selectores de tres posiciones para elegir el funcionamiento de cada motor, marca TEND, identificados con la nomenclatura S21 y S22.
1	Selector de dos posiciones, ON – OFF para control de resistencia de calefacción, marca TEND, identificado con la nomenclatura S24.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.3. Panel de bomba 1

Los componentes del panel de bomba 1 se listan en la tabla XVI.

Tabla XVI. Componentes del panel de bomba 1

Cantidad	Descripción
1	Gabinete metálico de chapa de acero con puerta embisagrada y con llave.
1	Interruptor miniatura para el encendido de la lámpara del gabinete, identificado con la nomenclatura S13.
1	Extractor de aire marca COMAIR ROTRON, identificado con la nomenclatura M4.
1	Lámpara fluorescente de 1 x 20 <i>watts</i> , identificada con la nomenclatura H7.
1	Interruptor automático de 3 x 200 amperios marca CUTLER HAMMER, identificado con la nomenclatura F8.
3	Transformadores de corriente, relación 150:5, marca CAMSCO, identificados con la nomenclatura T9, T10 y T11.
1	Arrancador electrónico marca SOLCON, tipo <i>soft start-soft stop</i> , para arranque de motor de 190 KVA, con datos placa: STARTER: FLC 145 A CONTROL VOLTAJE: 115 V SERIAL NUMBER: 776/00 identificado con la nomenclatura G10.
1	Guardanivel, de bajo nivel de agua del tanque, que no permitirá el arranque ni en manual ni en automático. Marca OMRON, identificado con la nomenclatura GN3.

Continuación de la tabla XVI.

3	Reveladores de control, marca OMRON, identificados con la nomenclatura R6, R7 Y R8.
1	Interruptor automático ( <i>flip-on</i> ) de protección del transformador de control de 2 x 10 amperios, marca CAMSCO, identificados con la nomenclatura F2.
1	Juego de tres portafusibles para control, marca CAMSCO, 32 amperios, identificado con la nomenclatura F9.
1	Interruptor automático ( <i>flip-on</i> ) de protección del transformador de control de 1 x 5 amperios, marca CAMSCO, identificado con la nomenclatura F10.
1	Juego de bornes plásticos para conexión de cables, identificado con la nomenclatura X2 y que contiene 31 unidades.
1	Pararrayos trifásico marca SQUARE D, identificado con la nomenclatura F11.
1	Barra de tierras para pararrayos.
1	Resistencia de 1200 <i>watts</i> en 240 vac, identificada con la nomenclatura R10.
1	Rejilla para flujo de aire.
1	Pantalla digital de medición de potencia marca SOLCON, que mide: corrientes, voltajes, potencia, frecuencias y factor de potencia, identificada con la nomenclatura G11. Con los siguientes datos en la placa: Modelo: DPM 10-5-115-M-S P/N: 840045 Power: 115 Vac S/N: 175/00

Continuación de la tabla XVI.

1	Luz piloto color blanco que indica energía de control, identificada con la nomenclatura H11, marca TEND.
1	Luz piloto color verde que indica motor arrancado, identificada con la nomenclatura H8, marca TEND.
1	Luz piloto color blanco que indica disparo de motor, identificada con la nomenclatura H9, marca TEND.
1	Pulsador color rojo para "Reset" o reposición de condición normal del equipo, identificado con la nomenclatura S10, marca TEND.
1	Selector de tres posiciones para elegir el funcionamiento Manual o Automático del sistema, identificado con la nomenclatura S8, marca TEND.
1	Selector de dos posiciones, para arranque y paro del motor, identificado con la nomenclatura S9, marca TEND.
1	Selector de dos posiciones, <i>ON – OFF</i> para control de la resistencia de calefacción, identificado con la nomenclatura S11, marca TEND.
1	Alarma audible de falla del arrancador: AC 110 V, identificado con la nomenclatura B2, marca TEND.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.4. Panel de bomba 2

Los componentes del panel de bomba 2 se listan en la tabla XVII.

Tabla XVII. Componentes del panel de bomba 2

Cantidad	Descripción
1	Gabinete metálico de chapa de acero con puerta embisagrada y con llave.
1	Interruptor miniatura para el encendido de la lámpara del gabinete, identificado con la nomenclatura S13.
1	Extractor de aire marca COMAIR ROTRON, identificado con la nomenclatura M4.
1	Lámpara fluorescente de 1 x 20 <i>watts</i> , identificada con la nomenclatura H7.
1	Interruptor automático de 3 x 200 amperios marca CUTLER HAMMER, identificado con la nomenclatura F8.
3	Transformadores de corriente, relación 150:5, marca CAMSCO, identificados con la nomenclatura T9, T10 y T11.
1	Arrancador electrónico marca SOLCON, tipo <i>soft start-soft stop</i> , para arranque de motor de 190 KVA, con datos placa: STARTER: FLC 145 A CONTROL VOLTAJE: 115 V SERIAL NUMBER: 776/00 identificado con la nomenclatura G10.
1	Guardanivel, de bajo nivel de agua del tanque, que no permitirá el arranque ni en manual ni en automático. Marca OMRON, identificado con la nomenclatura GN3.

Continuación de la tabla XVII.

3	Reveladores de control, marca OMRON, identificados con la nomenclatura R6, R7 Y R8.
1	Interruptor automático ( <i>flip-on</i> ) de protección del transformador de control de 2 x 10 amperios, marca CAMSCO, identificados con la nomenclatura F2.
1	Juego de tres portafusibles para control, marca CAMSCO, 32 amperios, identificado con la nomenclatura F9.
1	Interruptor automático ( <i>flip-on</i> ) de protección del transformador de control de 1 x 5 amperios, marca CAMSCO, identificado con la nomenclatura F10.
1	Juego de bornes plásticos para conexión de cables, identificado con la nomenclatura X2 y que contiene 31 unidades.
1	Pararrayos trifásico marca SQUARE D, identificado con la nomenclatura F11.
1	Barra de tierras para pararrayos.
1	Resistencia de 1200 <i>watts</i> en 240 vac, identificada con la nomenclatura R10.
1	Rejilla para flujo de aire.
1	Pantalla digital de medición de potencia marca SOLCON, que mide: corrientes, voltajes, potencia, frecuencias y factor de potencia, identificada con la nomenclatura G11. Con los siguientes datos en la placa: Modelo: DPM 10-5-115-M-S P/N: 840045 Power: 115 Vac S/N: 175/00

Continuación de la tabla XVII.

1	Luz piloto color blanco que indica energía de control, identificada con la nomenclatura H11, marca TEND.
1	Luz piloto color verde que indica motor arrancado, identificada con la nomenclatura H8, marca TEND.
1	Luz piloto color blanco que indica disparo de motor, identificada con la nomenclatura H9, marca TEND.
1	Pulsador color rojo para "Reset" o reposición de condición normal del equipo, identificado con la nomenclatura S10, marca TEND.
1	Selector de tres posiciones para elegir el funcionamiento Manual o Automático del sistema, identificado con la nomenclatura S8, marca TEND.
1	Selector de dos posiciones, para arranque y paro del motor, identificado con la nomenclatura S9, marca TEND.
1	Selector de dos posiciones, <i>ON – OFF</i> para control de la resistencia de calefacción, identificado con la nomenclatura S11, marca TEND.
1	Alarma audible de falla del arrancador: AC 110 V, identificado con la nomenclatura B2, marca TEND.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. Acometida principal

En la tabla XVIII se listan los componentes de la acometida principal instalada.

Tabla XVIII. Componentes de la acometida principal

Cantidad	Descripción
1	Interruptor automático ( <i>flip-on</i> ) principal de 3 x 300 amperios, ambos marca CUTLER HAMMER.
1	Tablero de distribución marca CUTLER HAMMER, trifásico 480 V, equipado con: 2 interruptores automáticos ( <i>flip-on</i> ) de 2 x 30 amperios, marca CUTLER HAMMER.
1	Transformador monofásico seco, marca SIEMENS, número de serie K136088.
1	Transformador monofásico seco, marca SIEMENS, número de serie K136097.

Fuente: elaboración propia.

## **5. OPERACIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO**

Las mediciones de presiones, caudales, cloración y datos eléctricos efectuadas cada hora deberán ser anotadas en el reporte de operación. Ver figura 57.

### **5.1. Operación hidráulica**

El control diario de las operaciones hidráulicas deberá ser responsabilidad del operador u operadores, la operación hidráulica comprende aquellas actividades como: mediciones del caudal de rebombeo, apertura y cierre de válvulas, medidas del nivel del tanque, así como de la presión en la línea del manifold de descarga, observación de la pantalla donde aparecen los datos del porcentaje del nivel del tanque medidos por el medidor ultrasónico (Lhundhal), etc.

#### **5.1.1. Control y registro de presiones y caudales**

Esto se debe hacer cada hora, ya que se requiere únicamente que el operador anote el caudal que está marcando el medidor de caudal o flujo, cuando estén operando los equipos de rebombeo el cual está expresado en litros por segundo y, también debe anotarse las lecturas del caudal acumulado que entra y sale, mientras que para el control de la presión, en los manifolds de descarga del rebombeo está colocado un manómetro el cual está provisto de un baño de glicerina y cuyas unidades están expresadas en libras por pulgada cuadrada (psi).

Para que el manómetro marque la presión es necesario girar la manivela que está al lado de este y los mismos marcarán la presión que hay en la línea del manifold de descarga del rebombeo.

### **5.1.2. Medición de niveles de agua en el tanque**

Esta medición es responsabilidad del operador en turno. Los niveles de agua en el tanque se pueden ver en la pantalla donde aparecen los datos del porcentaje del nivel del tanque medidos por el medidor ultrasónico Lundhal.

### **5.1.3. Control del sistema de cloración**

La alimentación del sistema de cloro requiere la existencia de presión de agua suficiente para operar el clorador de gas y un control de arranque y parada.

La presión en la tubería debe ser suministrada por una bomba-motor y el arranque se lleva a cabo manualmente, después del arranque del equipo de bombeo del sitio.

El diseño del sistema ofrece un modo económico de dosificación que funciona automáticamente cuando se utiliza agua. Los dosificadores de gas son activados por un vacío creado por el flujo de agua o fluidos por el proceso del eyector remoto. El eyector remoto comprende un venturi productor de vacío y una válvula de retención con diafragma de resorte.

Una vez abierta la válvula de retención del eyector, permite que el vacío regrese por la tubería de vacío al regulador del sistema montada en la válvula de gas de un tanque de gas cloro. Esto hace que la válvula de entrada se abra,

iniciando el flujo del gas, en este punto el vacío es regulado por un diafragma de resorte.

El gas pasa por los rotámetros, las válvulas reguladoras de caudal y la tubería del sistema hasta el conjunto de válvulas de retención del eyector, aquí el gas se mezcla con el flujo de agua y se aplica en forma de solución.

El control de la dosificación del cloro aplicado depende de la cantidad de agua bombeada hacia la red de distribución, tomando en cuenta la concentración designada por el laboratorio que mantiene el control de la calidad del agua de las distintas redes que abastecen estos sistemas de producción de agua. Teniendo los datos del caudal y concentración a aplicar se establece la cantidad en libras de cloro que debe aplicarse por día.

Una forma de calcular rápidamente las libras de cloro a aplicadas por día es utilizando la información descrita en la tabla XIX:

**Tabla XIX. Cálculo de aplicación de cloro al día**

Aplicación de cloro		Caudal		Concentración de cloro		Constante
Libras por día	Igual	Litros / segundo	Multiplicar por	Partes por millón	Multiplicar por	0,190

Fuente: elaboración propia.

En el sistema de cloración se deben tomar cada hora las lecturas del rotámetro y del manómetro que se encuentran instalados en la caseta de cloración.

Figura 57. Reporte de operación

**REPORTE DE OPERACIÓN DIARIA**

Pozo o estación de bombeo \_\_\_\_\_ Identificación de la Unidad \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Operador que sale \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_ No. contador \_\_\_\_\_  
 Operador que entra \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_ Multiplicador \_\_\_\_\_

Hora	Lectura del contador		Voltajes			Amperajes			Presión PSI Línea Cloro	Volumen acumulado m	Caudal Lis/seg	RPM	FP	Hz	% de tanque	De la operación
	Kw/h	Demanda	L1	L2	L3	L1	L2	L3								
6																Total de horas trabajadas
7																Total de arranques
8																Hora (s) de arranque
9																
10																Del cloro
11																Consumo diario (lbs):
12																lbs del cilindro en uso:
13																cilindros llenos (peso total):
14																cilindros vacíos:
15																
16																
17																Motivos de suspensión
18																Horas:
19																
20																
21																
22																Observaciones:
23																
24																
1																
2																
3																
4																
5																

Fuente: elaboración propia.

## **5.2. Operación electromecánica**

La operación electromecánica comprende: el manejo del equipo de bombeo, el tablero de control y equipos auxiliares.

Previo al arranque de las unidades de bombeo, se deben seleccionar en la transferencia automática, que unidad funcionará con el variador y cual quedará en *stand by*.

### **5.2.1. Secuencia para el encendido y apagado**

Esta debe tener un procedimiento ordenado y bien definido para evitar errores en el desarrollo de las actividades que deberán efectuarse conjuntamente con el proceso de encendido y apagado del sistema.

#### **5.2.1.1. Procedimiento de encendido**

- a. Verificar que los tableros se encuentren energizados.
- b. Selección de la unidad que funcionará con el variador de velocidad y de la unidad que operará con el panel de control de arranque-paro suave.
- c. Seleccionar la condición la condición de arranque (manual o automático).
- d. Poner en operación el equipo.
- e. Luego de encendido el equipo, se debe tomar las lecturas de las mediciones eléctricas que aparecen en el tablero de control y las lecturas del manómetro y medidor de caudales tanto el caudal instantáneo como el medidor acumulativo.

### **5.2.1.2. Procedimiento del apagado**

- a. Apagar el equipo de bombeo, seleccionando (manual o automático) utilizando manualmente el botón indicado, o bien las manijas del variador (manual-automático, *stop-start*)
- b. Apagar el equipo de cloración

### **5.2.1.3. Control y registro de la operación eléctrica**

Es importante tener un historial de operación del sistema el cual queda a cargo del operador y de la unidad responsable de operación y mantenimiento, es importante anotar las lecturas de los siguientes parámetros:

- Lecturas del contador; kilovatios hora (Kwh) y kilovatios (Kw)
- Amperaje
- Voltaje
- Frecuencia
- Factor de potencia

## **5.3. Condición de funcionamiento**

El nuevo sistema de bombeo en el sitio está compuesto por dos bombas verticales de 100 HP que pueden operar a velocidad constante o velocidad variable, dependiendo del tipo de arranque seleccionado.

La operación de este sistema está considerada para poder operar con una bomba a velocidad variable, la otra estará en *stand by* en caso que falle la bomba que opera continuamente.

Este equipo se eligió para tener la versatilidad en contar con la alternativa de rebombear distintos caudales, de acuerdo a la operación de los tres pozos que alimentan el tanque El Maestro, como también poder absorber las pequeñas variaciones de caudal utilizando el Lundhal, el cual mantendrá el nivel del tanque en un rango comprendido entre el 30 y 80 por ciento de su capacidad total, regulará las revoluciones del equipo de bombeo según las condiciones que se presenten en el tanque.

El sensor de presión gobernará las revoluciones del equipo de bombeo de acuerdo a la presión en la red, si la presión es mayor de 79,2 psi deberá apagarse el sistema para evitar sobrepresiones.

La secuencia de arranque del sistema será:

- El tanque de compensación o distribución, deberá estar lleno y operando el bombeo de los pozos El Maestro, H-4 y H-5. En el caso del menor caudal aportado por el bombeo de un solo pozo, se tendrá que regular el caudal con el variador de velocidad para evitar que el rebombeo sea mayor que el caudal que aporta el pozo que opera en ese momento, esta actividad será regulada por el Lundhal de acuerdo al nivel mínimo que debe mantener el tanque.
- El rebombeo deberá arrancar automáticamente en el momento que el nivel del agua haga contacto con el electrodo alto de guarda nivel del tanque, o cuando el medidor ultrasónico dé la señal de tanque lleno.

- El rebombeo deberá parar en el momento que el nivel del agua alcance el electrodo más bajo del guarda nivel, o el medidor ultrasónico indique el nivel al que está programado, si es que no existe ningún pozo que este enviando agua hacia el tanque.
- El medidor de nivel ultrasónico enviará la señal de la variación en el tanque al PLC, el cual a su vez dará instrucciones al motor de la bomba, a través de su panel de control, para regular las revoluciones y con ello variar el caudal rebombeado.

### **5.3.1. Funcionamiento de los equipos**

Para el funcionamiento de todos los equipos instalados en la caseta deberán estar encendidos y/o energizados:

- El interruptor principal de la caseta (el *flip-on* grande del tablero de la pared). Este da energía a toda la caseta.
- El interruptor principal de cada panel de bomba (es el *flip-on* que está adentro de cada gabinete).
- El *flip-on* del transformador de control (es un *flip-on* pequeño instalado dentro del panel de control y que tiene la etiqueta F2). Este también sirve para alimentar la energía de control de todos los gabinetes.
- El *flip-on* de energía de control de cada gabinete (es un *flip-on* pequeño que está identificado con la etiqueta F7).

Puede ser que al energizar suene alguna de las alarmas, porque el nivel de agua del pozo esté bajo. Para apagar el sonido debe oprimir el botón rojo del gabinete del cual suena la alarma (el botón tiene el rótulo que dice *reset*).

### **5.3.2. Arranque de las bombas**

Hay dos formas de arrancar la unidad de rebombeo del tanque: manual y automático.

#### **5.3.2.1. Arranque manual**

- El panel de control está provisto de dos selectores, los que indican automático-manual y *stop-start*, para indicar el proceso de arranque, deberá accionar la manija hacia la posición manual, posteriormente la manija del segundo selector deberá accionar hacia *start*, en este momento se oirá el ruido de arranque de los ventiladores y se podrá ver la luz verde con rótulo motor arrancado. Asimismo, se escuchará el ruido del extractor de aire que se encuentra ubicado en la parte superior del tablero.
- Para apagar la bomba, primero debe poner el selector *stop-start* en la posición *stop* y después poner el selector automático-manual, en la posición de en medio. La luz piloto de color verde se va a apagar. El extractor de aire seguirá funcionando por 15 minutos más después de que se apague la bomba y luego deja de funcionar.

#### **5.3.2.2. Arranque automático**

- El selector del gabinete con el rótulo automático-manual debe ponerse en la posición automático.

- Se oirán los mismos sonidos en el arrancador y los ventiladores. El motor de la bomba, al alcanzar la velocidad necesaria, se encenderá la luz verde con el rótulo de motor arrancado y se oirá que comienza a funcionar el extractor de aire que está encima del gabinete.

Si se desea utilizar el equipo de rebombeo con velocidad variable mediante el variador de frecuencia, se debe utilizar la transferencia semiautomática para efectuar la selección del equipo.

Si a manera de ejemplo se toma la opción de que la unidad No. 1 funcione con el variador de velocidad, tendrán que efectuarse los siguientes movimientos:

En la transferencia existen dos selectores de variador-arrancador. Seleccionado la unidad 1 para funcionar con velocidad variable, en el selector de la unidad o bomba 2, la manija deberá estar al centro de variador-arrancador y en el selector de la unidad o bomba 1, la manija deberá accionarse hacia la posición de variador. Si en un momento determinado la bomba 1 presenta alguna avería y por tanto sale de operación, el proceso para arrancar la unidad 2 es: en el selector de variador-arrancador de la unidad 1, la manija deberá estar al centro y en el selector de variador-arrancador de la unidad 2, la manija deberá accionarse hacia la posición variador.

La unidad que trabajará con el variador de velocidad deberá complementarse así:

El panel está provisto de selectores automático-manual y *stop-start*, por tanto la primera manija se accionará hacia anual y la segunda manija hacia *start*. El incremento o decremento de velocidad será manual con el potenciómetro.

Si se opta por la opción automático, deberá efectuarse de la siguiente manera: en el selector automático-manual la manija deberá accionarse hacia automático y posteriormente en el selector *stop-start*, accionar la manija hacia *start*. El incremento o decremento de velocidad dependerá del nivel del tanque.

Cuando el nivel del agua esté bajo en el pozo sonará la alarma y la luz verde que tiene el rótulo, que dice motor arrancado encenderá parpadeando y la bomba parará automáticamente o no va arrancar. Para apagar la alarma debe oprimir *reset*, pero la luz verde seguirá parpadeando hasta que el nivel de agua esté normal. Si deja los selectores encendidos la bomba va a arrancar sola cuando el nivel de agua del pozo suba y el nivel del tanque esté bajo.

### **5.3.3. Señal de falla**

- Cuando hay una señal de falla va a sonar la alarma y se enciende la luz roja intermitente. Si la bomba estaba arrancada se apagará y si estaba apagada seguirá así. La alarma sonora se apaga siempre de la misma manera (oprimir *reset*), pero la luz roja seguirá intermitentemente mientras continúe la falla.
- La falla la detecta el arrancador. Para saber qué tipo de falla ocurre, hay que abrir la puerta del gabinete y leer la pantalla del arrancador.
- Deben colocarse los selectores en posición de apagado, luego en la pantalla del arrancador hay dos filas de pulsadores, uno de ellos es rojo y dice *reset*. Al oprimir este pulsador saldrá un mensaje que dice los minutos que faltan para que el arrancador vuelva a su estado normal (resetear). Cuando termina este tiempo y si ya no está la causa de la falla, al oprimir el pulsador *reset* del arrancador la luz roja que dice *fault* se apaga.

#### 5.3.4. Causas de la falla

Algunas de las razones por las que el arrancador puede fallar son las siguientes:

- Por bajo voltaje de la empresa eléctrica
- Porque hubo un alto voltaje que duró algunos segundos
- Porque la bomba está consumiendo más corriente para la que fue hecha
- Porque se trató de arrancar más de una vez en media hora
- Por sobrecalentamiento
- Por falla de aislamiento en el motor de la bomba
- Otros disturbios en la las líneas de la empresa eléctrica
- Por pérdida o desbalance de fases

Siempre que ocurra una falla, la alarma sonora suena y se enciende la luz roja de falla de manera intermitente.

Puede ser que al reintentar arrancar se dé una indicación de falla y el equipo no arranque. En cualquier caso de falla el operador deberá leer la pantalla del equipo y anotar la indicación.

Si el operador detecta algún problema grave de falla, que puede causar severos daños a los equipos, incendio o daños personales, debe bajar el interruptor principal de la caseta (el *flip-on* del tablero de la pared) y avisar a su jefe inmediato.

### **5.3.5. Funcionamiento del clorador**

Hay dos formas de arrancar el sistema de cloración: arranque manual y arranque automático.

#### **5.3.5.1. Arranque manual**

- El clorador se acciona con el selector que se encuentra en la puerta del gabinete de control, con el rótulo clorador-automático-manual. Al colocar este selector en la posición manual se activará la bomba de cloración.
- Siempre que esté funcionando el sistema de cloración se enciende la luz verde que dice clorador arrancado y que se encuentra encima del selector del clorador.
- Si la bomba para por alguna razón, también dejará de funcionar el sistema de cloración.

#### **5.3.5.2. Arranque automático**

- Cuando el selector del clorador se coloca en la posición automático, entra a funcionar a los tres minutos de que arrancó la bomba.
- Siempre que esté funcionando el sistema de cloración se enciende la luz verde que dice clorador arrancado.
- Si la bomba dejara de funcionar por alguna razón, también dejará de funcionar el sistema de cloración, si el selector se queda en la posición de

encendido, volverá a funcionar después de tres minutos de que lo haga la bomba.

### **5.3.6. Funcionamiento de la resistencia para deshumedecer el panel de control eléctrico**

- Cada gabinete contiene en su interior una resistencia de calefacción, la cual tiene por objeto mantener un ambiente cálido dentro del gabinete para evitar la humedad que puede afectar al equipo electrónico. Solamente puede funcionar cuando las bombas están apagadas.
- Para que funcione la resistencia debe colocarse el selector que dice resistencia encendida en la posición derecha (encendido). El circuito de control entra a funcionar dos horas después de activarse el selector, con un ciclo de trabajo de 5 minutos de encendido por 15 minutos de apagado. La luz roja de falla enciende durante los minutos de encendido del ciclo de trabajo.
- Si no se apaga el selector al momento de arrancar la bomba, la resistencia se desconecta automáticamente y volverá a funcionar dos horas después.

Puede ser que durante el ciclo de trabajo de la resistencia se sienta un ligero olor a quemado por el calentamiento. Este calentamiento no debe ser exagerado, debe solamente, mantener cálido el ambiente dentro del gabinete. El operador queda en libertad de apagar la resistencia a su criterio.

## **6. MANTENIMIENTO A EQUIPO ELECTROMECAÁNICO**

Es la programación de una serie de inspecciones, ajustes, reparaciones, cambios y medidas que se llevarán a cabo en forma periódica en los equipos de rebombeo, los accesorios y sus instalaciones, el mantenimiento de actividades simples debe estar a cargo de los operadores, el mantenimiento que requieran operaciones más delicadas deben ser realizadas por el personal del departamento de operación y mantenimiento de EMPAGUA, la asignación de las responsabilidades de mantenimiento deberá estar a cargo de la Dirección de Operación y Mantenimiento, debiendo considerar la escolaridad y experiencia de su personal para tal asignación. Las fichas de programación del mantenimiento, el control de trabajo de mantenimiento, la operación del equipo y registro de motor y bomba se pueden ver en el apéndice.

En general, las indicaciones de mantenimiento que se dan en el presente manual, son en su mayoría de tipo preventivo, ya que el mantenimiento correctivo es requerido en forma inesperada y es difícil saber con exactitud el momento en que ocurrirán los desperfectos en el sistema, por lo que de una buena operación y mantenimiento dependerá el buen funcionamiento y rendimiento del equipo, así como la amplitud de la vida útil de las diversas piezas que lo conforman.

La forma de combatir el mantenimiento correctivo es la ejecución de un mantenimiento preventivo adecuado, sin embargo, de ser necesario un mantenimiento correctivo, será necesario contar con el personal calificado que pueda efectuar los trabajos de reparaciones, sustitución de piezas o bien

contratar empresas privadas especializadas en la rama, para contar con garantías de un buen mantenimiento.

## **6.1. Mantenimiento de los manifold de descarga**

Es importante verificar diariamente que no exista fuga ni rotura en la tubería principal o de descarga y sus respectivas uniones, que las cajas protectoras de válvulas tengan su respectiva tapadera, limpiar las cajas aliviadoras de presión. Dentro de las actividades de los operadores deberá estar comprendida la limpieza diaria de lugares donde exista algún derrame o salpicadura de agua o aceite, ya que con el tiempo se desarrollan costras o incrustaciones que luego producen efectos de corrosión, en algunos casos es más acentuado por la calidad del agua y en un tiempo muy corto el aspecto de los equipos es malo.

### **6.1.1. Válvulas de compuerta**

Revisar diariamente que la válvula se encuentra en buen estado, que no tenga fuga de agua, que tenga el volante libre para poder cerrar o abrir la válvula en caso de ser necesario, lubricar el eje del volante para su fácil maniobrabilidad.

### **6.1.2. Manómetros**

Verificar diariamente que el manómetro funcione, que se mantenga el baño de glicerina en el mismo y en caso de desperfecto sustituirlo cuando el pozo no se encuentre operando, ya que si se sustituye cuando el pozo esta en operación es difícil colocarlo de nuevo.

### **6.1.3. Válvulas de cheque horizontal**

Verificar diariamente que esta válvula no tenga fuga de agua, así también anotar si durante la operación del sistema se escucha algún ruido de vibración de la compuerta de dicha válvula.

### **6.1.4. Válvulas de alivio**

Verificar diariamente que la misma no tenga fuga de agua, que la cantidad de caudal que pasa sea la adecuada, la cual se puede verificar leyendo en el medidor de caudal cuánto marca el mismo y compararlo con lo que diga en la plaqueta de la válvula de alivio la cual está provista de información en donde indica el caudal que debe dejar pasar la misma.

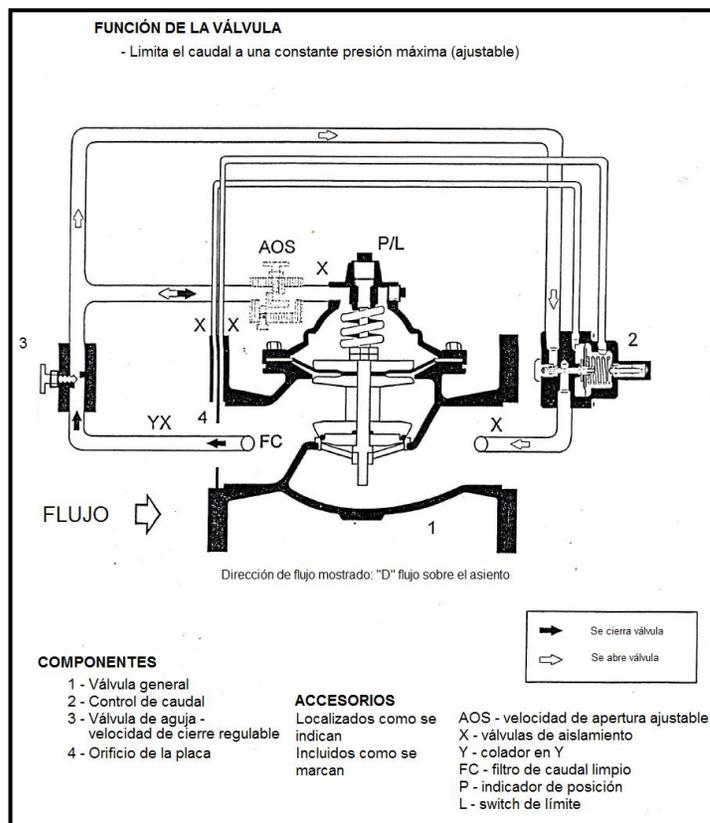
Además, en esta válvula debe cambiarse el filtro que tiene, que sirve para detener los sedimentos o arenas que pueden ser arrastrados. Este filtro debe cambiarse cada 6 meses.

Esta válvula debe calibrarse, por lo menos cada tres meses por personal de mantenimiento, basándose en el siguiente procedimiento:

- Estando en funcionamiento normal el equipo de bombeo puede cerrarse lentamente la válvula de compuerta que descarga hacia la red o línea de conducción.
- Tomando cuidadosamente las lecturas del manómetro hasta que llegue a la presión de calibración.

- Si la válvula se abre y se mantiene la presión antes mencionada será indicio que la válvula se encuentra bien calibrada.
- Si por el contrario la presión sigue en aumento hasta 20 psi sobre lo establecido, se procede a abrir nuevamente la válvula de descarga hacia la red y se calibran los pilotos de control, utilizando la herramienta adecuada para soltar las tuercas y contra tuercas de los pilotos, eso reducirá la presión de los resortes que se encuentran dentro de los pilotos de alivio, ver figura 58.

Figura 58. Esquema de la válvula de alivio



Fuente: ACV. Catálogo de válvulas de control automático. p. 12.

- Luego de la operación anterior se procede nuevamente a lo indicado en el primer punto, hasta llegar a obtener la presión de apertura de la válvula indicada anteriormente.

#### **6.1.5. Medidores de caudal**

El medidor debe mantener limpia la pantalla para que sea fácil leer y anotar diariamente en la ficha de operación diaria, figura 57, la cantidad de caudal que pasa a través del mismo; mantener la pantalla cubierta con la tapadera que trae dicho medidor para protegerla de condiciones externas que puedan dañarla.

#### **6.2. Mantenimiento a bombas verticales**

Si la bomba está en funcionamiento se debe revisar lo siguiente:

- Protección de la bomba, la cual se puede medir fácilmente al leer lo que indica en el medidor de caudal, y comparar dicho valor con el valor que la bomba debe dar, los medidores de caudal expresan los valores de este en litros por segundo mientras que las bombas, generalmente expresan la producción de las mismas en galones por minuto, por lo tanto para convertir de litros por segundo a galones por minuto hay que multiplicar el valor leído en el medidor por una constante cuyo valor es 15,85 y se obtendrá el valor del caudal en galones por minuto.
- Medir la presión en el manifold de descarga para constatar que esta funcione de acuerdo al diseño.

- Medir el nivel del tanque, para verificar si los niveles reportados en la pantalla del tablero corresponden a los niveles reales del tanque o fosa de succión.

Si se detectan fallas en el funcionamiento del equipo como: amperajes mayores a lo normal o reducción de caudal se deberá extraer el equipo y revisar la bomba, el motor, cables, empalmes, electrodos, tubería y válvulas de cheque; así como también realizar las actividades siguientes:

- Desarmar y armar la bomba en su totalidad para revisar y cambiar si fuera necesario, las piezas que la componen.
- Limpieza de la pichacha.
- Revisar el control de las válvulas de entrada y salida.
- Revisión y limpieza de los electrodos.
- Pintar la carcasa.

#### **6.2.1. Inspección de las piezas que componen una bomba tipo turbina vertical**

Antes de proceder al armado de la bomba vertical, inspeccionar y cambiar las piezas que así lo ameriten después de efectuar las siguientes comprobaciones:

- Eje de la bomba
  - Corroborar la existencia de torceduras a lo largo del eje de la bomba mediante el siguiente método.

- Colocar dos tubos metálicos de igual diámetro en forma paralela y a la misma altura. Proceder inmediatamente a deslizar o rodar el eje a lo largo de ellos con el fin de verificar su estado.
- En caso de duda al seguir el anterior proceso enviar el eje a un taller que cuente con un torno para verificar la presencia de torceduras.
- Impulsores de la bomba
  - Inspeccionar las siguientes partes de cada uno de los impulsores de la bomba sujeta a repaso: álabes diámetro del agujero central cara interior y posterior. Generalmente, cuando una bomba ha sido mal ajustada se presentan torceduras o desgastes anormales en cualquiera de las dos caras del impulsor, especialmente en sus orillas, provocadas dichas ralladuras durante la operación recostada o friccionante contra los tazones, al presentarse un severo desajuste o pérdida de la tolerancia, cuando el conjunto rotante de la bomba-eje e impulsores se ven sometidos al desplazamiento axial.
  - Observar la posible presencia de perforaciones o agujeros provocados por la cavitación, en cuyo caso se debe verificar el NPSH disponible con relación al requerido.
- Tazones de la bomba
  - Revisar la presencia de posibles rajaduras en las paredes de los tazones.

- Observar el grado de corrosión en las caras internas y externas de dichos tazones.
- Comprobar el estado de las chumaceras de los tazones poniendo especial interés en sus agujeros centrales para evitar posibles ovalamientos o pérdida de forma circular.
- Proceda a remover el óxido que se encuentra en las superficies de los tazones con la ayuda de un cepillo de alambre, posteriormente aplicar un agente químico desoxidante.
- Chumaceras o arañas de bronce
  - Revisar el grado de desgaste de los bujes de hule de las bombas verticales accionadas por ejes y lubricadas por agua.
- Pichacha o coladera
  - Remover el óxido y posibles incrustaciones de partículas extrañas.

### **6.2.2. Armado de la bomba tipo turbina vertical**

Antes de proceder al armado de una bomba tipo turbina vertical se debe tomar en cuenta los siguientes rangos de ajustes o tolerancias, más conocidos como juego axial del eje, que establecerán entre cada uno de los impulsores y la cara interna del tazón.

- Bombas cuyos tazones cuentan con diámetro externo inferior a 20,3 (8"). Juego axial: 6,35 mm (1/4") – 9,53 mm (3/8")
- Bombas cuyos tazones cuentan con un diámetro externo superior a 20,3 cm (8"). Juego axial: 12,7 mm (1/2") – 15,9 mm (5/8")

Una vez revisado el juego axial, proceder al armado de la bomba de la siguiente manera:

- Mediante el uso de herramienta adecuada fijar la distancia de 12,7 mm (1/2") entre el extremo del eje y la orilla inferior de la chumacera del tazón de succión.
- Respetando el orden introducir el buje de bronce y el respectivo tazón en el eje respetando ese orden. Cerciorarse que el juego o luz entre el buje de bronce y la chumacera del tazón no exceda de 10 milésimas de pulgada.
- Con la ayuda de una botella (pajero) de diámetro conveniente proceder a golpear el buje de bronce, para fijar el tazón al eje.
- Por el otro extremo del eje, introducir el impulsor y el buje de bronce respetando ese orden.
- Procurar que entre los álabes del impulsor y el asiento del tazón exista una luz de 2,38 mm (3/32") en bombas cuyo eje sea incluso de hasta 30,16 mm (13/16"). Para aquellas bombas cuyos ejes sean más gruesos de la medida indicada, deberán tener un margen o luz de 3,18 mm (1/8"). Para corroborar estos ajustes se recomienda utilizar un calibrador.

- Introducir el buje de bronce en el agujero del impulsor, para fijarlo al eje.
- Colocar el impulsor que se ha fijado anteriormente para completar la primera etapa de la bomba. Esto se consigue acoplando los tazones entre sí (utilizar óxido de zinc, aceite de linaza combinados al 50 % en las roscas de los tazones, coplas de los ejes y tubería para evitar su oxidación) por medio de rosca o atornillándolos. El grado de apriete se consigue hasta hacer coincidir en el caso de ser roscado los puntos de las marcas que se practicaron en las caras exteriores de los tazones durante el desarmado de la bomba.
- Proceder a corroborar el juego axial cada dos o tres etapas armadas.
- El eje debe sobresalir una longitud de 30,5 cm.(12 1/8”).
- Moviéndola con la mano, la flecha debe girar libremente. Si se trata de un juego compuesto de tazones roscados, no olvidar poner un perno prisionero o seguro en el agujero de cada tazón.

### **6.3. Mantenimiento a motores verticales**

El mantenimiento de los motores verticales depende de las condiciones bajo las cuales trabaja el motor, es decir, tiempo de operación, ambiente en el que se encuentra el mismo, etc. En este caso el equipo de rebombeo trabaja continuamente las 24 horas del día.

El periodo del mantenimiento a continuación descrito se debe hacer cada año.

### **6.3.1. Limpieza exterior y de los devanados**

Para el caso de los motores verticales, el exterior debe permanecer limpio de aceite, grasa y basura, ya que puede darse el caso de que se acumulen polvos industriales a tal grado que se bloquee la ventilación del motor provocando sobrecalentamiento del mismo.

#### **6.3.1.1. Limpieza del aislamiento y devanados del motor**

Los devanados deberán permanecer limpios de materiales como: aceite, tierra, partículas metálicas y otros contaminantes; el aceite puede acumular material y llegar a interferir con la ventilación satisfactoria del motor. Para este tipo de limpieza se recomiendan los siguientes métodos.

##### **6.3.1.1.1. Limpieza con aire comprimido**

Sopletear con aire comprimido para la remoción de polvo y partículas en general en las áreas inaccesibles, como los ductos de aceite y entre los cabezales de bobinas, es conveniente tomar precaución y asegurarse de que el aire es seco y libre de aceite e impurezas, teniendo cuidado de que la presión utilizada no exceda de 2,10 Kg/cm<sup>2</sup> o su equivalente de 30 psi.

##### **6.3.1.1.2. Limpieza por aspiración**

Este método es preferible al del sopleteado, ya que existe menor posibilidad de dañar el aislamiento, también evita que se depositen partículas dañinas o conductoras en áreas que posteriormente puedan presentar fallas.

### **6.3.1.1.3. Limpieza con solventes**

Este método consiste en la aplicación de un solvente químico, con compresor, con brocha o con la ayuda de una tela humedecida con un solvente derivado del petróleo, (electraclin, electrosol, etc.) para remover las partículas adheridas al núcleo y devanado del estator.

Es importante tener cuidado con el uso de los solventes, ya que estos pueden dañar el aislamiento del motor, además son inflamables. Si se llegara a detectar movimiento del devanado y/o deterioro del barniz, se debe aplicar de nuevo el barniz luego proceder a su secado, y posteriormente verificar su aislamiento.

## **6.4. Mediciones eléctricas**

Estas mediciones son necesarias, ya que las mismas son un reflejo del funcionamiento y estado del motor y los accesorios eléctricos que componen el sistema de los motores, con lo cual se puede prevenir o corregir cualquier desperfecto que pueda tener mayores repercusiones, si estos no se identifican y reparan a tiempo.

### **6.4.1. Medición de la resistencia de aislamiento**

La causa más frecuente de las averías de un motor, es la perforación del aislamiento en los devanados del mismo. Las mencionadas averías pueden ocasionarse por la absorción de humedad en sus arrollamientos. También el calentamiento excesivo, vibraciones, sobretensiones y envejecimiento del barniz, son causas directas de las averías eléctricas del motor.

Estadísticas realizadas indican que la vida de los aislantes se reduce aproximadamente a la mitad por cada 10 °C de elevación de la temperatura de funcionamiento. Por ejemplo: si una máquina se ha diseñado para una temperatura de funcionamiento continuo a 70 °C, y si se hace trabajar a 80 °C su vida útil se reducirá a la mitad.

Para medir la resistencia eléctrica de un motor, se debe utilizar un probador de resistencia de aislamiento, megger, de la siguiente manera:

#### **6.4.1.1. Megger eléctrico**

- a. Bajar el *flip-on*.
- b. Desconectar del arrancador los cables que energizan el motor.
- c. Conectar a la fuente de alimentación.
- d. Ajustar a cero.
- e. Verificar que la perilla del alto voltaje se encuentre a cero.
- f. De acuerdo con la capacidad del motor, seleccionar la escala multiplicadora de resistencia.
- g. Conectar la línea de alto voltaje, a una de las terminales del motor y la otra a la carcasa exterior.
- h. Mediante la perilla de alto voltaje, suministrar dos veces el voltaje nominal de operación.

- i. Leer el valor del aislamiento registrado en la carátula del indicador.
- j. Como mínimo se recomienda que el valor de la resistencia sea de 2 Mega ohmios. En caso de medirse una resistencia de aislamiento a un valor inferior al indicado debe procederse a una revisión del cable y el motor en sí.

#### **6.4.1.2. Megger con fuente propia**

- a. Bajar el *flip-on*.
- b. Desconectar del arrancador los cables que energizan el motor.
- c. Colocar los cables del instrumento en el lugar indicado.
- d. Conectar la línea de alto voltaje a una de las terminales del motor y la otra a la carcasa exterior.
- e. Accionar la manivela para proporcionar alto voltaje proveniente del dínamo.
- f. Leer el valor del aislamiento registrado en la carátula del instrumento.

#### **6.4.2. Verificación del voltaje y del amperaje**

Las mediciones de estos parámetros se pueden efectuar utilizando un medidor portátil o tomar directamente las lecturas en la pantalla de sistema de medición instalado en el panel de control, las mismas deben realizarse de la siguiente manera:

- a. Durante el bombeo deberá medirse la energía (voltaje) nominal de alimentación del equipo, después del interruptor o seleccionador principal.
- b. La corriente (amperaje) nominal de operación del motor se debe medir mientras se está bombeando el equipo.
- c. Medir en la entrada al interruptor principal el valor del voltaje, para deducir la caída de tensión que provoca el motor.
- d. Una vez puesto en funcionamiento el equipo se medirá de nuevo el valor del voltaje, así como el amperaje, con un voltímetro para comparar el valor de estos parámetros después de haber realizado el resto de los servicios.
- e. Los valores leídos en los instrumentos de medición, deberán de ser comparados con los obtenidos en los instrumentos de los tableros para verificar el buen estado de estos, para cerciorarse que opera correctamente.

#### **6.4.3. Balanceo de la corriente del motor**

El desbalance de la corriente entre las terminales de un motor no debe exceder del 10 por ciento.

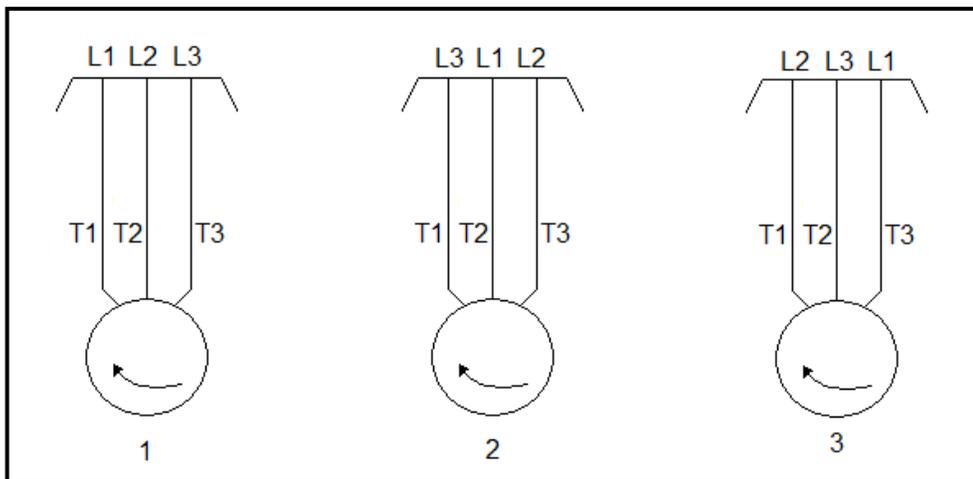
El porcentaje de desbalance de corriente está definido y calculado como sigue:

$$\text{Porcentaje de desbalance de corriente} = \frac{\text{Máxima diferencia de la corriente promedio} \times 100}{\text{Porcentaje promedio}}$$

#### 6.4.3.1. Método para seleccionar el arreglo más balanceado

- a) Tomar las lecturas de corriente en las tres terminales, tal como el equipo ha operado. Ver figura 59.

Figura 59. Líneas que alimentan el motor desde el tablero de control



Fuente: elaboración propia.

- b) Intercambiar las terminales del motor en el térmico como se indica en la misma figura, de tal manera que se consiga el arreglo No. 2. Se deben efectuar los cambios en las terminales del motor de tal forma que se siga el sentido de las manecillas del reloj. Nunca alternar dos terminales, ya que cambiaría el sentido de giro del motor.
- c) Tomar nuevamente las lecturas de corriente, como se hizo en el arreglo No. 1.
- d) Repetir los pasos b y c.
- e) Empleando la relación de porcentaje de desbalance de corriente, seleccionar el arreglo que tiene el menor porcentaje de desbalance.

Ejemplo:

Las lecturas de corriente de un motor operando a plena carga, para los tres arreglos de conexiones mencionados, se muestran en la tabla XX.

Tabla XX. **Lecturas de corriente de un motor a plena carga**

Arreglo No. 1	Arreglo No. 2	Arreglo No. 3
T1 = 51 amperios	T3 = 50 amperios	T2 = 50 amperios
T2 = 46 amperios	T1 = 48 amperios	T3 = 49 amperios
T3 = 53 amperios	T2 = 52 amperios	T1 = 51 amperios

Fuente: elaboración propia.

Sumando las tres lecturas del arreglo No. 1 da 150 amperios; ahora se divide el resultado entre tres para obtener el promedio y da un valor de 50 amperios.

Calculando la mayor diferencia del promedio se tiene que restar el valor promedio menos el valor menor del arreglo No. 1 de la siguiente manera:

$$\text{Mayor diferencia del promedio} = 50 - 46$$

$$\text{Mayor diferencia del promedio} = 4 \text{ amperios}$$

Dividiendo esta diferencia entre el promedio para obtener el porcentaje de desbalance:

$$4/50 = 0,08 \text{ (8 \%)}$$

Para este caso, el desbalance de la corriente para el arreglo No. 1 es del 8 por ciento.

Utilizando el mismo método para los arreglos No. 2 y 3, el máximo desbalance de corriente para los arreglos antes mencionados son 4 y 2 por ciento respectivamente.

El paso siguiente es seleccionar el arreglo que tenga el menor porcentaje de desbalance de corriente, para que el motor eléctrico opere con el máximo de eficiencia y confiabilidad.

#### **6.4.4. Revisar el calentamiento de los cojinetes**

Debido a que el servicio de engrase de los cojinetes coincide con el servicio del motor es conveniente realizar el trabajo de la siguiente manera:

- Revisar manualmente (tocar las tapaderas o cuñas) el grado de calentamiento de estos y con criterio se asumirá el estado bueno o malo de los mismos.
- Revisar el ruido con la ayuda de un estetoscopio, así como de la vibración que estos puedan producir para evaluar su estado.

Una vez hecho el servicio poner en marcha el equipo y se evaluará finalmente el verdadero estado de los cojinetes en cuanto a ruido, vibración y calentamiento.

#### **6.4.5. Lubricación de los cojinetes**

Para llevar a cabo esta operación, el encargado de la lubricación se percatará inicialmente de que efectivamente, según las horas de operación del equipo, ya es necesario efectuar el cambio de grasa o aceite del motor, para garantizar la eficiencia así como el buen rendimiento de los cojinetes que dará como resultado una vida útil prolongada de estos.

Cojinetes lubricados por grasa:

- Verificar que el cojinete cuente con tapón de purga, lo que indicará que el mismo no es sellado.

- Remover el tapón de purga.
- Aplicar la grasa nueva por medio de una grasera empotrándola en el tapón de llenado.
- Aplicar la grasa nueva hasta que esta aparezca en el orificio de purga e inmediatamente suspender el bombeo del lubricante.
- Colocar de nuevo el tapón de purga.

Analizando el estado así como la viscosidad de la grasa removida, el engrasador deberá hacer un informe según su criterio del estado en que se encuentra el cojinete para evaluarlo.

#### **6.4.6. Repaso total del motor**

- a) Desmontar completamente el motor extrayendo los cojinetes y el rotor.
- b) Lavado e inspección de los cojinetes y cambio de estos si fuera necesario.
- c) Cambiar el aceite y/o grasa.
- d) Con la ayuda de un solvente químico, cuya constante dieléctrica sea superior a los 25 000 ohmios, remover la suciedad acumulada en los devanados del motor. Dicho solvente químico se debe aplicar en el sistema más adecuado, ya sea con brocha o aire comprimido.
- e) Aplicar barniz dieléctrico con una brocha.
- f) Proceder a sacar los arrollamientos del motor, mediante un sistema adecuado (resistencias de calentamiento colocadas en su interior).

- g) Durante el proceso de secado se recomienda medir la resistencia de aislamiento a intervalos de tiempo de una hora al principio y al final del proceso de secado de aproximadamente ocho horas.
- h) Comparar esta última lectura con la última obtenida antes de todo este proceso.
- i) Montaje, realineamiento y pruebas completas de todo el equipo.

## **6.5. Mantenimiento del equipo de cloración**

El equipo de cloración es tan importante para el buen funcionamiento del sistema, para garantizar la calidad bacteriológica del agua, que se ofrece al usuario. Este se hace cuando el equipo de cloración ya tiene un funcionamiento de 8 760 horas.

### **6.5.1. Actividades para dar un mantenimiento preventivo**

Estas actividades dependen de la accesibilidad que pueda tener el personal técnico a las partes que componen el equipo de cloración y los requerimientos de mantenimiento que debe tener cada una de ellas, dentro de los componentes de equipo pueden existir partes que el mismo operador puede limpiar y graduar periódicamente de acuerdo a las necesidades de cada pieza. Para más detalle se puede mencionar las actividades siguientes:

- Revisión de la operación del clorador

Comprobar en forma general, el funcionamiento del equipo, verificando que los manómetros mantengan las presiones de operación y dosificación adecuada. Se deberá inspeccionar el estado de las conexiones flexibles (mangueras), y si presentan algún signo de desgaste, se deberá cambiar,

para prevenir daños en las tuberías flexibles, el conector debe ser arreglado en espiral suave, nunca arrugarlo o doblarlo.

- Revisión del sistema eyector

Revisar el estado de funcionamiento del inyector revisando todos sus componentes y sustituir los deteriorados.

- Tobera sucia o atascada en el inyector: la causa se puede identificar sacando la línea de cloro al nivel del inyector, luego colocar el dedo pulgar sobre el encaje, un vacío adecuado ejercerá una fuerza de tracción. En caso de no existir el vacío es posible que la boquilla del inyector esté atascada, para limpiarla se deberá desenroscar la boquilla del cuerpo y limpiar con un platillo o alambre de diámetro pequeño, teniendo cuidado de no lastimarlo, o rayar el borde de la boquilla.
- Presión de agua para accionar el eyector: también se puede identificar esta causa en la misma forma indicada en el problema anterior, es decir, colocando el pulgar en la línea de gas cloro del eyector.

- Limpieza de válvulas

La limpieza se debe realizar a todas las válvulas: válvula reguladora de presión, válvula del difusor (*check*), válvula de purga (*blow-off*), válvula dosificadora. Deberá ponerse especial atención en filtros, asientos y resortes.

- Comprobación de fugas

Esta operación consiste en localizar fugas tanto de gas cloro, como de la solución cloro. El comprobar la existencia de fugas forma parte de las obligaciones diarias de los operadores. Si el operador por alguna circunstancia no logra controlar dicha fuga, deberá reportarla inmediatamente y sacar de operación el equipo.

Aún los escapes más pequeños pueden ser peligrosos y además causar problemas importantes de corrosión al equipo que se encuentra en esa zona. Para localizar el escape de cloro debe utilizarse amoniaco corriente.

Existen tres puntos de fugas de cloro a presión:

- Fuga en la válvula del cilindro de cloro: por lo regular es poco probable que existan escapes de cloro en las válvulas del cilindro, pero en caso de ocurrir, se deberá apretar con una llave de empaquetadura de válvula, sin ejercer una fuerza excesiva.
- Fuga en el sello de la junta de plomo, entre el clorador y la válvula del cilindro de cloro: este tipo de fuga es causada por el uso repetido de la junta (empaquetadura) de plomo o también, por el ajuste excesivo, por el poco ajuste o por no haber instalado la junta de plomo. Si lo anterior ocurre, cambiar la junta de plomo por una nueva y asegurarse que la junta esté limpia y lisa, luego proceder a apretar la abrazadera pero no con exceso.

- Válvula de cierre del clorador: cuando se escapa cloro por el aliviadero, se deduce que existe también escape en la válvula de seguridad de cierre. La causa más frecuente, es la existencia de suciedad en el asiento de la válvula.

Si se presenta una fuga grande, el operador deberá sacar de servicio el equipo, alejarse y llamar a la unidad emergencias, para el caso particular de fugas.

- Aplicación de vaselina en las partes metálicas

Con fines de evitar la corrosión, todas las partes metálicas que se encuentren expuestas al contacto con el cloro deberán cubrirse con una delgada película de vaselina sólida.

- Limpieza del rotámetro

El rotámetro debe estar limpio y libre de depósitos acumulados con el fin de proveer una indicación precisa en la proporción de aplicación de cloro. Es de aprovechar el desarme del rotámetro, para inspeccionar el estado de los retenedores. En caso de existir fuga de cloro cambiarse los retenedores.

### **6.5.2. Desmontaje y limpieza integral del clorador**

Con este servicio se procederá a desmontar todos los componentes del clorador, tales como, regulador de vacío, eyector, difusor, válvulas, rotámetros, etc., con el propósito de efectuar limpieza y de sustituir las piezas que presenten signos de desgaste. Este deberá efectuarse cada 720 horas de operación.

## **6.6. Mantenimiento del panel y accesorios eléctricos del sistema**

Todo equipo que opera continuamente está sujeto a desgaste y desajustes que de una u otra forma provocan pequeñas fallas, de vibraciones y sobrecalentamiento que pueden incrementarse hasta causar fallas mayores, por lo que es necesario un mantenimiento periódico para prevenir cualquier desperfecto.

### **6.6.1. Panel de control eléctrico**

Para efectuar cualquier servicio de mantenimiento en el panel de control después de apagado el sistema, se debe desconectar el suministro de energía desde el interruptor principal, para evitar accidentes por un choque eléctrico.

El período de mantenimiento descrito a continuación es cada tres meses.

Revisar el ajuste del relé térmico: la finalidad del ajuste de la protección contra sobrecargas, es verificar que dicha protección actúe para proteger el motor contra corrientes excesivas.

Hay que verificar que la protección térmica contra sobrecarga esté debidamente ajustada a la corriente nominal del motor, para el caso de arrancadores directos.

Para aquellos motores cuya capacidad esté sobrada con la relación a la potencia nominal; con el objetivo de alcanzar una mayor protección, se recomienda (con criterio) graduar dicho relé a un valor lo más cercano posible al amperaje de operación.

Si se produce un disparo injustificado del relé contra sobrecarga, mientras la carga es normal hay que comprobar lo siguiente:

- Verificar el ajuste (o la capacidad de los elementos térmicos) del relé.
- Comprobar que el relé no esté caliente, condición provocada por un arranque anterior.
- Observar si se presentan vibraciones en el relé procedentes de la superficie donde se encuentra montado dicho elemento.
- Midiendo el amperaje que consume el motor, se comprobará que la causa del disparo no se debe a una sobrecarga.
- En el caso de un arrancador Y, recordar que el relé es sensible a la corriente de fase, por esto el elemento debe ser ajustado a dichas corrientes esto se consigue dividiendo la intensidad nominal entre la raíz de tres.

#### **6.6.1.1. Limpieza de contactos**

La apariencia rugosa de los contactos no indica necesariamente que estos deban ser reemplazados. Esa apariencia que muestran los contactos se debe al arqueado normal que se realiza entre ellos durante el arranque y desconexión del motor. Sin embargo, esa superficie deforme favorece la unión de los contactos, y bajo ningún concepto estos deben ser limados o lijados, sino que por el contrario, simplemente con la ayuda de productos químicos adecuados, en aerosol cuya constante dieléctrica sea superior a 25 000 ohmios y la ayuda de

una tela o franela, proceder a la remoción de los residuos de carbón depositados en ellos.

El periodo de mantenimiento descrito a continuación es cada seis meses.

#### **6.6.1.2. Prueba de disparo térmico**

Seleccionar el punto de menor ajuste del relé en algunos casos corresponde a un cero o una rayita roja y con el motor en marcha, verificar el tiempo de disparo. Si este se presenta, también los restantes ajustes que conforman la escala se encontrarán en la posición correcta.

#### **6.6.1.3. Accesorios, cables y conexiones**

Los accesorios como cables y conexiones deben revisarse cada seis meses, esto incluye la revisión de los empalmes hechos en la caja que se encuentra fuera del motor, así como las conexiones en el tablero de control.

Revisar que la caja de registro eléctrico para los cables del motor y el tablero de control no tenga humedad o que el agua de lluvia pueda filtrarse, para lo cual es muy importante que dicha caja mantenga su respectiva tapadera.

Revisar también:

- Terminales
- Tornillos
- Platineras
- Guardaniveles

- Núcleos de bobinas
- Botoneras
- Cables

### **6.6.2. Contador de KW-h**

Con este instrumento de medición se debe hacer la lectura de los kilovatios por hora y para conocer el consumo de energía eléctrica. Esta lectura es recomendable hacerla como mínimo cada 24 horas, dependiendo de las exigencias del lugar se puede llevar a cabo las veces que se considere necesario.

### **6.6.3. Fusibles, cañas y transformadores**

Cuando un banco de transformadores está en un poste o una subestación eléctrica, que no esté dentro del régimen particular, la EEGSA es la única que puede hacer la conexión o apertura del mismo, por lo que no se debe tomar ninguna decisión al respecto y si es necesario interrumpir la energía avisar a la EEGSA.

## CONCLUSIONES

1. Para el diseño de un nuevo equipo de bombeo se debe tomar en cuenta, principalmente, la carga dinámica total.
2. Los demás factores a calcular para el diseño del nuevo equipo de bombeo son: número de tazones de la bomba, pérdidas por fricción en columna, potencia requerida, flecha o eje de tazones, empuje axial, tubería de columna, elemento motriz y carga neta de succión positiva disponible.
3. Tomar en cuenta para el cálculo de la flecha o eje, su elongación y el empuje axial total.
4. El plan de mantenimiento que se estableció es un mantenimiento preventivo con actividades a realizar en intervalos de 24 horas, actividades mensuales, trimestrales, semestrales y anuales.
5. El plan de mantenimiento establecido, deja claro las actividades a realizar por el operador del equipo y las actividades del personal de mantenimiento.
6. Con el plan de mantenimiento establecido, el equipo ha trabajado mecánicamente normal y se ha visto mejor rendimiento que el equipo instalado anteriormente. Los costos de mantenimiento son menores y siguiendo el plan se le dará mayor tiempo de vida útil al equipo.



## RECOMENDACIONES

Al jefe de mantenimiento.

1. Implementar el programa de mantenimiento preventivo, para el equipo de bombeo de agua potable de cada pozo instalado en el proyecto.

Al encargado de mantenimiento.

2. Implementar, verificar y modificar el programa de mantenimiento de acuerdo a las experiencias y sucesos que se presenten y registren a través del tiempo en las fichas de control, para mejorarlo y adecuarlo.
3. En futuras ocasiones, para cambio y/o repuestos, consultar el diseño del equipo, así se ahorra tiempo y costos en buscar lo que se desee.
4. Supervisar la realización de los trabajos de mantenimiento y digitalizar los datos obtenidos en las fichas de control de los operadores, para hacer eficiente el programa de mantenimiento.



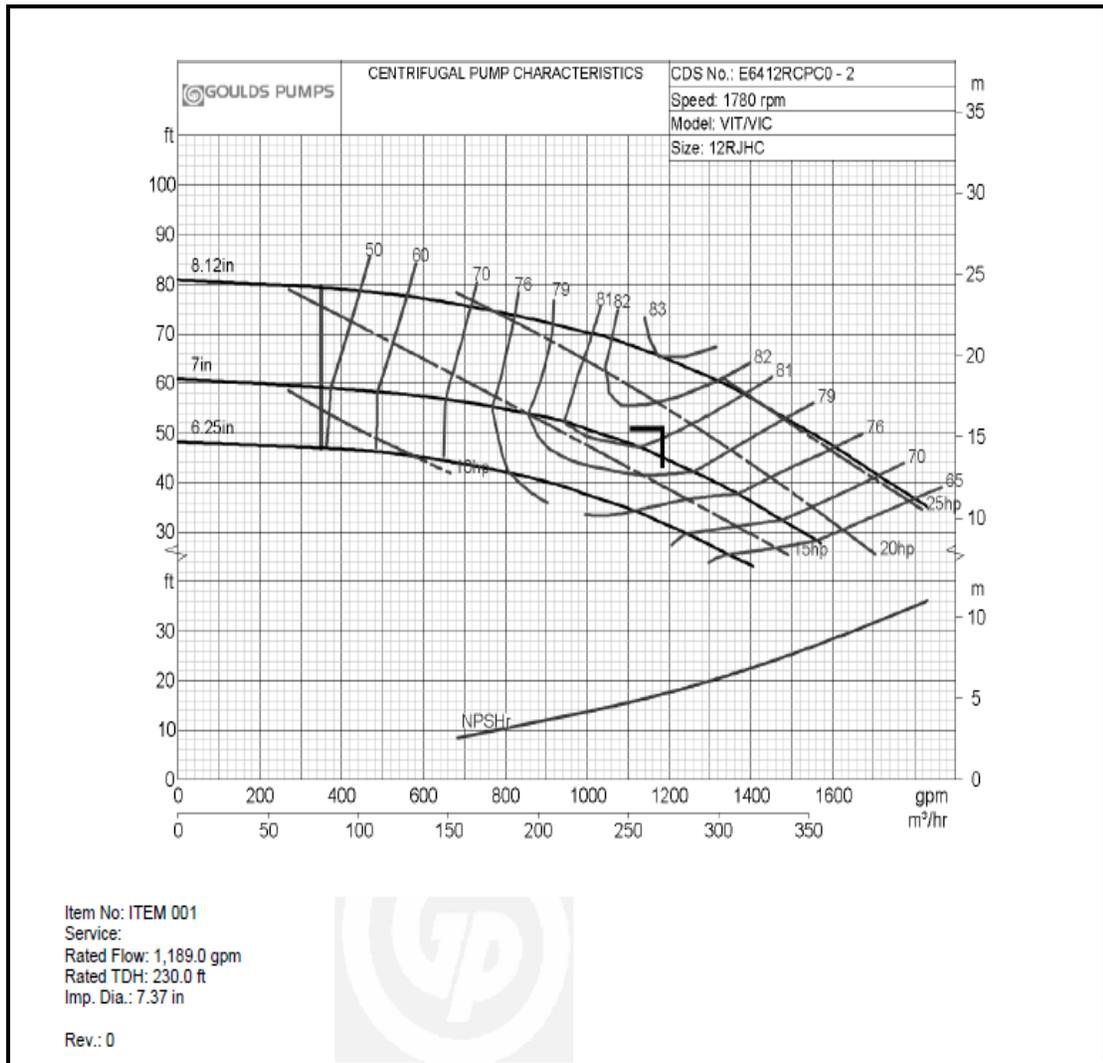
## BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN-MARSH PUMPS. *Installation, operation and maintenance manual for vertical turbine pumps*. USA: ENGINEERED PROCESS GROUP, 2004. 35 p.
2. A.W. CHERSTERTON. *Pump principles manual*. USA: CHERSTERTON, 2000. 132 p.
3. BOMBAS IDEAL. *Manual de uso y mantenimiento*. España: IDEAL, 2003. 44 p.
4. COVENIN 598. *Bombas turbinas para pozos profundos y sumergibles*. Venezuela: Norma, 1991. 20 p.
5. DRISCOLL, Fletcher G. *Groundwater and wells*. USA: Johnson Screens, 1986. 1089 p.
6. DP PUMPS. *Bombas centrífugas verticales multietapas: instrucciones de instalación y funcionamiento*. Holanda: DP PUMPS, 2011. 28 p.
7. EMERSON. *Manual de instalación y mantenimiento de motores verticales*. México: US Motors, 2006. 44 p.
8. FERRECCIO NOSIGLIA, Antonio. *Estaciones de bombeo, bombas y motores utilizados en abastecimiento de agua*. Perú: CEPIS, 1985. 615 p.

9. GRUNDFOS AGUAS RESIDUALES. *Manual de bombeo de aguas residuales*. España: GRUNDFOS, 2009. 119 p.
10. KARASSIK, Igor J. *Bombas centrífugas: selección, operación y mantenimiento*. 14a ed. México: CECSA, 1987. 560 p.
11. MATAIX, Claudio. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. 2a ed. México: Alfaomega, 2006. 660 p.
12. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México: PEARSON, 2006. 644 p. ISBN: 970-26-0805-8.
13. NATIONAL PUMP COMPANY. *Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento y lista de piezas para bombas verticales de turbina*. Estados Unidos: NATIONAL PUMP COMPANY, 2010. 28 p.
14. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *Guía para la selección equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural*. Lima: OMS, 2007. 44 p.
15. SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS. *Manual de procedimiento para el cálculo y selección de sistema de bombeo*. Venezuela: SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS, 1995. 59 p.
16. UNATSABAR. *Guía para la construcción de estaciones de bombeo de agua potable*, Lima: UNATSABAR, 2005. 36 p.
17. VIEJO ZUBICARAY, Manuel. *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. 2a ed. México: LIMUSA, 2000. 290 p.

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Curva de bomba 12RJHC



Fuente: elaboración propia, con el programa PSS de Goulds Pumps.

Apéndice 2. **Bomba y motor instalados 1**



Fuente: tanque El Maestro, zona 15.

Apéndice 3. **Bomba y motor instalados 2**



Fuente: tanque El Maestro, zona 15.

Apéndice 4. **Bomba y motor instalados 3**



Fuente: tanque El Maestro, zona 15.

Apéndice 5. **Bomba y motor instalados 4**



Fuente: tanque El Maestro, zona 15.

Apéndice 6. Programación mantenimiento

Año: 20 \_\_\_\_\_

Frecuencia	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mensual Programado	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Mensual Ejecutado												
Semestral Programado	o						o					
Semestral Ejecutado												
Anual Programado	o											
Anual Ejecutado												

o	Programado
x	Ejecutado

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Control de trabajo de mantenimiento**

<b>CONTROL DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO</b>									
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">NOMBRE DEL POZO: _____</td> <td style="width: 50%; border: none;">TRABAJO No. _____</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">FRECUCENCIA DE MANTENIMIENTO: _____ (mensual, semestral o anual)</td> <td style="border: none;">FECHA DE REALIZACIÓN: _____</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;">NOMBRE DEL ENCARGADO: _____</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;">FIRMA DEL ENCARGADO: _____</td> </tr> </table>		NOMBRE DEL POZO: _____	TRABAJO No. _____	FRECUCENCIA DE MANTENIMIENTO: _____ (mensual, semestral o anual)	FECHA DE REALIZACIÓN: _____		NOMBRE DEL ENCARGADO: _____		FIRMA DEL ENCARGADO: _____
NOMBRE DEL POZO: _____	TRABAJO No. _____								
FRECUCENCIA DE MANTENIMIENTO: _____ (mensual, semestral o anual)	FECHA DE REALIZACIÓN: _____								
	NOMBRE DEL ENCARGADO: _____								
	FIRMA DEL ENCARGADO: _____								
<b>MANTENIMIENTO REALIZADO</b>									
No.									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
OBSERVACIONES: _____ _____									
NOMBRE Y FIRMA SUPERVISOR _____									

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Operación del equipo

<b>OPERACIÓN DEL EQUIPO</b>								
		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th colspan="2">Resultado</th> </tr> <tr> <td>Realizado</td> <td style="text-align: center;">/</td> </tr> <tr> <td>No realizado</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </table>	Resultado		Realizado	/	No realizado	X
Resultado								
Realizado	/							
No realizado	X							
NOMBRE DEL POZO: _____		FECHA: _____						
DIRECCIÓN: _____								
NOMBRE DEL TÉCNICO: _____		FIRMA : _____						
<b>Arranque de motor</b>								
	<b>Resultado</b>	<b>Comentarios</b>						
1		Chequeo general físico del motor						
2		Revisar niveles de aceite						
3		Revisar condición física del panel de control eléctrico						
4		Conectar switch de encendido de motor						
5		Verificar tablero de control						
6		Revisar si existen fugas por estopa de eje de motor						
7		Verificar niveles de aceite nuevamente						
8		Verificar que no existan ruidos o vibraciones anormales						
<b>Apagado de motor</b>								
	<b>Resultado</b>	<b>Comentarios</b>						
1		Desconectar switch de encendido de motor						
OBSERVACIONES:								
NOMBRE Y FIRMA SUPERVISOR _____								

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Registro motor-bomba

FICHA DE CONTROL DE EQUIPO								
REGISTRO DE EQUIPO DE BOMBEO								No. _____
NOMBRE DEL POZO:			DIRECCIÓN:			No. DE CONTADOR DE LUZ		
REGISTRO DE MOTORES								
MARCA	H.P	R.P.M	TIPO	ESTILO	No. SERIE	MODELO	VOLTAJE	AMPERAJE
No. FASES	CICLOS	TIPO COJINETE	F.S.	TIPO LUBRICANTE	SISTEMA ARRANQUE	No. COJINETE SUPERIOR	No. COJINETE INFERIOR	POSICION EJE VERT.-HORIZ.
No. de INVENTARIO			COSTO DE ADQUISICIÓN			FECHA DE INSTALACIÓN		
REGISTRO DE BOMBA								
MARCA	TIPO	SERIE	No. ETAPAS	Ø TAZON	Ø IMPULSOR	LBS. TRABAJO	TIPO IMPULSOR	
No. de INVENTARIO			COSTO DE ADQUISICIÓN			FECHA DE INSTALACIÓN		

Fuente: elaboración propia.

