



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

GUÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS

Francisco Javier Fernández Figueroa

Asesorado por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO, INSTALACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FRANCISCO JAVIER FERNÁNDEZ FIGUEROA
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

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. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Sergio Torres Hernández
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:

GUÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha noviembre de 2011.



Francisco Javier Fernández Figueroa

Guatemala, 08 de octubre de 2012

Ingeniero.
Julio Cesar Campos Paiz
Director de la 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, **GUIA GENERAL PARA EL CÁLCULO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS.** Presentado por el estudiante Francisco Javier Fernández Figueroa carné No. **2005-15856.**

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 Veliz Padilla
Colegiado No 3646

José Ismael Veliz 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 **GUÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS**, del estudiante **Francisco Javier Fernández Figueroa**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

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 de la Directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación GUÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS del estudiante **Francisco Javier Fernández Figueroa**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR




Guatemala, noviembre de 2012


JCCP/behdei



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: **GUÍA GENERAL PARA EL CÁLCULO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS**, presentado por el estudiante universitario: **Francisco Javier Fernández Figueroa**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Decano en funciones



Guatemala, 13 de noviembre de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios y la Virgen de Guadalupe** Entes supremos que rigen mi existencia y me han guiado a lo largo de toda mi vida, colmándome de bendiciones.
- Mis padres** Carlos Rene Fernández Rueda y Amalia Marleny Figueroa de Fernández.
Porque siempre han sido un ejemplo a seguir, convirtiéndose en la inspiración que necesité en los momentos difíciles de mi caminar. Sin su amor y apoyo fuera imposible alcanzar esta meta. Infinitas gracias.
- Mis hermanos** José Alejandro, Jaqueline Rocio, José Carlos y Sofía Alejandra.
Por ser una parte importantísima en mi vida, por compartir mis triunfos y alegrías y brindarme una mano siempre que lo he necesitado.
- Mis amigos** Agradecimiento especial a cada uno de ustedes por compartir momentos que llevaré grabados en mi memoria para siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Mi alma mater y segunda casa que me inspiró para realizar el sueño de una vida.

Facultad de Ingeniería

Por ser una importante influencia en mi carrera y facilitarme la obtención del conocimiento técnico y científico que me permitió obtener el título de Ingeniero Mecánico.

Mis amigos de la facultad

Porque han sido mi motor y mi fuente de alegría, por todos los gratos momentos que hemos vivido, gracias.

Mi asesor

Por compartir sin reservas su conocimiento y brindarme su apoyo total para la realización del presente trabajo.

Todas las personas

Que a lo largo de mi vida han contribuido a mi formación tanto personal como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Importancia del agua.....	1
1.1.1. Fuentes de abastecimiento de agua.....	1
1.1.2. Relación entre el agua y la industria.....	1
1.2. Definición de bomba.....	1
1.3. Tipos de bomba.....	2
1.3.1. Bombas de desplazamiento positivo.....	3
1.3.2. Bombas cinéticas o centrífugas.....	3
1.4. Utilización del equipo de bombeo.....	3
1.4.1. Bombas sumergibles.....	4
1.4.2. Bombas centrífugas.....	5
1.4.2.1. Clasificación de bombas centrífugas ...	6
1.4.2.1.1. Clasificación de las bombas según el tipo de impulsor.....	6
1.4.2.1.2. Clasificación de las bombas por el tipo de succión.....	8

	1.4.2.1.3.	Clasificación de las bombas según el número de impulsores	9	
	1.4.2.1.4.	Clasificación de las bombas según la trayectoria del líquido	9	
1.5.	Bomba hidroneumática		10	
	1.5.1.	Componentes del sistema hidroneumático	11	
		1.5.1.1. Tanque a presión	11	
		1.5.1.2. Electrobomba	14	
		1.5.1.3. Válvula de retención	14	
		1.5.1.4. Manómetro	15	
		1.5.1.5. Control de presión (presostato)	15	
		1.5.1.6. Tablero de potencia y control	16	
	1.5.2.	Sistema hidroneumático de uso doméstico	17	
	1.5.3.	Sistema hidroneumático industrial	17	
2.	METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DEL EQUIPO		19	
	2.1.	Determinación de los caudales	19	
		2.1.1. Consumo según el propósito	19	
		2.1.2. Métodos para la determinación de consumo	19	
			2.1.2.1. Método de dotaciones	20
			2.1.2.2. Método de coeficiente de simultaneidad	22
			2.1.2.3. Método de Hunter	24
	2.2.	Determinación de las cargas	26	

2.2.1.	Ecuación de continuidad	26
2.2.1.1.	Determinación del diámetro en la tubería	27
2.2.2.	Ecuación general de la energía en fluidos	29
2.2.2.1.	Teorema de Bernoulli.....	29
2.2.3.	Tipos de flujo	30
2.2.3.1.	Flujo turbulento	31
2.2.3.2.	Flujo laminar	31
2.2.4.	Fricción en tuberías.....	31
2.2.4.1.	Pérdidas de carga en tubería recta	32
2.2.4.2.	Pérdidas de presión en válvulas y conexiones	34
2.3.	Presiones residuales.....	38
2.4.	Carga o altura dinámica total de bombeo (CDT)	38
2.4.1.	Cálculo de CDT (Carga Dinámica Total).....	38
2.5.	Dimensionamiento de las bombas y motores	40
2.5.1.	Número de bombas y caudal de bombeo	40
2.5.2.	Potencia requerida por la bomba y el motor	41
2.6.	Sistema hidroneumático.....	42
2.6.1.	Presiones de operación sistema hidroneumático .	43
2.6.1.1.	Presión mínima	42
2.6.1.2.	Presión diferencial y máxima	43
2.6.2.	Dimensionamiento del tanque a presión	43
3.	FORMULACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPO.....	47
3.1.	Requisitos principales de selección en las bombas.....	47
3.1.1.	Marca	47
3.1.2.	Modelo	47

3.1.3.	Diámetro de succión	47
3.1.4.	Diámetro de descarga.....	48
3.1.5.	Capacidad.....	48
3.1.5.1.	Capacidad del tanque hidroneumático	48
3.1.6.	Potencia	48
3.1.7.	Cabeza de bomba.....	49
3.1.8.	Eficiencia del motor eléctrico	49
3.1.9.	Garantía	49
3.2.	Selección de equipo.....	49
3.2.1.	Capacidad de la bomba	51
3.2.1.1.	Determinación de la demanda (caudal).....	51
3.2.2.	Cálculo de la carga total de la bomba (H).....	52
3.2.2.1.	Cálculo de las pérdidas totales en la succión (hfs)	52
3.2.2.2.	Cálculo de las pérdidas totales en la descarga	54
3.2.2.2.1.	Cálculo del diámetro de descarga.....	55
3.2.2.3.	Cálculo de la energía cinética o presión dinámica.....	56
3.2.2.4.	Presión residual	57
3.2.2.5.	Cálculo de CDT (Carga Dinámica Total de bombeo).....	57
3.2.3.	Cálculo de la potencia requerida por la bomba	58
3.2.4.	Seleccionar la bomba	58
3.3.	Cálculo de tanque hidroneumático	60
3.3.1.	Cálculo de presiones de operación.....	61

	3.3.1.1.	Presión mínima (encendido)	61
	3.3.1.2.	Presión máxima (corte).....	61
	3.3.1.3.	Presión de precarga.....	62
	3.3.2.	Cálculo de volumen útil (Vu)	62
	3.3.3.	Porcentaje de volumen útil (% Vu).....	63
	3.3.4.	Cálculo de volumen total del tanque (Vt)	63
	3.3.5.	Selección del tanque hidroneumático	64
4.		INSTALACIÓN ADECUADA DEL EQUIPO	65
4.1.		Normas para la instalación de bombas hidroneumáticas	65
4.2.		Precauciones básicas	65
	4.2.1.	Antes de la instalación	65
	4.2.2.	Inspección de las tuberías	66
4.3.		Consideraciones para la instalación	66
	4.3.1.	Ubicación	66
	4.3.2.	Cimentación	67
	4.3.3.	Sistema eléctrico.....	67
4.4.		Equipo requerido para la instalación.....	68
	4.4.1.	Equipo de seguridad	68
	4.4.2.	Herramienta	68
4.5.		Instrumentación para bombas.....	69
	4.5.1.	Tubería de succión.....	69
		4.5.1.1. Reja o criba.....	70
		4.5.1.2. Válvula de pie o zapata.....	70
		4.5.1.3. Codos.....	70
		4.5.1.4. Reducciones	71
		4.5.1.5. Válvulas de cierre	70
		4.5.1.6. Manómetros o Vacunómetros.....	73
		4.5.1.7. Medidor de nivel.....	75

4.5.1.8.	Junta de expansión.....	75
4.5.1.9.	Recomendaciones útiles en el tramo de succión	76
4.5.2.	Tubería de impulsión	77
4.5.2.1.	Reducciones invertidas.....	77
4.5.2.2.	Válvulas de cheque	78
4.5.2.3.	Válvulas de descarga	79
4.5.2.4.	Medidores de descarga	79
4.5.2.5.	Codos y válvulas de cierre.....	80
4.5.2.6.	Tuberías.....	80
4.6.	Instalación de la bomba, tubería de descarga	80
4.6.1.	Diagrama de instalación	81
4.7.	Conexiones eléctricas.....	82
4.7.1.	Cables y protecciones para el motor	83
4.7.2.	Verificación del voltaje	84
4.7.3.	Sentido de rotación.....	85
4.7.4.	Instalación del <i>switch</i> de presión (presostato)	85
4.7.5.	Calibración del <i>switch</i> de presión (presostato)	86
4.7.5.1.	Ajuste del rango de presiones	87
4.7.5.2.	Calibración de la precarga del tanque.....	88
4.8.	Cebado de la bomba.....	89
4.9.	Sobrepresión por golpe de ariete.....	89
4.9.1.	Consecuencias del golpe de ariete.....	89
4.9.2.	Medidas generales contra el golpe de ariete	90
5.	MANTENIMIENTO EN BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS	93
5.1.	Mantenimiento preventivo de bombas	93
5.1.1.	Aspectos generales	93

5.2.	Normas de seguridad	94
5.3.	Mantenimiento de bombas hidroneumáticas	95
5.3.1.	Mantenimiento de elementos eléctricos	95
5.3.2.	Lubricación	96
5.3.3.	Sellos mecánicos	97
5.3.4.	Rodamientos	99
5.3.5.	Acoples	100
5.4.	Mantenimiento de equipo complementario	101
5.4.1.	Mantenimiento preventivo básico de motores eléctricos	101
5.4.2.	Calibración del tanque hidroneumático	103
5.5.	Períodos de mantenimiento preventivo	103
5.5.1.	Período de mantenimiento corto	103
5.5.2.	Período de mantenimiento medio	104
5.5.3.	Período de mantenimiento largo	105
	CONCLUSIONES	109
	RECOMENDACIONES	111
	BIBLIOGRAFÍA	113
	ANEXOS	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Bomba sumergible.....	4
2.	Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva	5
3.	Impulsor abierto	6
4.	Impulsor semi abierto	7
5.	Impulsor cerrado.....	8
6.	Trayectoria de una partícula en el rodete de una máquina	10
7.	Tanque a presión (hidroneumático).....	12
8.	Válvula de retención seccionada.....	15
9.	Interruptor de control de presión de bomba hidroneumática (presostato).....	16
10.	Gráfica coeficiente se simultaneidad k vs número de grifos x.....	23
11.	Succión negativa	39
12.	Succión positiva.....	39
13.	Curva de rendimiento, bomba seleccionada	60
14.	Cimentación.....	67
15.	Codos comunes.....	71
16.	Válvulas de cierre	73
17.	Manómetro.....	74
18.	Manovacuometro	74
19.	Tipos de junta	76
20.	Válvula de compuerta basculante.....	79
21.	Diagrama de instalación básico.....	82
22.	Sentido de rotación.....	85

23.	Esquema eléctrico <i>switch</i> de presión (presostato)	86
24.	Calibración del <i>switch</i> de presión (presostato)	88
25.	Elementos de un sello mecánico	98
26.	Acople tipo lovejoy	100
27.	Partes de un motor eléctrico	102

TABLAS

I.	Dotaciones en litros por día (lpd) correspondientes a las diversas edificaciones.....	20
II.	Consumos según pieza servida.....	22
III.	Gastos probables para la aplicación del método de Hunter (l/s)	25
IV.	Velocidad media en tuberías que origina diseños más económicos ...	28
V.	Coefficientes de Hazen Williams	33
VI.	Longitudes equivalentes a pérdidas locales (en metros de tubería de hierro fundido).....	36
VII.	Coefficiente K de volumen útil	44
VIII.	Cables y protecciones para motor	83

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h_s	Altura total de aspiración
AMPS	Amperios
A	Área de la tubería
HP	Caballos de Fuerza
H	Carga bruta del sistema
H_b	Carga de la bomba
NPSH	Carga neta positiva de succión
H_T	(CDT) Carga o altura dinámica total de bombeo
Q	Caudal volumétrico
C	Coefficiente de descarga
n	Eficiencia
E_c	Energía Cinética
GPM o Gal/min	Galones por minuto
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
g	Gravedad
kg/s	Kilogramos por segundo
kPa	Kilo Pascales
kW	Kilovatios
psi	Libras por pulgada cuadrada
lpd	Litros por día
l/min o lpm	Litros por minuto
l/s	Litros por segundo
L	Longitud de la tubería

m	Metros
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
mca	Metros de columna de agua
m/s	Metros por segundo
K	Parámetro que reúne todas las variables que se han fijado para el oficio
h _f	Pérdida por fricción
γ	Peso específico del agua
ft	Pies
h _{atm}	Presión atmosférica
h _r	Presión residual
P	Presión
P _{máx}	Presión máxima
P _{mín}	Presión mínima
pot	Potencia
R/min o rpm	Revoluciones por minuto
V	Velocidad permisible del agua
V _u	Volumen útil
W	<i>Watts</i>

GLOSARIO

Acople	Es el mecanismo de transmisión que conecta el eje del motor con el eje del mecanismo de impulsión. Pueden ser rígidos o flexibles. Los acoples flexibles pueden absorber una leve desalineación entre los dos ejes.
Bomba	Una bomba es una máquina que transforma energía mecánica en energía de presión y velocidad en un fluido. Toda bomba consta de tres elementos básicos: un motor, mecanismo de transmisión y un mecanismo de impulsión.
Bomba centrífuga	Bomba que aprovecha la rotación de su impulsor para poder producir un aumento de presión y velocidad al fluido que se desea desplazar. Es una de las más utilizadas.
Bomba hidroneumática	Bomba centrífuga a la que se le acopla en la tubería de descarga un cilindro, un manómetro y un interruptor eléctrico que la hacen operar de manera automática.

Bomba sumergible	Es la utilizada para extraer agua de pozos mecánicos. La bomba sumergible tiene como característica que se encuentra debajo del nivel del agua dentro del pozo y posee un motor eléctrico cerrado de forma hermética.
Caudal	Es el volumen de líquido bombeado por unidad de tiempo) y se puede expresar en litros por segundo (l/s.), metros cúbicos por segundo ($m^3/s.$) o galones por minuto (GPM).
Cavitación	Se denomina cavitación a la formación y ruptura de burbujas de vapor en el medio líquido que está siendo bombeado. Podríamos describir el proceso de cavitación imaginando una burbuja que se adhiere a una parte metálica, al desprenderse la burbuja de la parte metálica ocasiona una presión de succión que desprende partículas de material.
Cebar	Proceso que consiste en llenar la bomba con agua de manera que el impulsor pueda crear succión.
Golpe de ariete	Es un choque violento que se produce cuando el movimiento del fluido es modificado bruscamente. En otras palabras, es una sobre presión que puede afectar a los componentes internos de una bomba, tubería o válvula.

Impulsor	Elemento de máquina que tiene la función de impulsar un fluido dentro de una bomba. Comercialmente, es conocido como <i>impeler</i> (impulsor en inglés).
Potencia	La potencia expresa la capacidad de efectuar un trabajo por unidad de tiempo. En el sistema inglés se expresa en caballos de fuerza (HP, y derivan del idioma inglés <i>HorsePower</i>) y en el sistema internacional <i>Watt</i> .
Sobrepresión	Presión superior a la adecuada.
Válvula de alivio	Mecanismo que impide el retroceso de un fluido que circula por un conducto.
Válvula de retención	La función de una válvula de retención o cheque es impedir el paso de fluido en un sentido contrario al predeterminado.

RESUMEN

La mayor parte de este trabajo, hace mención de las tareas básicas en cuanto a cálculo, selección, instalación y mantenimiento de bombas hidroneumáticas. Dicha información abarca desde la definición de bomba, y equipo hidroneumático hasta la forma de realizar el respectivo mantenimiento a las mismas. El trabajo se encuentra dividido en cinco capítulos.

El primer capítulo contiene las definiciones de bomba, sus clasificaciones y equipo complementario que rigen el funcionamiento de las mismas. El segundo capítulo trata de los cálculos cuantitativos adecuados para conocer las capacidades necesarias a ser requeridas de una bomba hidroneumática.

El tercer capítulo presenta el desarrollo del sistema que permita seleccionar el equipo adecuado, para satisfacer las necesidades requeridas en cuanto a la elección de una bomba hidroneumática.

El cuarto capítulo comprende los criterios a tomar en cuenta para una apropiada instalación del sistema, a su vez destaca los componentes imprescindibles que controlen la calidad de trabajo para un correcto funcionamiento de la bomba.

El quinto y último capítulo especifica un método de control preventivo para realizar revisiones periódicas al equipo y sus accesorios, y así el sistema funcione de manera óptima y precisa.

OBJETIVOS

General

Elaborar una guía con la información necesaria para el cálculo, selección e instalación, como también un plan de mantenimiento para bombas hidroneumáticas.

Específicos

1. Establecer teóricamente las características generales de las bombas hidroneumáticas.
2. Concretar ecuaciones directas de cálculos que facilite a las personas determinar la adecuada capacidad de una bomba hidroneumática.
3. Determinar los pasos necesarios para la correcta instalación de bombas hidroneumáticas y los factores necesarios para un correcto funcionamiento.
4. Exponer los métodos para un adecuado mantenimiento en bombas hidroneumáticas.

5. El presente trabajo, sea aplicado como complemento en el curso de máquinas hidráulicas, en la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

Entre los diferentes equipos de abastecimiento y distribución de agua en edificios e instalaciones industriales, las bombas hidroneumáticas han demostrado ser una opción eficiente y versátil, con grandes ventajas frente a otras; este sistema evita construir cisternas elevadas, colocando un tanque parcialmente lleno con aire a presión. Lo cual produce que la red hidráulica mantenga una presión excelente.

Un deficiente cálculo conlleva a una mala selección de equipo que a su vez desperdicia la energía tanto hidráulica como eléctrica, siendo necesario contar con un equipo adecuado, y para lograr que la utilización de estos recursos sea eficiente.

Además, todos los componentes de la bomba deben estar instalados correctamente y recibir un mantenimiento adecuado, para que se tenga la seguridad de que el sistema trabajará óptimamente y por largo tiempo.

Para lo anterior se propuso la elaboración de una Guía general que sistematiza los cálculos y criterios para obtener mejores resultados en la selección de bombas hidroneumáticas. Además incluyendo la información de cómo realizar la instalación y su respectivo mantenimiento, de acuerdo con las normas establecidas por el fabricante.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Importancia del agua

El agua es esencial para la mayoría de las formas de vida conocidas por el hombre. El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas, tanto para consumo personal como en la industria.

1.1.1. Fuentes de abastecimiento de agua

Las poblaciones e industrias son abastecidos de agua mediante el suministro municipal o pozos y en algunos casos de ríos o lagos.

1.1.2. Relación entre el agua y la industria

La industria precisa el agua para múltiples aplicaciones, para calentar y para enfriar, para producir vapor de agua o como disolvente, como materia prima o para limpiar.

1.2. Definición de bomba

Bomba es un dispositivo empleado para elevar el agua u otro líquido, puesto que son herramientas que agregan carga al flujo y añaden energía a los líquidos, intercambiando energía a través del movimiento de los álabes.

Una bomba no desarrolla ninguna energía propia. Simplemente transfiere la fuerza de una fuente de energía, para poner en movimiento un líquido. Por ejemplo, un motor eléctrico puede imprimir energía a una bomba para utilizar el agua ya sea por conducción directa o por almacenamiento.

1.3. Tipos de bombas

Los tipos de bombas comúnmente utilizados para la entrega de fluido pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Desplazamiento positivo:
 - Rotatorias
 - De engranajes
 - De paleta
 - De tornillo
 - De cavidad progresiva
 - De lóbulo o álabe
 - Reciprocantes
 - De pistón
 - De inmersión
 - De diafragma
- Cinéticas
 - De flujo axial (centrífuga)
 - De flujo axial (de impulsor)
 - De flujo mixto
- De propulsión o tipo ejetor

1.3.1. Bombas de desplazamiento positivo

Las bombas de desplazamiento positivo entregan una cantidad fija de fluido en cada revolución del rotor de la bomba. Excepto por deslizamientos pequeños debido al paso libre entre el rotor y la estructura, la entrega o capacidad de la bomba no se ve afectada por los cambios en la presión que ésta debe desarrollar. La mayoría de bombas de desplazamiento positivo puede manejar líquidos con altas viscosidades.

1.3.2. Bombas cinéticas o centrífugas

Las bombas cinéticas adicionan energía al fluido acelerando a través de la acción de un impulsor giratorio. El fluido se alimenta hacia el centro del impulsor y después se lanza hacia fuera a través de las paletas. Al dejar el impulsor el fluido pasa a través de una voluta en forma de espiral en donde es frenado en forma gradual, provocando que parte de la energía cinética se convierta en presión de fluido.

Existen muchas otras maneras en que las bombas pueden mover líquidos. Sin embargo, en el campo de la hidráulica, cuando se trata específicamente del agua, las bombas más comunes son las centrífugas.

1.4. Utilización del equipo de bombeo

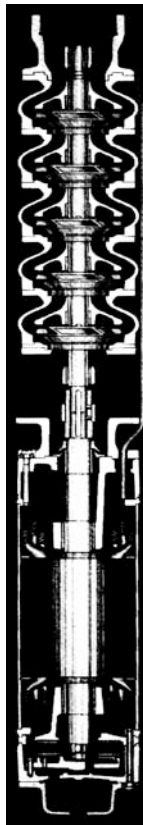
Las bombas de agua dentro de un hogar o en la industria cumplen dos finalidades; la primera es la de extracción de agua desde un pozo hasta una cisterna, y la segunda la circulación del agua dentro del sistema de distribución. Para la extracción de agua de los pozos se utilizan bombas sumergibles, y para la distribución dentro de la red se utilizan bombas centrífugas o hidroneumáticas.

1.4.1. Bombas sumergibles

Se le conoce como bomba sumergible al tipo de bomba utilizada para extraer agua de pozos mecánicos; la bomba sumergible tiene como característica que se encuentra debajo del nivel del agua dentro del pozo.

Tiene un motor eléctrico sellado que está conectado por medio de cables especiales resistentes al agua; normalmente, posee varios impulsores conectados en serie al motor y tiene un flujo axial.

Figura 1. **Bomba sumergible**



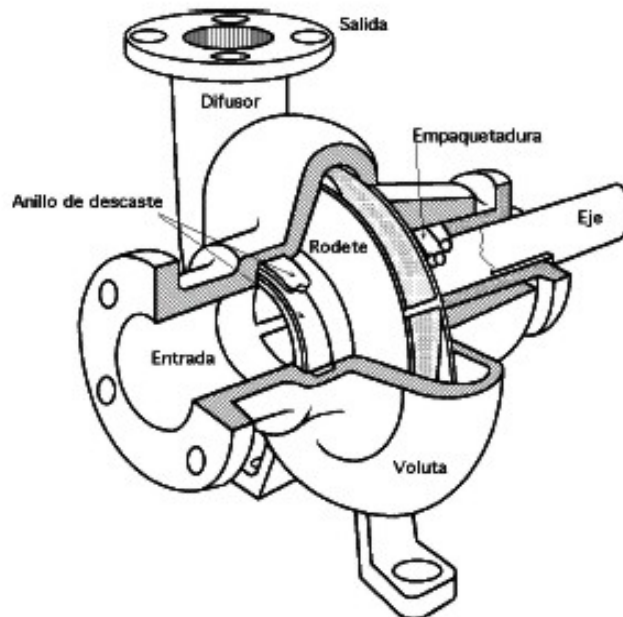
Fuente: Mataix, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. p. 376.

1.4.2. Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas constan normalmente de un motor eléctrico, una transmisión por medio de un acople flexible y un impulsor con flujo radial dentro de una carcasa. Las carcasas de las bombas centrífugas son regularmente hechas de hierro fundido y el impulsor de bronce o plástico.

El impulsor está montado sobre un eje apoyado en rodamientos. Sobre el eje también van montados sellos que evitan que existan fugas entre la carcasa y el eje; pero, que además permiten que exista goteo para lubricación entre el eje y el sello.

Figura 2. **Bomba centrífuga, disposición, esquema y perspectiva**



Fuente: <http://www.sapiensman.com>. Consulta: 07/03/2012.

1.4.2.1. Clasificación de bombas centrífugas

Existen varias formas de clasificar las bombas centrífugas entre ellas se tienen: según el tipo de impulsor, el tipo de succión que utilizan, la cantidad de impulsores y según la trayectoria del líquido en el impulsor.

1.4.2.1.1. Clasificación de las bombas según el tipo de impulsor

Las bombas centrífugas pueden clasificarse según el tipo de impulsor, son tres: las de impulsor abierto, impulsor semi abierto y las de impulsor cerrado. Detalladas a continuación:

Impulsor abierto

En esta clase de impulsor las paletas están unidas directamente al núcleo del impulsor sin ningún plato en los extremos. Su uso está limitado a bombas muy pequeñas, pero se puede manejar cualquier líquido y además inspeccionarlo es muy sencillo.

Figura 3. Impulsor abierto



Fuente: Menéndez, Carlos. Selección de equipo de bombeo, funcionamiento y mantenimiento. p. 10.

Impulsor semi abierto

Su construcción varía en que está colocado un plato en el lado opuesto de la entrada del líquido y por ende está más reforzado que el impulsor abierto, como las paletas al estar unidas tienen la función de disminuir la presión en la parte posterior del impulsor y la entrada de materiales extraños se alojan en la parte posterior del mismo.

Figura 4. **Impulsor semi abierto**



Fuente: Menéndez, Carlos. Selección de equipo de bombeo, funcionamiento y mantenimiento. p. 10.

Impulsor cerrado

Este impulsor se caracteriza porque además del plato posterior lo rodea una corona circular en la parte anterior del impulsor. Esta corona es unida también a las paletas y posee una abertura por donde el líquido ingresa al impulsor. Éste es más utilizado en las bombas centrífugas por su rendimiento que es superior a los dos anteriores. Hay que hacer notar que debe ser utilizado en líquidos que no tienen sólidos en suspensión. Ver figura 5.

Figura 5. **Impulsor cerrado**



Fuente: Menéndez, Carlos. Selección de equipo de bombeo, funcionamiento y mantenimiento.
p. 11.

1.4.2.1.2. Clasificación de las bombas por el tipo de succión

Las bombas centrifugas se pueden clasificar también de acuerdo con su tipo de succión, las cuales pueden ser de simple succión y doble succión.

Las bombas de simple succión admiten agua por un sólo lado del impulsor, mientras que las de doble succión lo hacen por ambos lados. Hay que hacer notar que las bombas de doble succión funcionan como si existieran dos impulsores, uno en contra posición del otro y esto elimina el problema del empuje axial. Otra ventaja es la seguridad con la que trabaja frente a la cavitación, ya que el área de admisión del agua es superior a las bombas de simple succión.

1.4.2.1.3. Clasificación de las bombas según el número de impulsores

Para definir este tipo de bomba centrífuga tiene la clasificación según el número de impulsores empleados, bombas de una fase y bombas de múltiples fases.

La bomba de una sola fase es la que carga o altura manométrica total es proporcionada por un único impulsor. Ahora la bomba de múltiples fases alcanza su altura manométrica o alcanza con dos o más impulsores, actuando en serie con una misma carcasa y un único eje, es por esto que la bomba de múltiples fases es utilizada en cargas manométricas muy altas.

1.4.2.1.4. Clasificación de las bombas según la trayectoria del líquido

Las bombas centrífugas también pueden ser clasificadas según el tipo de trayectoria del líquido en el impulsor, bombas de flujo radial, de flujo axial y de flujo mixto, cada una detallada a continuación:

Bombas de flujo radial:

En este tipo de bomba el líquido penetra al impulsor en dirección paralela al eje de la bomba y sale en dirección perpendicular al eje del impulsor. Las cargas manométricas a manejar son altas.

Bombas de flujo axial:

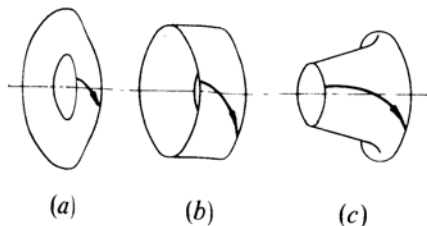
Aquí el líquido penetra axialmente en el impulsor y su salida en la misma dirección, es utilizada para cargas manométricas bajas.

Bombas de flujo mixto:

El flujo penetra axialmente en el impulsor y sale en una dirección intermedia entre radial y axial, las cargas manométricas manejadas son medias. La figura 6 muestra la trayectorias de los flujos.

Figura 6. **Trayectoria de una partícula en el rodete de una máquina**

(a) radial; (b) axial; (c) flujo mixto.



Fuente: Mataix, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. p. 368.

1.5. **Bomba hidroneumática**

El agua que es suministrada desde el acueducto público u otra fuente, es retenida en un tanque de almacenamiento; de donde, a través de un sistema de bombas, será impulsada a un recipiente a presión (de dimensiones y

características calculadas en función de la red), y que posee volúmenes variables de agua y aire.

Al aumentar la presión del agua, la bolsa se expande en el interior del depósito hasta llegar a presión que se ha predefinido en el interruptor de mando por el usuario (ésta es presión en la cuál el sistema que se está alimentando de agua, trabaja en las condiciones requeridas).

Al disminuir la presión del sistema debido a que en algún punto de la red se ha abierto una válvula y hay consumo de agua, se activará nuevamente la bomba centrífuga hasta alcanzar otra vez la presión predefinida.

1.5.1. Componentes del sistema hidroneumático

Un sistema hidroneumático debe estar constituido por los siguientes componentes:

- Un tanque de presión
- Electrobomba
- Válvula de retención instalada antes de la succión de la bomba
- Manómetro
- Control de presión (presostato)
- Tablero de potencia y control de motores. (aplica cuando se tiene 2 o más bombas)

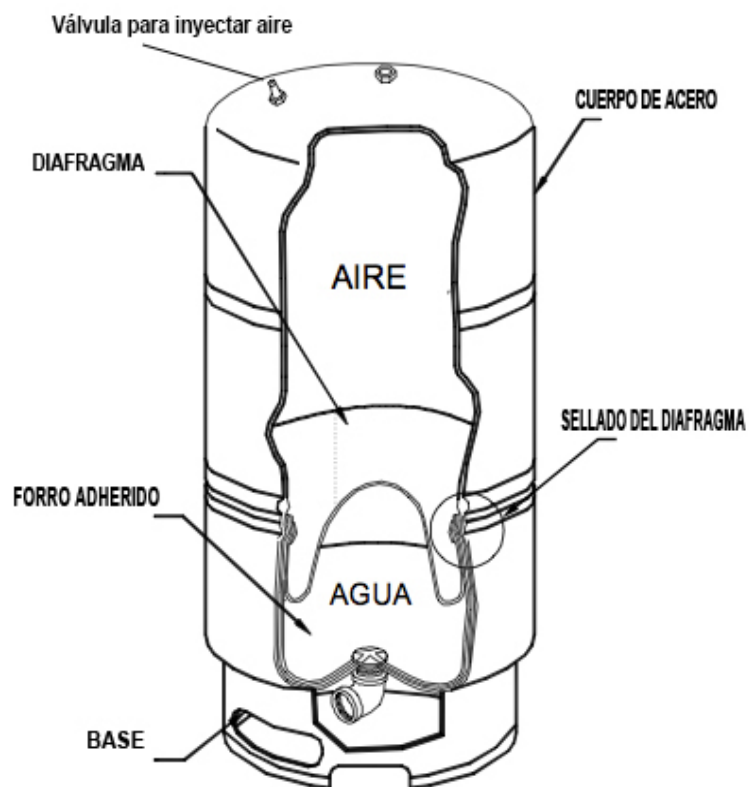
1.5.1.1. Tanque a presión

Los tanques a presión o tanques hidroneumáticos son recipientes cerrados donde se acumula agua bajo presión. Al ingresar el agua a presión dentro del tanque, el aire confinado dentro se va comprimiendo dándole lugar al

líquido, esto se debe a que el aire por ser un gas tiene sus moléculas más separadas y por ello tiende a comprimirse mucho más fácilmente que el agua.

Se diferencian por la forma constructiva y por los materiales utilizados. Estas diferencias los hacen más propicios para una u otra utilización. Además de los materiales utilizados la diferencia más notable que se puede marcar es en la utilización de una membrana para separar aire y agua.

Figura 7. **Tanque a presión (hidroneumático)**



Fuente: elaboración propia.

- Sin membrana

En la actualidad estos tanques son mayormente utilizados para uso naval o servicios pesados en la industria, sin dejar de satisfacer las necesidades de la presurización en construcciones de uso civil, sistemas contra incendio, riego, etc.

Son construidos en chapa de acero (o acero inoxidable), el metal se protege en el interior con pintura epoxi que evita su deterioro al estar en contacto con el agua.

El aire está en contacto directo con el agua, lo que hace que poco a poco el volumen de aire dentro del tanque se pierda. Esto se debe a que el agua tiene la capacidad de absorber aire.

Cuentan con un visor de vidrio para visualizar el nivel de agua-aire dentro del tanque. Tienen otros orificios que se utilizan para colocar los manómetros, presostatos y válvulas de seguridad.

En los de mayor tamaño se deja preparada una boca “paso de hombre” para poder ingresar dentro del mismo y realizar el mantenimiento de la pintura o reparaciones necesarias.

- Con membrana

Este tipo de tanques en los últimos años han ganado amplio terreno el mercado de la presurización domiciliaria tanto como en pequeñas y medianas obras.

Están contruidos en distintos materiales predominan los de chapa de acero, pero también los hay en acero inoxidable, zinc y materiales plásticos (polietileno reforzado con fibra de vidrio y resinas epóxicas).

En todos los casos poseen una membrana interna que puede según el fabricante y el uso para que han sido preparados, tener distinta disposición dentro del tanque. Hay modelos en que la membrana está colocada como una bolsa que recibe y se llena con el agua, por lo que la chapa nunca se moja y queda protegida contra la corrosión; en otros modelos el tanque está dividido en dos hemisferios y en la unión de estos casquetes o hemisferios está sujeta a la membrana central que contiene el aire mientras que el agua se ubica rodeándola.

Concretamente en todos los casos la principal función de la membrana es evitar que el aire sea absorbido por el agua, evitando así los mecanismos descritos con anterioridad. La durabilidad de las membranas en instalaciones bien contruidas y con bajos niveles de sarro es de muchos años.

1.5.1.2. Electrobomba

Es una bomba hidráulica accionada por motor eléctrico, están las bombas sumergibles, tipo turbina vertical y la mayormente conocida bombas centrífuga horizontal.

1.5.1.3 Válvula de retención

La válvula de retención esta destinada a impedir una inversión de la circulación. La circulación del líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, se cierra. Ver figura 8.

Figura 8. **Válvula de retención seccionada**



Fuente. <http://www.aguamarket.com>. Consulta: 18/03/2012.

1.5.1.4 Manómetro

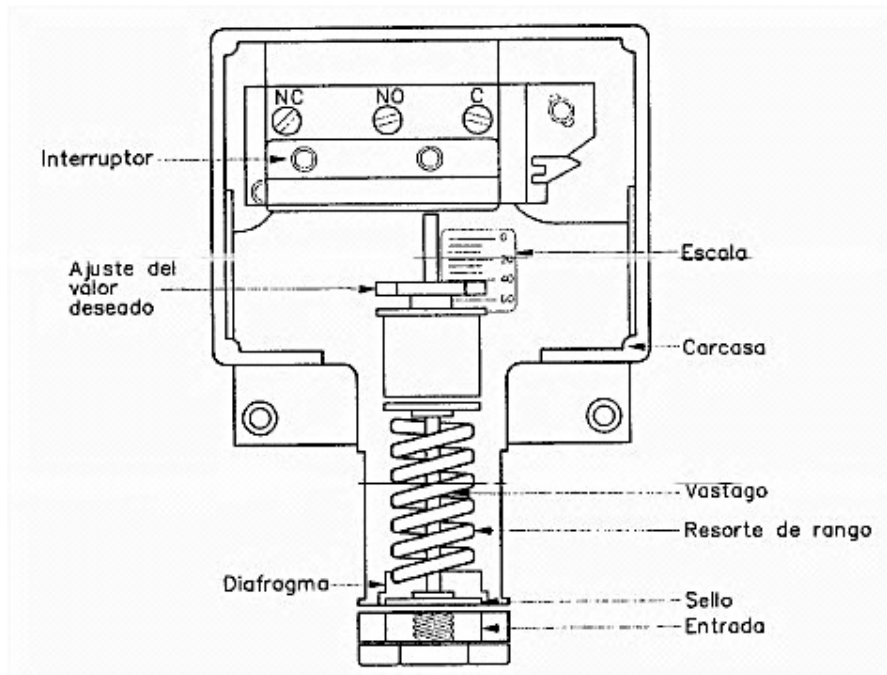
Es un instrumento que se emplea para la medición de la presión en los fluidos y que generalmente procede determinando la diferencia que hay entre la presión del fluido y la presión local.

1.5.1.5. Control de presión (presostato)

El presostato también es conocido como control de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan. Ver figura 9.

Figura 9. **Interruptor de Control de presión de bomba hidroneumática (presostato)**



Fuente: <http://www.comagro.com.py>. Consulta: 20/03/2012.

1.5.1.6. **Tablero de potencia y control**

Es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición y protección. Con estos tableros se proporciona el correcto funcionamiento del equipo, desde su puesta en marcha, apagado, detección de alto y/o bajo voltaje, caídas de fases entre otros parámetros.

1.5.2. Sistema hidroneumático de uso doméstico

Los sistemas hidroneumáticos con tanques de 320 galones o menos y en edificaciones con 30 piezas servidas o menos se denominan hidroneumáticos de quintas o de uso doméstico.

1.5.3. Sistema hidroneumático industrial

Los sistemas hidroneumáticos de uso industrial, son muy variables y en algunos casos son tan prolongados como los sistemas utilizados para uso doméstico.

2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DEL EQUIPO

2.1. Determinación de los caudales

Determinar la demanda, es estimar mediante la aplicación de un método óptimo el consumo promedio diario y el consumo máximo probable de agua de una red.

2.1.1. Consumo según el propósito

Los diversos propósitos para los cuales el agua es usada se pueden clasificar en domésticos, industriales-comerciales, públicos y contra incendio. El conocimiento de estos es necesario para la efectiva dotación de la(s) edificación(es). Por ejemplo, los usos industriales, son muy variables y algunas veces tan prolongados como los domésticos.

2.1.2. Métodos para la determinación de consumo

Para la determinación en el consumo de agua existen varios métodos, detallando a continuación los tres más importantes.

2.1.2.1. Método de dotaciones

Como en el caso de cualquier sistema de abastecimiento de agua, la dotación de agua para edificios es muy variable y depende de una serie de factores entre los cuales se pueden citar: uso del edificio, área, costumbres y hábitos de sus ocupantes, uso de medidores, necesidades profesionales, así como del sistema de distribución que sea adoptado.

Este método puede ser usado en diversos tipos de edificaciones y se basa en la estimación de consumo en veinticuatro (24) horas de la red, el resultado se multiplica por un factor K para estimar el “Pico máximo probable” que ocurrirá en la red.

Tabla I. **Dotaciones en litros por día (lpd) correspondientes a las diversas edificaciones**

Tipo de uso	Consumo
Viviendas	100 – 200 litros/habitante/día
Industrias	80 litros/día-empleado en cada turno de 8 horas, mas la requerida para el proceso industrial, según análisis
Depósitos de materiales, equipos y artículos manufacturados	80 litros/día-empleado en cada turno de 8 horas
Oficinas comerciales y ventas de repuestos	6 litros/ día-m ²
Oficinas públicas	40 litros/ día-empleado y 1 litro/ día visitante
Hoteles	250 litros/ día-cama
Moteles	500 litros/ día-cama

Continuación de la tabla I .

Hospitales y clínicas	800 litros/ día-cama
Lavanderías	40 litros/ día-kg de ropa
Cines, Teatros y auditorios	3 litros/día-asiento
Discotecas, casinos y salas de baile	30 litros/ día-m ²
Áreas verdes, parques y jardines	2 litros/ día-m ²

Fuente: <http://www.seopc.gov.do/>. Consulta: 24/03/2012.

La fórmula siguiente da el Caudal Medio de Consumo en litros por segundo (lps) y tomándose en cuenta el factor K, da el Caudal Máximo

Probable.

$$Q_d = \frac{(\text{Dotación}) * (K)}{86\,400} = \text{LPS}$$

Donde:

Dotación: es la cantidad de litros por día (lpd) correspondiente, según la tabla I.

K: es un factor que según proyecciones de variación en la demanda en redes, se recomienda estimarse de 8 a 10 según:

Dotación

Menor a 50 000 lpd K = 10

entre 50 001 y 100 000 lpd K = 9

más de 100 001 lpd k = 8

2.1.2.2. Método de coeficiente de simultaneidad

En muy pocos casos puede dimensionarse la instalación de manera que funcionen todos los aparatos simultáneamente. Sólo puede ocurrir excepcionalmente, y si se calcula así, puede ser una instalación muy costosa.

Este es un factor importante a considerar para el dimensionado. Para ello se utiliza el coeficiente de simultaneidad, a fin de saber cuántos aparatos pueden estar abiertos al mismo tiempo.

La tabla II describe el consumo según la pieza o grifo.

Tabla II. Consumos según pieza servida

Elemento	Consumo
1 lavabo	0,10 l/s
Ducha	0,20 l/s
Bidé	0,10 l/s
Bañera	0,30 l/s
Inodoro-cisterna	0,10 l/s
Fregadero	0,15 l/s
Lavavajillas-lavadora	0,10 l/s
Lavadero	0,10 l/s
Vertedero	0,20 l/s
Boca de Riego	1 l/s

Fuente: <http://www.construmatica.com>. Consulta: 24/03/2012.

Para obtener el Consumo Punta (Q_p) en l/s , se multiplica el consumo total de aparatos (Q) por el coeficiente de simultaneidad (K).

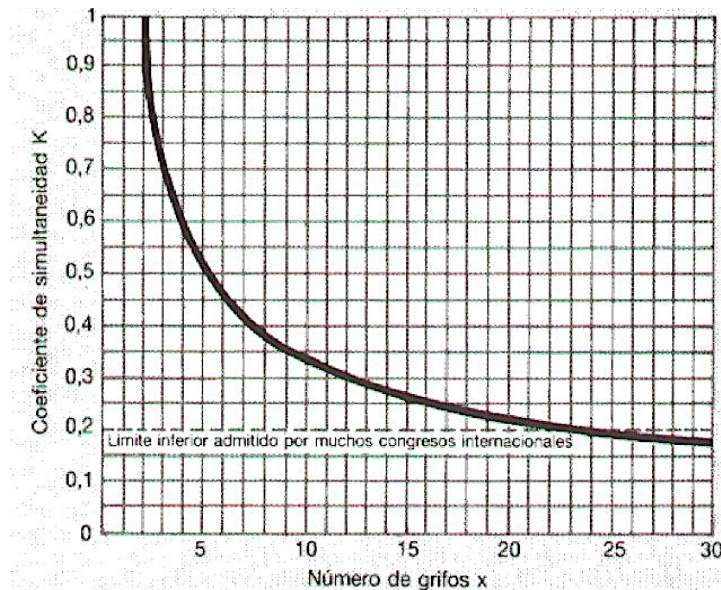
$$Q_p = Q * K$$

Las normas fijan el valor de K por la expresión:

$$K = \frac{1}{\sqrt{X-2}}$$

En la que se representa a “ x ” el número de grifos instalados o piezas servidas.

Figura 10. **Gráfica coeficiente de simultaneidad k vs número de grifos x**



Fuente: <http://www.tecnicsuport.com/>. Consulta: 25/03/2012.

2.1.2.3. Método de Hunter

Este método consiste en asignar a cada aparato sanitario o grupo de aparatos sanitarios, un número de unidades de gasto o peso determinado experimentalmente.

Este método considera aparatos sanitarios de uso intermitente y tiene en cuenta el hecho de que cuanto mayor es su número, la proporción del uso simultáneo de los aparatos disminuye. Para estimar la máxima demanda de agua de un edificio o sección de él, debe tenerse en cuenta si el tipo de servicio que prestarán los aparatos es público o privado.

Es obvio indicar que el gasto obtenido por este método es tal que hay cierta probabilidad que no sea sobrepasado, sin embargo, esta condición puede presentarse pero en muy raras ocasiones.

Debe tomarse en cuenta al aplicar el método si los aparatos sanitarios son de tanque o de válvula (fluxómetro) pues se obtienen diferentes resultados de acuerdo al tipo de aparato. Cuando existen instalaciones que requieren agua en forma continua y definida, el consumo de estos debe obtenerse sumando a la máxima demanda simultánea determinada, las de uso en forma continua tales como aire acondicionado, riego de jardines, etc.

La tabla III indica la cantidad de gasto probable según el tipo de sanitario.

Tabla III. **Gastos probables para la aplicación del método de Hunter**
(l/s)

No. de	Gasto		No. de	Gasto	
	Tanque	Válvula		Tanque	Válvula
3	0,12	---	20	0,54	1,33
4	0,16	---	22	0,58	1,37
5	0,23	0,91	24	0,61	1,42
6	0,25	0,94	26	0,67	1,45
7	0,28	0,97	28	0,71	1,51
8	0,29	1,00	30	0,75	1,55
9	0,32	1,03	32	0,79	1,59
10	0,34	1,06	34	0,82	1,63
12	0,38	1,12	36	0,85	1,67
14	0,42	1,17	38	0,88	1,70
16	0,46	1,22	40	0,91	1,74
18	0,50	1,27	42	0,95	1,78
44	1,00	1,82	210	2,53	3,44
46	1,03	1,84	220	2,65	3,58
48	1,09	1,92	230	2,65	3,58
50	1,13	1,97	240	3,75	3,65
55	1,19	2,04	250	2,84	3,71
60	1,25	2,11	260	2,91	3,79
65	1,31	2,17	270	2,99	3,87
70	1,36	2,23	280	3,07	3,94
75	1,41	2,29	290	3,15	4,04
80	1,45	2,35	300	3,32	4,12
85	1,50	2,40	320	3,37	4,24

Continuación de la tabla III .

No. de	Gasto		No. de	Gasto	
	Tanque	Válvula		Tanque	Válvula
90	1,56	2,45	340	3,52	4,35
95	1,62	2,50	380	3,67	4,46
100	1,67	2,55	400	3,97	4,72
110	1,75	2,60	420	4,12	4,84
120	1,83	2,72	440	4,27	4,96
130	1,91	2,80	460	4,42	5,08
140	1,98	2,85	480	4,57	5,20
150	2,06	2,95	500	4,71	5,31
160	2,14	3,04	550	5,02	5,57
170	2,22	3,12	600	5,34	5,83
180	2,29	3,20	650	5,85	6,09
190	2,37	3,25	700	5,95	6,35
200	2,45	3,36	800	6,60	6,84

Fuente: Rodríguez Soza, Luis Carlos. Guía para la instalaciones sanitarias. p. 50.

2.2. Determinación de las cargas

Para poder entrar en el cálculo de cargas de una red de distribución, primero se verán algunas teorías y ecuaciones fundamentales de la hidráulica.

2.2.1. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de conservación de la masa. Para un flujo permanente, la masa de fluido que

atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo, es constante. Ésta puede calcularse como sigue:

$$\rho_1 * A_1 * V_1 = \rho_2 * A_2 * V_1 = \text{constante}$$

$$\gamma_1 * A_1 * V_1 = \gamma_2 * A_2 * V_1 \quad (\text{en k/s})$$

Para fluidos incompresibles y para todos los casos prácticos en que $\gamma_1 = \gamma_2$, la ecuación se transforma en:

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 = \text{constante} \quad (\text{en m}^3/\text{s})$$

Donde:

A_1 y V_1 son, respectivamente, el área de la sección recta en metros cuadrados y la velocidad media de la corriente en metros por segundo. El caudal se mide normalmente en metros cúbicos por segundo o bien litros por segundo.

2.2.1.1. Determinación del diámetro en la tubería

Para determinar los diámetros de los tramos de una red, se deben considerar las velocidades mínimas y máximas señaladas, es decir que los diámetros escogidos deben producir velocidades dentro de estos límites.

La tabla IV expresa la velocidad media según el tipo de tubería.

Tabla IV. **Velocidad media en tuberías que origina diseños más económicos**

Tipo de tubería	Velocidad media m/s	
	Mínima	Máxima
Tuberías de succión en bombas centrífugas, de acuerdo con la carga de succión, longitud, temperatura del agua (<70°C)	0,5	1,0
Tuberías de descarga en bombas	1,5	2,0
Redes de distribución para agua potable e industrial:		
Tuberías principales	1,0	2,0
Tuberías laterales	0,5	0,7
Tuberías muy largas	1,5	3,0

Fuente: Ávila, Gilberto Sotelo. Hidráulica general p. 367.

A objeto de mitigar los efectos por golpe de ariete, y en general cuando sea inminente, se recomienda que las velocidades máximas no superen el rango de 1,2 metros por segundo a 2,5 metros por segundo. La velocidad mínima podrá ser determinada en función a las condiciones de auto limpieza, calidad del agua, etc.

Con el caudal y el rango de velocidades determinados, es posible conocer el diámetro aproximado de la tubería a través de la ecuación de continuidad.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

Donde:

- D = Diámetro de la tubería
- Q = Caudal del fluido
- V = Velocidad del fluido
- $\pi = \pi = 3,14159265$

2.2.2. Ecuación general de la energía en fluidos

Las ecuaciones que rigen toda la mecánica de fluidos, se obtienen por la aplicación de los principios de conservación de la mecánica y la termodinámica a un volumen fluido.

2.2.2.1. Teorema de Bernoulli

El principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente.

Expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

- Cinética: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.
- Potencial gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posea.

- Energía de flujo: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

- H = Energía total en un punto
- Z = Energía potencial
- $\frac{P}{\gamma}$ = Energía de presión
- γ = Peso específico del agua = 1 000 kg/m
- $\frac{V^2}{2 \cdot g}$ = Energía cinética
- g = Aceleración de la gravedad = 10 m/s²

Debido a que existen pérdidas y/o incrementos de energía, estos se deben incluir en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto, el balance de energía para dos puntos de fluido puede escribirse, considerando la pérdidas por razonamiento del punto uno al punto dos (hf_{1-2}) de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + hf_{1-2}$$

2.2.3. Tipos de flujo

Al movimiento de un fluido se le llama flujo. El flujo de un fluido puede clasificarse de muchas maneras, tales como turbulento, laminar; real, ideal;

reversible, irreversible; permanente, no permanente; uniforme y no uniforme. A continuación se definen los dos principales tipos de flujo.

2.2.3.1. Flujo turbulento

El flujo turbulento es el más frecuente en las aplicaciones prácticas de la ingeniería. En esta clase de flujo las partículas del fluido (pequeñas masas moleculares) se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares, originando un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra.

En los casos en que el flujo puede ser unas veces turbulento y otras laminar, el turbulento origina una mayor tensión de cortadura en el fluido y produce más irreversibilidades o pérdidas. Así en el flujo turbulento, la pérdida de energía mecánica varía aproximadamente con el cuadrado de la velocidad, mientras en el laminar lo hace con la primera potencia.

2.2.3.2. Flujo laminar

En el flujo laminar las partículas del fluido se mueven a lo largo de las trayectorias lisas en capas o láminas, deslizándose una capa sobre la adyacente.

El flujo laminar no es estable cuando es pequeña la viscosidad, o grande la velocidad o el caudal y se rompe transformándose en turbulento.

2.2.4. Fricción en tuberías

En esta sección se tratarán las pérdidas de energía que sufre un fluido, en su trayectoria dentro de una tubería debido a la fricción de éste con las paredes

de la misma, así como también, las pérdidas causadas por los cambios de dirección, contracciones y expansiones a todo lo largo de una red de distribución.

La pérdida de energía de un fluido dentro de una tubería, se expresa como pérdida de presión o pérdida de carga en el mismo.

2.2.4.1. Pérdidas de carga en tubería recta

Para el cálculo de las pérdidas de carga se ha tomado como base la fórmula de Hazen & Williams, ya que es una de las mas populares para el diseño y análisis de sistemas de agua. Su uso está limitado al flujo de agua en conductos mayores de 2 pulgadas y menores de 6 pies de diámetro.

A continuación se presenta la fórmula (en ambos sistemas de unidades) con su respectiva tabla de coeficientes, para la estimulación de la misma.

En el sistema internacional tenemos:

$$h_f = \frac{10,643 * Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * D^{4,87}} \quad (m)$$

Donde:

Q = flujo de agua en m³/s

D = diámetro de la tubería en metros

L = longitud del tramo de la tubería en metros

C = coeficiente que depende de la naturaleza (material y estado) de las paredes de los tubos, observe la tabla V.

En el caso del sistema inglés la fórmula para el cálculo de la pérdida de carga queda expresada así:

$$h_f = \frac{4,727 * Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * D^{4,87}} \quad (\text{pies})$$

Donde:

Q = flujo de agua en pies³/s

D = diámetro de la tubería en pies

L = longitud del tramo de la tubería en pies

C = coeficiente que depende de la naturaleza (material y estado) de las paredes de los tubos, observe la tabla V.

Tabla V. **Coeficientes de Hazen Williams**

Material	Coeficiente de Hazen-Williams
Asbesto – cemento (nuevo)	135
Cobre y latón	130
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, 10 años de edad	107 - 113
Hierro fundido, 20 años de edad	89 - 100
Hierro fundido, 30 años de edad	75 - 90
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
Acero remachado nuevo	110

Continuación de la tabla V .

Acero remachado usado	85
PVC	140
PE	150
Plomo	130 - 140
Aluminio	130

Fuente: <http://www.fagro.edu.uy>. Consulta: 03/04/2012.

2.2.4.2. Pérdidas de presión en válvulas y conexiones

Cuando un fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica de flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta.

Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tubería alteran la configuración de flujo, producen una pérdida de presión adicional la cual se puede determinar por longitud equivalente.

En términos básicos, el concepto de Longitud Equivalente consiste en definir, para cada accesorio en el sistema a estudiar, una longitud virtual de tubería recta que, al utilizarse con la ecuación de pérdida por fricción, genere la misma pérdida asociada a la pérdida localizada del referido accesorio.

De esta forma, tanto las Pérdidas por Fricción como las Pérdidas Localizadas, para cada diámetro en el sistema, serán evaluadas con la misma ecuación de Pérdidas por Fricción para obtener la Pérdida Total (ht) del sistema, sólo que a la longitud de tubería real (Lr) se le adicionará la suma de la Longitud Equivalente de cada accesorio.

El método de la Longitud Equivalente es de amplio uso en el diseño de instalaciones de pequeño diámetro (Instalaciones Sanitarias en Edificaciones) no significando esto que no sea aplicable a sistemas de mayor diámetro. El problema, en el caso del diseño de Aducciones, por ejemplo, es la poca disponibilidad de valores referenciales de Longitud Equivalente para diámetros superiores a los 400 milímetros.










La tabla VI indica la longitud equivalente respecto a cada accesorio y su diámetro.

Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.










Las longitudes equivalentes de la tabla corresponden a tuberías de hierro fundido. Deben usarse factores de corrección para otros materiales.

$$FC = (C \text{ material}/100)^{1,85}$$

Tabla VI. **Longitudes equivalentes a pérdidas locales (en metros de tubería de hierro fundido)**

Diámetro D mm pulg		Codo 90° radio largo	Codo 90° radio medio	Codo 90° radio corto	Codo 45°	Curva 90°	Curva 45°	Entrada normal	Entrada de borda	Válvula de compuerta abierta
										
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5	0,1
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,2	0,3	0,7	0,2
32	1 ¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,3	0,4	0,9	0,2
38	1 ½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,3	0,5	1,0	0,3
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,4	0,7	1,5	0,4
63	2 ½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	0,5	0,9	1,9	0,4
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	0,6	1,1	2,2	0,5
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	0,7	1,6	3,2	0,7
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	0,9	2,0	4,0	0,9
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	1,1	2,5	5,0	1,1
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	1,5	3,5	6,0	1,4
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	1,8	4,5	7,5	1,7
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	2,2	5,5	9,0	2,1
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	2,5	6,2	11,0	2,4

Continuación de la tabla VI .

Diámetro D mm pulg		Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	Té paso directo	Té salida lateral	Té salida bilateral	Válvula de pie	Salida de tubería	Válvula de retención liviana	Válvula de retención pesada
										
13	1/2	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	3/4	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 ¼	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 ½	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 ½	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

Fuente: <http://artemisa.unicauca.edu.co/>. Consulta: 10/04/2012.

2.3. Presiones residuales

La presión residual, es aquella presión óptima, la cual debe vencer el sistema de bombeo para poder mandar el agua hasta un punto deseado, el cual es considerado hidráulicamente como el mas desfavorable.

$$1\text{psi} = 2,31\text{ft} = 0,7041\text{ m}$$

En los puntos de consumo la presión residual (presión mínima) deberá ser: 4,27 libras por pulgada cuadrada.

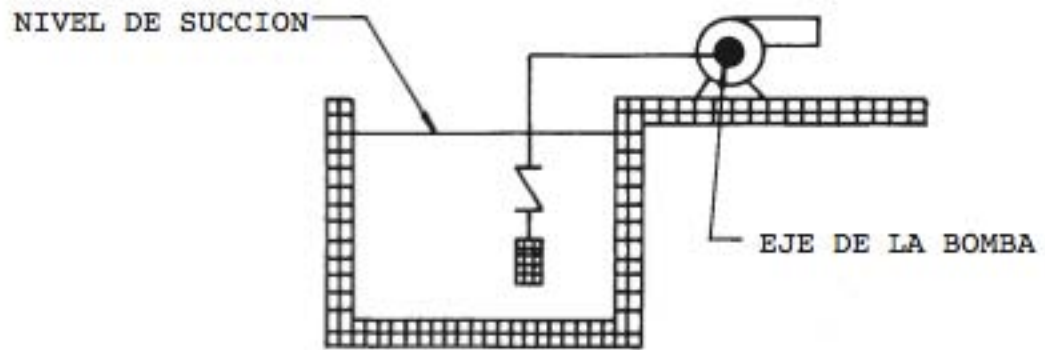
2.4. Carga o altura dinámica total de bombeo (CDT)

La Carga Dinámica Total de bombeo representa todos los obstáculos que tendrá que vencer un líquido impulsado por una máquina (expresados en metros de columna del mismo) para poder llegar hasta el punto específico considerado como la toma mas desfavorable.

2.4.1. Cálculo de CDT (Carga Dinámica Total)

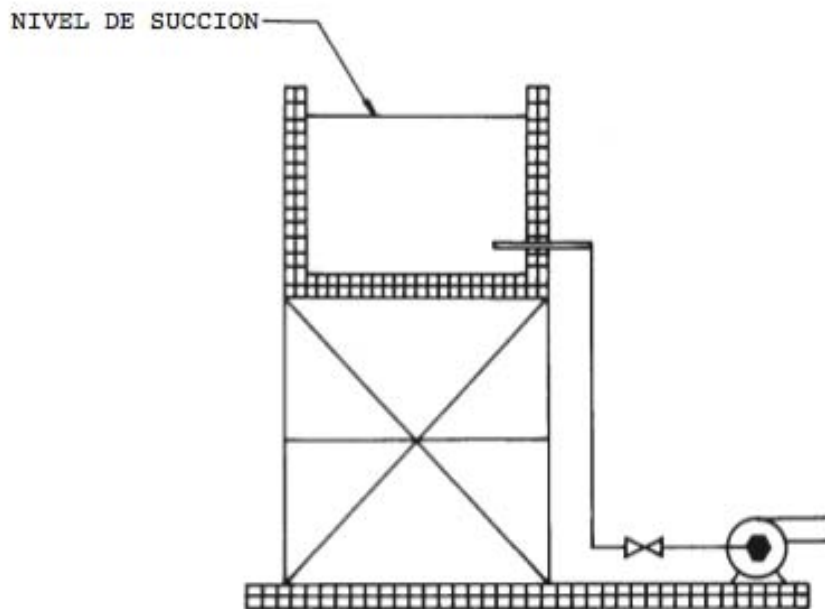
La expresión de la ecuación la CDT se ve modificada en función de la configuración de la red y del tipo de succión positiva o negativa (si el nivel del líquido se encuentra por encima o por debajo respectivamente del eje de la bomba) a la cual estará sometida la bomba. En las figuras 11 y 12 se muestran ambos casos. En la medida de lo posible es conveniente colocar la bomba con succión positiva, ya que así se mantiene la misma llena de fluido, a la vez que se le disminuye el CDT, debido a la presión adicional agregada por la altura del líquido.

Figura 11. **Succión negativa**



Fuente: Sistemas Hidroneumáticos de Centro América. Selección de equipos de bombeo. p. 73.

Figura 12. **Succión positiva**



Fuente: Sistemas Hidroneumáticos de Centro América. Selección de equipos de bombeo. p. 73.

La expresión para el cálculo de CDT proviene de la ecuación de Bernoulli.

$$\text{CDT} = h + \Sigma hf + \frac{V^2}{2 \cdot g} + h_r \quad (\text{m})$$

Donde:

h = Altura geométrica entre el nivel inferior y el superior del líquido.

Σhf = La sumatoria de todas las pérdidas (tanto en tubería recta como en accesorios) que sufre el nivel de succión y el de descarga.

$V^2/(2 \cdot g)$ = Energía cinética o presión dinámica.

h_r = Es la presión residual que debe vencer la bomba cuando el fluido llegue a su destino o punto mas desfavorable.

2.5. Dimensionamiento de las bombas y motores

La primera consideración al seleccionar el tamaño de las bombas, es el hecho de que deben ser capaces por si solas de abastecer la demanda máxima dentro de los rangos de presiones y caudales, existiendo siempre una bomba adicional para alternancia con la (s) otra (s) y para cubrir entre todas, por lo menos el 140 por ciento de la demanda máxima probable.

2.5.1. Número de bombas y caudal de bombeo

En el caso de viviendas unifamiliares sólo es requerido el uso de una bomba; en cualquier otro tipo de edificaciones deben seleccionarse dos o mas unidades de bombeo.

Ya que se debe dejar una unidad de bombeo de reserva para la alternancia y para confrontar caudales de demanda super-pico, se deberá usar el siguiente criterio:

La suma total de los caudales de las unidades de bombeo utilizados no será nunca menor del 140 por ciento del caudal máximo probable calculado en la red.

2.5.2. Potencia requerida por la bomba y el motor

La potencia de la bomba para un sistema hidroneumático, representa la potencia requerida por la bomba para transferir líquidos de un punto a otro y la energía requerida para vencer sus pérdidas. Podrá calcularse por la fórmula siguiente:

$$\text{Pot} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_T}{75 \cdot \frac{n}{100}} \quad (\text{CV})$$

Donde:

Pot = Potencia de la bomba en caballos de vapor.

1 CV = 0,985923257373 HP

1 HP = 1,014277726508357 CV

γ = Densidad del agua 1 000 kg/m³

Q = Caudal en m³/s

H_T = C.D.T. (Carga dinámica total) m

n = Eficiencia de la bomba

- Bombas chicas ¾" a 2" de succión = 30 – 50%.
- Bombas medianas 2" a 6" de succión = 50 – 75%.
- Bombas grandes 6" o mayores = 75 – 80%.

Las bombas deben seleccionarse para trabajar contra una carga por lo menos igual a la presión máxima en el tanque hidroneumático.

2.6. Sistema hidroneumático

Los sistemas hidroneumáticos se basan en el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando es sometido a presión.

El Sistema deberá estar construido y dotado de los componentes que se indican previamente en el capítulo 1.

2.6.1. Presiones de operación del sistema hidroneumático

Todo sistema hidroneumático debe poseer una presión mínima y máxima de operación, la cual rige el arranque y paro de la bomba, dicho rango influencia en el tanque y el presostato.

2.6.1.1. Presión mínima

La presión mínima de operación P_{min} del cilindro en el sistema hidroneumático deberá ser tal que garantice en todo momento, la presión requerida (presión residual) en la toma mas desfavorable, podrá ser determinada por la fórmula siguiente:

$$P_{min} = h + \Sigma hf + \frac{V^2}{2 \cdot g} + h_r \quad (\text{psi})$$

Donde:

h = Altura geométrica entre el nivel inferior y el nivel superior del líquido.

Σhf = La sumatoria de todas las pérdidas (tanto en tubería recta como accesorios) que sufre el fluido desde la descarga del tanque hasta la toma más desfavorable.

$V^2/(2 \cdot g)$ = Energía cinética o presión dinámica.

h_r = Presión residual

2.6.1.2. Presión diferencial y máxima

Algunos manuales recomiendan que la presión diferencial, no sea inferior a 14 metros de columna de agua (20 libras por pulgada cuadrada). Sin embargo, no fija un límite máximo que se pueda utilizar, por lo que hay que tener en cuenta que al aumentar el diferencial de presión, aumenta la relación de eficiencia del cilindro considerablemente y por lo tanto reduce en tamaño final del mismo; pero aumentar demasiado el diferencial puede ocasionar inconvenientes, pequeños, tales como un mayor espesor de la lámina del tanque, elevando así su costo y obligando a la utilización de bombas de mayor potencia para vencer la presión máxima, o graves, tales como fugas en las piezas sanitarias y acortamiento de su vida útil. La elección de la Presión Máxima se prefiere dejar al criterio del proyectista.

2.6.2. Dimensionamiento del tanque a presión

El dimensionamiento del tanque a presión, se efectúa tomando como parámetros de cálculo el caudal de bombeo (Q_b), la potencia de la bomba en (kilowatts), y las presiones de operación, el procedimiento es resumido en tres pasos, cada uno con su respectiva fórmula:

- Determinación del volumen útil del tanque (V_u).

Es el volumen utilizable del volumen total del tanque y representa la cantidad de agua a suministrar entre la presión máxima y la presión mínima.

Para ello se debe haber calculado el valor de caudal máximo (Q máx) que consume (en litros por minuto) y la potencia de la electrobomba a utilizar. Al multiplicar el valor Q máx por el valor K que se ve en la tabla VII, se obtiene el Vu volumen útil.

$$Vu = Q_{\text{máx}} * K \quad (l)$$

Tabla VII. **Coefficiente K de volumen útil**

P (Kw)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
K	0,25	0,33	0,42	0,5	0,58	0,66	0,83	1,00

Fuente: Sabatini bombas & mecanizados. Tanques hidroneumáticos. p. 7.

Aquí se logra un primer valor que refiere a la cantidad de agua que podrá consumir la instalación sin necesidad que arranque la electrobomba. Este valor podrá ser modificado u obtenerlo por otros cálculos en caso de que se hable por ejemplo de un equipo de presurización que alimenta una máquina envasadora u otra necesidad.

- Cálculo del porcentaje del volumen útil (% Vu)

Representa la relación entre el volumen utilizable y el volumen total del tanque y se podrá calcular a través de la siguiente ecuación:

$$\%Vu = 90 * \frac{(P_{\text{máx}} - P_{\text{min}})}{P_{\text{máx}}} \quad (\%)$$

Donde:

$P_{\text{máx}}$ = Presión máxima del sistema.

$P_{\text{mín}}$ = Presión mínima del sistema.

Nota : Tanto la $P_{\text{máx}}$ como la $P_{\text{mín}}$ serán dados como presiones absolutas.

- Cálculo del volumen del tanque (V_t).

Ahora para saber cual es el volumen total (V_T) del tanque a utilizar, se debe tener preestablecidos los siguientes valores:

- Volumen Útil
- Porcentaje de volumen útil

$$V_t = \frac{V_u}{(\%V_u)/100} \quad (I)$$

3. FORMULACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPO

3.1. Requisitos principales de selección en las bombas

Para realizar eficientemente un proceso de selección y cotización de una bomba es necesario indicar en las especificaciones técnicas los siguientes elementos:

3.1.1. Marca

La marca de la bomba y el tanque hidroneumático, es un aspecto muy importante de seleccionar ya que rige la calidad del equipo y la disposición de repuestos en el mercado.

3.1.2. Modelo

El modelo será esencial para la adquisición de repuestos o el reemplazo de la bomba. Cuando se reemplaza la bomba es posible que el motor se encuentre en buen estado y no necesite reemplazo por lo que se requiere que la bomba que se pueda acoplar con el motor que está en buen estado.

3.1.3. Diámetro de succión

Algunas bombas se instalan con reductor excéntrico en el lado de succión, por lo que se debe verificar que el diámetro de succión sea compatible con el diámetro de la tubería instalada.

3.1.4. Diámetro de descarga

Indica el diámetro que debe tener la bomba en el lado de descarga, para que sea compatible con la tubería que se ha instalado. En algunos casos será necesaria la instalación de bridas para la conexión con la tubería de descarga.

3.1.5. Capacidad

Se refiere al caudal que puede entregar la bomba, indicado en metros cúbicos por minuto o en galones por minuto (GPM); este dato se hace esencial para cumplir con los requisitos de caudal de la instalación.

3.1.5.1. Capacidad del tanque hidroneumático

Es la cantidad de agua a suministrar en la red entre la presión máxima y la presión mínima. Expresado en galones.

Las capacidades disponibles en tanques hidroneumáticos se encuentran relacionados a las marcas de los mismos.

En tanques hidroneumáticos dispone de capacidades de: 19, 20, 30, 35, 40, 47, 50, 62, 85, 87, 119 y 120 galones.

3.1.6. Potencia

Es medida en caballos de fuerza y sirve para seleccionar la capacidad del motor, ya sea eléctrico o de combustión interna, así como para estimar el consumo eléctrico o de combustible según sea el caso.

3.1.7. Cabeza de bomba

La energía proporcionada por una bomba a un sistema, se expresa como la cabeza equivalente del líquido que está siendo bombeado y se conoce como la cabeza total de la bomba. Esta se mide en metros, o pies y sirve para determinar la capacidad de carga de la bomba.

3.1.8. Eficiencia del motor eléctrico

El consumo eléctrico es un factor importante para la selección del motor. Se debe de verificar el consumo en amperios que tengan distintas casa comerciales para motores de la misma potencia. Un motor en apariencia barato puede usar alambre de mala calidad en sus devanados, por lo que es importante analizar cuál será el consumo en operación que tendrán los motores.

3.1.9. Garantía

Es la garantía que el proveedor extiende de acuerdo al tipo de servicio para el que se requiere a la bomba, también depende del valor del equipo y la calidad de sus elementos y/o componentes.

3.2. Selección de equipo

Para realizar un proceso de selección calificado es necesario poseer un ejemplo como guía, en el cual se logren minimizar los márgenes de error al momento de clasificar el equipo que mas se adapte a las necesidades tanto físicas como económicas.

En la mayoría de casos las bombas hidroneumáticas son mayormente instaladas para uso residencial, no obstante en ningún momento se descarta la utilización de esta clase de equipo con finalidad industrial. Siendo los industriales, de uso muy variable y algunas veces tan prolongado como los residenciales.

El planteado para uso residencial es el siguiente: se tiene un edificio de cinco (5) pisos, en cada piso existen cuatro (4) apartamentos, en cada apartamento hay dos (2) dormitorios, se requiere seleccionar la bomba hidroneumática mas adecuada para posteriormente instalar en dicho edificio, se tiene como datos los siguiente:

- La altura estática (h) es de 20 metros.
- Los tubos son de acero cédula 40, por donde circula agua limpia, tomada de un tanque bajo.
- La tubería de succión tiene 3 metros de longitud y un diámetro de 1 ½ pulgada equipada con 1 codo radio largo y 1 válvula de pie.
- La tubería de descarga tiene 55 metros de longitud y un diámetro de 1 pulgada (en caso de ignorar el diámetro de la tubería, se explicará su cálculo), contiene 6 codos de 90 grados de radio corto, 5 tee roscadas, 2 válvulas de compuerta, 1 válvula *check* roscada.

3.2.1. Capacidad de la bomba

Determinar la capacidad de la bomba, es estimar la cantidad de caudal necesario, estipulando con anterioridad el propósito del equipo, ya sea doméstico, industrial comercial, público y contra incendio.

También es importante conocer el consumo promedio diario y el máximo probable de agua de una red.

Para definir el consumo de agua, los métodos principales, comúnmente utilizados son: método de dotaciones, método del número total de piezas servidas y el método de Hunter; todos ellos detallados con anterioridad en el capítulo 2.

3.2.1.1. Determinación de la demanda (caudal)

Para la determinación de la demanda existen 3 métodos importantes, siendo el mas fácil y simple de utilizar el método de dotaciones.

Para este caso se tiene como dato de entrada el número de habitaciones de cada unidad de vivienda $N = 2$, estimando que en cada habitación convivan 2 personas como máximo, siendo una dotación de 250 – 300 litros/habitante/día según la tabla I. El cálculo de la demanda para esta vivienda seria:

$2 \text{ personas} * 100 \text{ litros/habitante/ día} * 2 \text{ habitaciones} = 400 \text{ Litros/día}$,
por apartamento.

$4 \text{ apartamentos} * 400 \text{ litros/día/apartamento} * 5 \text{ pisos} = 8 \text{ 000 litros/día}$.

El coeficiente K en este caso sería de 10 ya que el consumo es menor de 50 000 litros/día.

Según la fórmula del método de dotaciones sería:

$$Q_d = \frac{(8\ 000) \cdot (10)}{86\ 400} = 0,926 \text{ l/s}$$

0,926 litros/segundo = 55,560 litros/min = 14,677 Gal/min =
0,000967 m³/segundo

3.2.2. Cálculo de la carga total de la bomba (H)

Para calcular la altura total de la bomba, es necesario conocer todos los obstáculos en la red hidráulica, es por ello que se debe de dominar todas las pérdidas por fricción en la tubería, tanto en succión como en descarga.

3.2.2.1. Cálculo de las pérdidas totales en la succión (h_{fs})

Como parte fundamental para el cálculo de la altura total de bombeo, es necesario el cálculo de las pérdidas en la tubería de succión. Para este cálculo se necesitan los siguientes datos:

- Diámetro nominal de la tubería de succión = 1 ½ pulgadas.
- Tubería de acero cédula 40
- Longitud de la tubería de succión (L_s) = 3m = 9,84 pies

- Número y tipo de accesorio en la tubería de succión = 1 codo radio largo y 1 válvula de pie.

Se procede a calcular las pérdidas en tramos de tubería recta (h_f) con la ayuda de la ecuación de Hazen Williams (inciso 2.2.4.1) y la tabla V.

$$h_{fs} = \frac{10,643 * (0,000926 \text{ m}^3/\text{s})^{1,85} * (3 \text{ m})}{(125)^{1,85} * (0,0381 \text{ m})^{4,87}} = 0,08395 \text{ m}$$

Ahora se procede a calcular las pérdidas por fricción en accesorios con ayuda de la tabla VI.

Como son un codo de radio largo y una válvula de pie ambos de diámetro de 1 ½, entonces la longitud equivalente (L_e) es: 0,9 metros. y 11,6 metros. respectivamente.

Luego se calcula la longitud total equivalente de succión (h_{ts}),

$$h_{ts} = (\text{pérdida en tubería recta } h_{fs}) + (\text{pérdidas en accesorios } h_l)$$

Longitud equivalente de succión

$$(h_{ts}) = 0,08395 \text{ m} + 12,5 \text{ m} = 12,584 \text{ m}$$

3.2.2.2. Cálculo de las pérdidas totales en la descarga

Siendo prácticamente toda la red hidráulica la tubería de descarga, es necesario conocer las pérdidas en dicho tramo, en tubería recta y accesorios. Para este cálculo se necesitan los siguientes datos:

- Diámetro nominal de la tubería de descarga = 1
- Tubería de acero cédula 40
- Longitud de la tubería de descarga (L_d) = 55 m
- Número y tipo de accesorios en la tubería de descarga = 6 codos 90° radio corto, 8 tee, 2 válvulas de compuerta, 1 válvula *check*.

Se procede a calcular las pérdidas en tramos de tubería recta (h_f), con ayuda de la ecuación de Hazen Williams (inciso 2.2.4.1) y la tabla V, por lo tanto:

$$h_{fd} = \frac{10,643 * (0,000926 \text{ m}^3/\text{s})^{1,85} * (55 \text{ m})}{(125)^{1,85} * (0,0254 \text{ m})^{4,87}} = 11,087 \text{ m}$$

Ahora se procede a calcular las pérdidas por fricción en accesorios con ayuda de la tabla VI. A continuación se muestran los valores de longitud equivalente (Le), para cada accesorio de la tubería de descarga:

- Codo de 90° radio corto $Le = 0,8 \text{ m} * 6 \text{ codos} = 4,8 \text{ m}$

- Tee roscada $Le = 0,5 \text{ m} * 5 \text{ Tee} = 2,5 \text{ m}$
- Válvula de compuerta $Le = 0,2 \text{ m} * 2 \text{ válvulas de compuerta} = 0,4 \text{ m}$
- Válvula de *check* $Le = 2,1 \text{ m}$

Luego se calcula la longitud total equivalente de descarga (L_d).

$L_d = (\text{pérdida en tubería recta } h_{fd}) + (\text{pérdidas en accesorios } h_l)$

$$L_d = 11,087 \text{ m} + 4,8 \text{ m} + 2,5 \text{ m} + 0,4 \text{ m} + 2,1 \text{ m}$$

Longitud equivalente de descarga (L_d) = 20,887 m

3.2.2.2.1. Cálculo del diámetro de descarga

Existen casos en los cuales el diámetro de la tubería de descarga se desconoce, en cuanto a la tubería de succión de la bomba va ligado a la misma, ya que no es recomendable modificar dicho diámetro.

Para la determinación del diámetro de la tubería se procede a utilizar la ecuación del inciso 2.2.1.1, y la tabla IV.

Para este cálculo se necesitan los siguientes datos:

- Caudal m^3/s

- Velocidad del agua en la tubería m/s; ver tabla IV

$$D = \sqrt{\frac{4 * (0,000926 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi * (2 \text{ m/s})}} = 0,0243 \text{ m}$$

En este caso la ecuación dio como resultado un diámetro de 0,0243 metros siendo aproximadamente 1 pulgada.

3.2.2.3. Cálculo de la energía cinética o presión dinámica

Es el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada, desde el reposo hasta la velocidad indicada. Para calcular este término se usará la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde la velocidad en la descarga (V), se obtendrá a partir de la tabla IV, o en su efecto, a partir de la ecuación para determinar el diámetro.

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería

Q = Caudal del fluido

V = Velocidad del fluido

$$\pi = \pi = 3,14159265$$

$$V = \frac{4 \cdot 0,000926 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot (0,0254 \text{ m})^2} = 1,83 \text{ m/s}$$

Ahora se sustituye el valor de la velocidad de descarga en la ecuación de la energía cinética o presión dinámica.

$$E_c = \frac{(1,83 \text{ m}^2/\text{s})^2}{2 \cdot (9,81 \text{ m}^2/\text{s})} = 0,171 \text{ m}$$

3.2.2.4. Presión residual

La presión residual es considerado hidráulicamente como el punto mas desfavorable en la instalación, como es una instalación residencial existe la posibilidad de la instalación de un calentador.

En este caso la presión residual es de 3 metros de columna de agua.

3.2.2.5. Cálculo de CDT (Carga Dinámica Total de bombeo)

Luego de haber realizado los pasos anteriores se procede al cálculo de la carga total de la bomba, la cual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$CDT = h + \sum hf + \frac{V^2}{2 \cdot g} + h_r$$

Sustituyendo:

$$CDT = (20 \text{ m}) + (12,584 \text{ m} + 20,887 \text{ m}) + 0,171 \text{ m} + 3 \text{ m} = 56,642 \text{ m}$$

3.2.3. Cálculo de la potencia requerida por la bomba

Representa la potencia requerida por la bomba. Para calcular la potencia del motor se usará la ecuación del inciso 2.5.2, el caudal y la Carga Dinámica Total (CDT), por lo tanto:

$$Pot = \frac{\gamma * Q * H_T}{75 * \frac{n}{100}}$$

Sustituyendo:

$$Pot = \frac{(1,000 \text{ kg/m}^3)(0,000926 \text{ m}^3/\text{s}) * (56,642 \text{ m})}{75 * 0,40} = 1,75 \text{ CV} = 1,72 \text{ HP}$$

Como el resultado fue de 1,72 caballos de fuerza, la bomba a seleccionar debe de ser como mínimo de 2 caballos de fuerza.

3.2.4. Seleccionar la bomba

Para seleccionar la bomba que abastece el tanque hidroneumático dos factores previamente calculados, el caudal y la carga o presión requerida a la que también se conoce como altura total de bombeo. Con estos elementos es posible interactuar con las gráficas que el fabricante ofrece para la selección de sus equipos. Para este caso particular se tiene que:

- Gasto ($Q = 0,926 \text{ l/s} = 14,677 \text{ galones por minuto}$).
- En este caso la carga o presión requerida será el CDT el cual equivale a 56,64 metros.

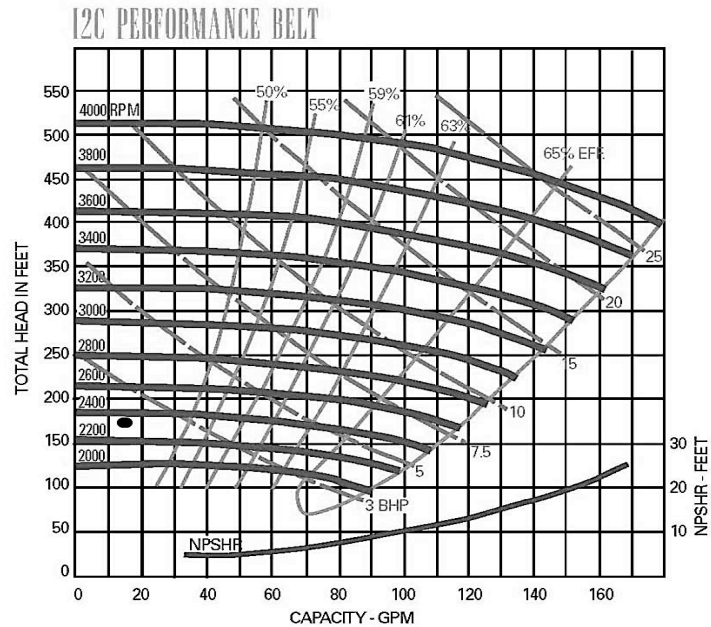
Al analizar las curvas de rendimiento de las bombas disponibles, la que mejor se adapta a este sistema es una bomba de 3 caballos de fuerza. La figura 13 ilustra la curva de rendimiento particular de la bomba.

El punto en la gráfica representa los requerimientos de nuestro sistema, sin embargo, es recomendable ajustar el sistema a los valores asignados que proporcionan los fabricantes para sus equipos, ya que dichos valores son comprobados por ellos para una mayor eficiencia en el sistema que se empleen.

Las características de la bomba seleccionada son:

Motobomba centrífuga horizontal I2C con un acondicionamiento directo 2 x 1 ½ pulgada (succión y descarga). Con una potencia de 3 caballos de fuerza a 2 400 revoluciones por minuto.

Figura 13. **Curva de rendimiento, bomba seleccionada**



Fuente: <http://www.femyers.com/>. 20/05/2012.

3.3. **Cálculo de tanque hidroneumático**

El cálculo y selección de un tanque hidroneumático involucra los siguientes puntos:

- Determinación del gasto de diseño Q.
- Determinación de las presiones máxima y mínima requeridas en el tanque.
- Selección conveniente del tamaño del tanque, así como el establecimiento de los niveles superior e inferior de operación.

3.3.1. Cálculos de presiones de operación

Todos los fabricantes otorgan a sus bombas un valor denominado presión máxima de trabajo, algunos incluyen las presiones de rotura o la presión máxima intermitente, y otros adjuntan la gráfica de presión/vida de sus bombas.

3.3.1.1. Presión mínima (encendido)

Es la presión mínima de operación en el sistema hidroneumático, siendo la que indica cuando debe accionarse la bomba, su valor es definido en la fórmula del inciso 2.6.1.1.

$$P_{\text{mín}} = h + \Sigma hf + \frac{V^2}{2 \cdot g} + h_r$$

sustituyendo:

$$P_{\text{mín}} = 20 \text{ m} + 20,887 \text{ m} + 0,171 \text{ m} + 3 \text{ m} = 44,058 \text{ m} \cong 62,66 \text{ psi}$$

3.3.1.2. Presión máxima (corte)

Es la presión a la que se desconecta la bomba, su valor se define a partir de la suma $P_{\text{mín}} + 20$ libras por pulgada cuadrada. Este último valor depende de los tipos de consumo a utilizar (grifos, duchas, etc).

$$P_{\text{máx}} = 62,66 \text{ psi} + 20 \text{ psi} = 82,66 \text{ psi}$$

3.3.1.3. Presión de precarga

La presión de precarga de aire se instituye a $P_{\text{mín}}$ menos 2 libras por pulgada cuadrada. Esto radica en que para asegurarse que al abrirse los consumos y bajar la presión en la instalación no quede una presión remanente que pudiera impedir que el sistema llegue a la presión de encendido ($P_{\text{mín}}$).

3.3.2. Cálculo de volumen útil (V_u)

Lo elemental de un tanque hidroneumático cuando se utiliza en presurización, es la cantidad de agua útil que acumula: volumen útil (V_U). Es decir el agua que acopia y que se puede obtener de él entre las presiones máximas (P_1) y mínima (P_2). Hay que diferenciar al volumen útil del volumen total de agua que reside en el tanque y del volumen total del tanque (V_T) compuesto de aire y agua.

Para el cálculo se debe de conocer el caudal máximo (Q_{max}) en litros por minuto, la potencia de la electrobomba en KW para conocer el valor K en la tabla VII.

$$V_u = Q_{\text{max}} * K$$

Sustituyendo:

$$V_u = 55,60 \text{ l/min} * 0,5 = 27,8 \text{ l}$$

3.3.3. Porcentaje de volumen útil (% Vu)

Para calcular la relación entre el volumen utilizable del tanque hidroneumático y el volumen total del mismo, es necesario conocer las presiones de operación, presión mínima y máxima del sistema.

$$\%Vu = 90 * \frac{(P_{\text{máx}} - P_{\text{min}})}{P_{\text{máx}}}$$

Sustituyendo:

$$\%Vu = 90 * \frac{(82,66 \text{ psi} - 62,66)}{82,66} = 21,78 \%$$

3.3.4. Cálculo de volumen total del tanque (Vt)

Ésta es la cantidad de agua que dispone el tanque entre la presión de encendido, es decir desde que la bomba se apagó y hasta que vuelva a trabajar.

Estos valores se conjugan en la siguiente fórmula.

$$Vt = \frac{Vu}{(\%Vu)/100}$$

Sustituyendo:

$$Vt = \frac{27,8 \text{ l}}{21,78 \% / 100} = 127,64 \text{ l} = 33,72 \text{ gal}$$

3.3.5. Selección del tanque hidroneumático

Al momento de seleccionar el tanque es recomendable optar por la misma marca de la bomba ya que ambos son diseñados para trabajar conjuntamente.

Las características del tanque seleccionado son:

Tanque hidroneumático con cuerpo de acero de alto calibre, membrana de una sola pieza en pvc. Con una capacidad de 35 galones, presión máxima de 100 libras por pulgada cuadrada y un diámetro de conexión de 1 ¼ pulgada.

4. INSTALACIÓN ADECUADA DEL EQUIPO

4.1. Normas para la instalación de bombas hidroneumáticas

El costo de instalar una bomba hidroneumática es un punto el cual no se debe de tomar a la ligera, por lo que es necesario verificar que se haga un adecuado montaje, tanto de el sistema eléctrico como las cajas de control sean instaladas adecuadamente.

4.2. Precauciones básicas

Al realizar la tarea de instalación se busca establecer parámetros de seguridad, tanto para el personal como para el cuidado del equipo, estas precauciones deben ser respetadas por el personal designado para la instalación.

4.2.1. Antes de la instalación

Antes de realizar la instalación es importante examinar cuidadosamente el equipo, para asegurarse de que ningún daño le haya ocurrido durante el transporte, para evitar averías futuras.

4.2.2. Inspección de las tuberías

Para evitar posibles fugas en el equipo hidroneumático, es recomendable realizar una inspección detallada en las uniones de cada uno de los accesorios que se va a ensamblar, tanto en la tubería de abastecimiento como de descarga.

Es importante utilizar tubería de diámetro mayor o igual al del orificio de succión de la bomba. Nunca de menor diámetro.

4.3. Consideraciones para la instalación

Es importante considerar ciertos parámetros antes de instalar un sistema de bomba hidroneumática, como por ejemplo el lugar donde se instalará debe cumplir con las siguientes características.

4.3.1. Ubicación

El equipo debe colocarse lo mas cerca posible del cisterna, tinaco u otro tipo de abastecimiento de agua.

El motor de la bomba debe quedar protegido de la lluvia directa. De preferencia, es recomendable que todo el quipo quede bajo techo, aislado de los rayos solares.

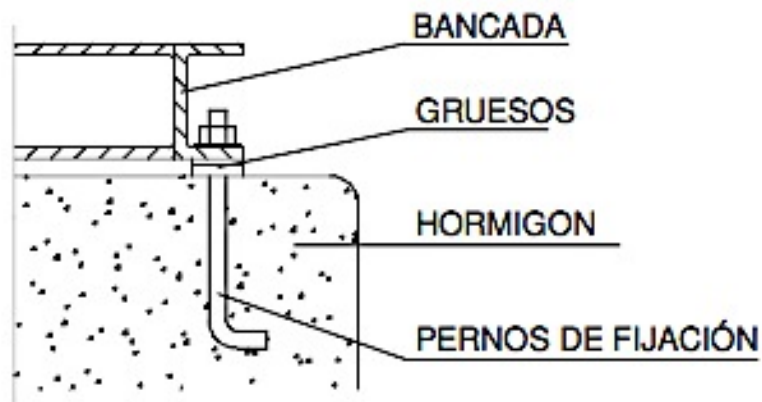
También es importante que debe existir espacio suficiente para la instalación y mantenimiento de la bomba, tanque y sus conexiones. Si las bombas se colocan en fosos, estos tienen que estar protegidos contra inundaciones.

4.3.2. Cimentación

Una bomba centrífuga requiere que tanto el motor, el acople y la bomba se mantenga alineados cuando son sometidos a carga (de trabajo). Es por ello que el lugar donde es instalada una bomba requiere que la cimentación pueda resistir esfuerzos debido a cargas estáticas, dinámicas, vibraciones y esfuerzos por dilatación térmica.

La carga estática es la que se origina debido al peso de la bomba, motor, y otros elementos que componen el mecanismo de bombeo. La carga dinámica es ocasionada por partes en movimiento de la bomba.

Figura 14. Cimentación



Fuente: Velásquez, José. Criterios de diseño de pozos de agua. p. 214.

4.3.3. Sistema eléctrico

La configuración de los elementos del sistema eléctrico que posee una bomba varía dependiendo del tipo de motor que tenga la bomba.

Para la instalación de la bomba es necesario verificar en la placa del motor que voltaje debe utilizar, que amperaje consume y como hacer las debidas conexiones.

4.4. Equipo requerido para la instalación

Ante la necesidad de reducir riesgos de accidentes y la posibilidad de daño al equipo, es indispensable que el personal posea tanto equipo de seguridad como herramienta necesaria para la instalación.

4.4.1. Equipo de seguridad

Para salvaguardar la seguridad del personal que realiza la instalación, es necesario poseer un equipo de seguridad, el cual debe ser utilizado en todo momento dentro del área de trabajo:

- Casco
- Gafas de seguridad (con protectores laterales)
- Zapatos protectores
- Guantes protectores
- Mascarilla
- Protección auditiva

4.4.2. Herramienta

Con el fin de facilitar la instalación del sistema hidroneumático, es necesario contar con la herramienta adecuada, la comúnmente utilizada para realizar este tipo de trabajo es:

- Juego de llaves inglesas
- Destornilladores
- Tarraja
- Corta tubos
- Llave inglesa ajustable
- Alicata de presión
- Llave de tubos

4.5. Instrumentación para bombas

Además de las bombas y los motores existen numerosos accesorios que son necesarios para un óptimo funcionamiento del conjunto motor bomba en particular, estos accesorios son de dos tipos o se pueden clasificar en dos clases, los de protección para el sistema y los que ayudan a obtener una buena eficacia del mismo; entre otros estos accesorios son; tuberías, válvulas de cierre, y control, dispositivos de seguridad, piezas especiales, codos, reducciones, sistemas de cebados de las bombas, aparatos o instrumentos de medida etc.

Tomando la bomba como el centro del sistema, se dividirá en dos tramos de la siguiente forma, el primer tramo del cual hablaremos será la succión y posteriormente la impulsión.

4.5.1. Tubería de succión

Con el fin de realizar una instalación profesional, es importante contar con la instrumentación adecuada en el tramo de succión. A continuación se mencionan los elementos más comunes que se necesitan en dicho tramo.

4.5.1.1. Reja o criba

Se requiere para evitar la entrada de materia extraña de diversos tamaños a la bomba. La selección de los tamaños de las aberturas de la malla es difícil de hacer; se debe proveer sin embargo un área total de agujeros mínimo de 2 1/2 veces la sección del tubo. Para facilitar el limpiado de ésta generalmente se recurre a diseños especiales que permitan el limpiado sin parar por largo tiempo el bombeo.

4.5.1.2. Válvula de pie o de zapata

Como su nombre lo indica estas válvulas van colocadas al pie de las instalaciones, esto es, en el extremo inferior de la tubería de succión y casi en contacto con el líquido.

Las válvulas de pie son las encargadas de impedir que se produzca el vaciado de la tubería de succión, fenómeno muy importante en los sistemas moto-bomba que no pueden funcionar si tienen dichas tuberías vacías. Cuando se para la bomba y las gavetas de la válvula se cierran, si éstas asientan perfectamente, el agua no puede drenarse regresando al poso de succión. En conclusión esta clase de bombas tiene como finalidad permitir el cebado de la bomba manteniendo llena ésta y la tubería después de parado el bombeo. Ver figura 8.

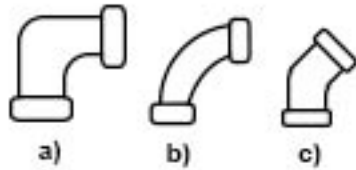
4.5.1.3. Codos

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas, tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías, existen de varios tipos y formas.

A continuación se muestran algunas clases de codos comúnmente utilizados.

Figura 15. **Codos comunes**

(a) Radio corto 90°; (b) Radio largo 90°; (c) Radio corto 45°;



Fuente: elaboración propia

4.5.1.4. **Reducciones**

Éstas tienen que ser excéntricas para evitar la formación de bolsas de aire. Siempre que sea posible, las reducciones tanto en la succión como en la impulsión deben instalarse directamente a las bridas de la bomba. Esto producirá mejor conversión de la velocidad y reducirá las pérdidas hidráulicas que pueden causar la conexión directa de válvulas y codos.

4.5.1.5. **Válvulas de cierre**

Es un accesorio que se utiliza para regular y controlar el fluido de una tubería. Este proceso puede ser desde cero (válvula totalmente cerrada), hasta de flujo (válvula totalmente abierta), y pasa por todas las posiciones intermedias, entre estos dos extremos. Los tipos de válvulas de cierre más utilizados en sistemas de bombeo son:

- De compuerta

Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Pueden ser de disco paralelos o de cuña sólida

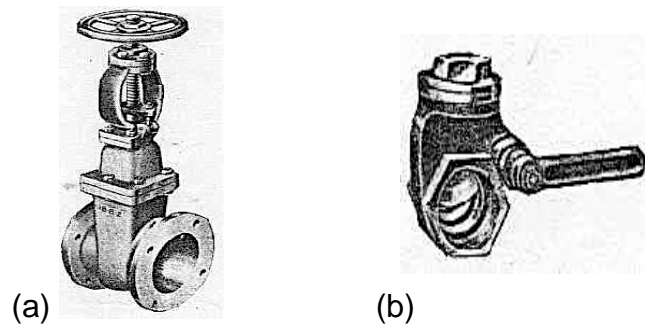
- De aguja o de descarga anular
- De mariposa
- Cilíndricas

Los modelos más comunes tienen carcasas de hierro fundido, siendo de bronce las partes internas sujetas a desgaste como los anillos de sello. Las válvulas pequeñas son accionadas por medio de un volante de maniobra. Algunas veces cuando la válvula queda abajo del piso se utilizan pedestales de maniobra con volante colocado en la prolongación del vástago.

En las grandes estaciones donde las tuberías son de diámetros muy grandes y las presiones pueden ser muy elevadas, la maniobra es hecha por un operador movido por motor eléctrico. En la figura 16 se muestran algunas clases de válvulas de cierre.

Figura 16. **Válvulas de cierre**

(a) Válvula de Compuerta (b) Válvula de acción rápida



Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/>. Consulta: 03/06/2012.

4.5.1.6. **Manómetros y Vacuómetros**

Cada bomba de una instalación de bombeo debería ser dotada de instrumentos destinados a indicar la presión de salida y la depresión o presión existente en la boca de entrada. Para este fin se emplean respectivamente el manómetro y el vacuómetro, los cuales están colocados directamente a la bomba en tomas apropiadas que ésta posee.

Una pequeña válvula permite retirar el instrumento o aislarlo cuando sea necesario. La lectura en este instrumento se hace en términos de presión, en el caso de que la bomba esté girando pero con la descarga cerrada, el manómetro indica la presión máxima desarrollada por la máquina. Si hubiera flujo, la indicación se referiría a la presión manométrica dinámica desarrollada por la bomba con el correspondiente caudal de descarga.

Los manómetros, vacuómetros y manovacuumetros usados en estaciones de bombeo son de tipo Bourdon; poseen internamente un anillo semicircular, hueco que se expande o se retrae a medida que aumenta o disminuye la presión en su interior. En la figura 17 y 18 se observan un manómetro y un manovacuumetro respectivamente.

Figura 17. **Manómetro**



Fuente: Gorman Rupp. Medida correcta del vacío y la presión de bombeo. p. 1.

Figura 18. **Manovacuumetro**



Fuente: Gorman Rupp. Medida correcta del vacío y la presión de bombeo. p. 2.

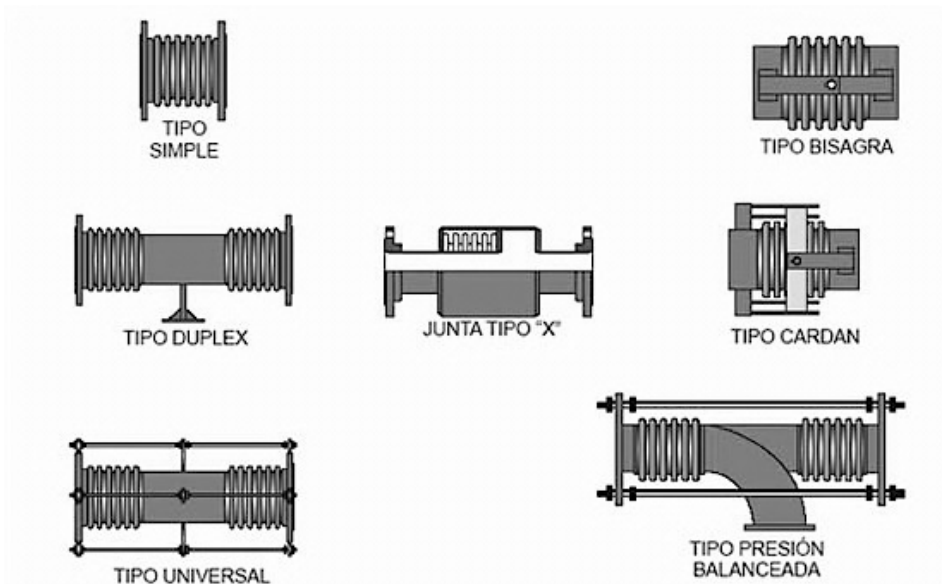
4.5.1.7. Medidor de nivel

En las estaciones mas completas, se pueden instalar indicadores del nivel del agua en el poso de succión y a veces en el tanque o depósito de llegada. Los aparatos usados para esto son los clásicos limnimetros o actualmente se utilizan sensores eléctricos.

4.5.1.8. Junta de expansión

Las juntas de expansión se usan algunas veces en las líneas de succión y descarga de las bombas centrífugas, para evitar que se transmita cualquier clase de esfuerzos de la tubería a la bomba, ya sea que estos esfuerzos sean por expansión al manejar líquidos calientes, desalineamiento de la tubería o cualquier otra causa. Algunas veces las juntas de expansión se forman doblando la tubería como es costumbre en las líneas de vapor. Mas frecuentemente las juntas de expansión son de tipo de deslizamiento o de diafragma corrugado (fuelle) eliminan los esfuerzos de la tubería pero generan un problema muy diferente o sea una reacción y un torque de la bomba en su sistema de cimentación. Ver figura 19.

Figura 19. Tipos de junta



Fuente: <http://www.comercioindustrial.net/>. Consulta: 07/06/2012.

4.5.1.9. Recomendaciones útiles en el tramo de succión

La tubería de succión es la parte primordial en el trabajo de la bomba, ya que es por donde el líquido ingresa a la bomba, si este tramo posee problemas el equipo puede dañarse. Es por ello que a continuación se detallan recomendaciones útiles para evitar daños a la bomba.

- La tubería de succión debe ser lo mas corta posible, exenta al máximo de singularidades, con pendiente positiva siempre (ascendente) aunque se toleran trechos horizontales.
- Nunca debe colocarse un codo en un plano horizontal directamente en la brida de admisión de la bomba.

- El diámetro comercial es generalmente inmediatamente superior al de la tubería de impulsión.
- Debe colocarse sólo los accesorios absolutamente necesarios. Se procura reducir al mínimo las necesidades en válvulas y piezas especiales.
- La altura máxima de succión, aumenta con las pérdidas de carga, debe satisfacer la especificación de los fabricantes de la bomba (NPSH).

4.5.2. Tubería de impulsión

Desde el punto de vista de la bomba, los factores más importantes en el diseño de tuberías de descarga son el tamaño del tubo, velocidad del líquido, longitud de la tubería, número y tipo de los accesorios y naturaleza general del diseño de la tubería. Este tramo del sistema comienza en la brida de descarga de la bomba.

Instrumentos de la tubería de succión.

4.5.2.1. Reducciones invertidas

No es más que un ensanchamiento, son concéntricas, ya no existe el problema de las bolsas de aire que podían presentarse en la succión. Siempre que sea posible deberá instalarse directamente a la brida de descarga de la bomba.

4.5.2.2. Válvulas de cheque

Son las encargadas de retener los fluidos por si solas, sin necesidad de manipular sobre ellas. Estas válvulas son también conocidas como válvulas automáticas, ya que sin necesidad de ayuda se encargan ellas mismas de abrir y cerrar el conducto, impidiendo por tanto el paso de un fluido en un momento dado.

Pueden montarse indistintamente en posición vertical u horizontal y su construcción es la mas sencilla de todas.

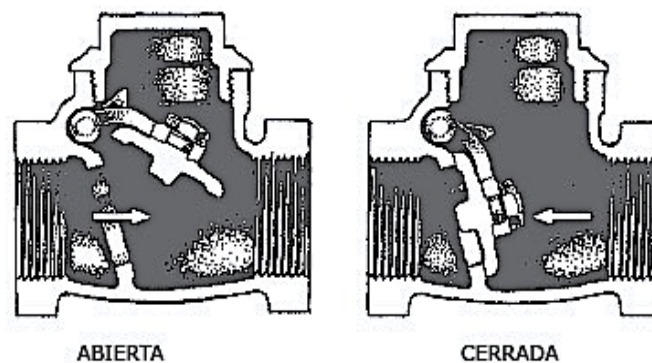
Los objetivos de su colocación en la impulsión pueden ser:

- Impedir la rotación inversa del conjunto para preservar el motor cuando éste no puede girar en sentido contrario sin sufrir daños o evitar la desconexión de los acoples roscados.
- Preservar la bomba de sobrepresiones por golpe de ariete.
- Permitir el uso de tuberías, válvulas y accesorios de baja presión en el lado de succión de la bomba.
- Impedir el vaciado de las líneas de impulsión y posibles inundaciones de la casa de bombas.

Es aconsejable instalar la válvula de cheque antes de la válvula de cierre, en el sentido del flujo, y en posición horizontal. Una de las razones para esto radica en las labores frecuentes de sostenimiento que esta válvula exige, y en caso de una instalación invertida se haría necesario el vaciado completo de la

línea de impulsión para dichas labores de sostenimiento. Estas válvulas como la válvula de cierre pueden venir equipadas con *By-pass* de diámetro reducido y compatible con el tamaño de la válvula, esto con el fin de posibilitar el retorno eventual de agua de la línea para el cebado de las bombas.

Figura 20. **Válvula de compuerta basculante**



Fuente: <http://www.tycoflowcontrol.es/>. Consulta: 03/07/2012.

4.5.2.3. Válvulas de descarga

Estas válvulas se colocan en la parte baja de la conducción su función es para vaciarla y limpiarla de posibles sedimentos que pueden haberse acumulado. Dependiendo de su tamaño podrán ser de operación manual, motorizada o de comando hidráulico.

4.5.2.4. Medidores de descarga

Estos se colocan normalmente en la línea de impulsión suficientemente lejos de la casa de bombas, para que las perturbaciones del flujo producidas

por codos y accesorios se hayan disipado y no alteren el significado de la medida. Generalmente estos equipos poseen un registro continuo de la descarga y un totalizador.

4.5.2.5. Codos y válvulas de cierre

Son elementos importantes en toda instalación hidráulica, ya sea en el tramo de succión o de impulsión. Los codos que son utilizados para cambiar la dirección del flujo, y las válvulas de cierre para regular y controlar el fluido en la tubería.

4.5.2.6. Tuberías

La instalación de las tuberías también precisa unas atenciones especiales que, de no tenerlas en cuenta, puede dañar considerablemente la instalación. Entre ellas se tienen, el peso de la tubería si ésta no está firmemente instalada, independiente mente del cuerpo de bomba puede dañar a ésta gravemente, igualmente pueden presentarse averías en las bombas, si la tubería está expuesta a vibraciones o otros fenómenos similares.

Los materiales utilizados para la construcción de las tuberías son hierro forjado, hierro fundido, acero estirado sin soldadura, pvc y cobre.

4.6. Instalación de la bomba, tubería de descarga

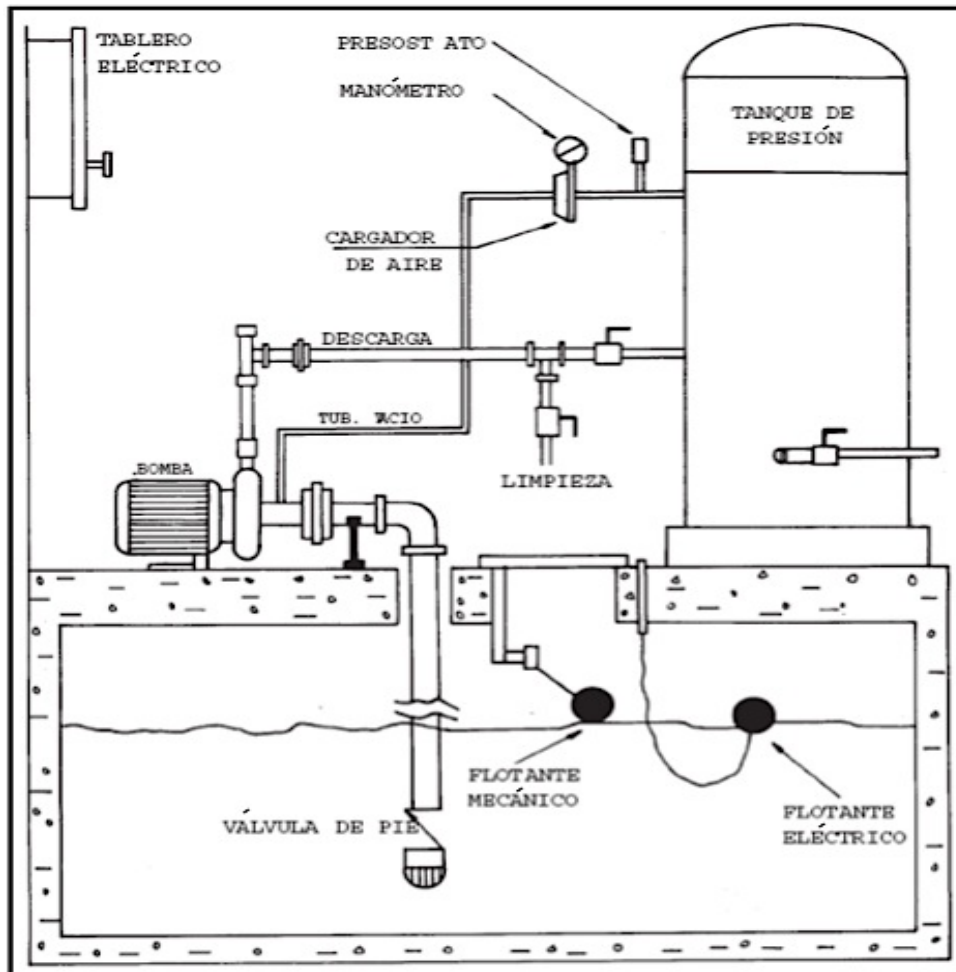
Al momento de realizar la instalación de la bomba con la tubería es importante tomar en cuenta ciertos puntos de suma importancia los cuales se describen a continuación:

- Para evitar posibles fugas en el equipo hidroneumático, se recomienda utilizar cinta de teflón (o pegamento para tubería de agua) en las roscas de cada uno de los accesorios que se van a ensamblar.
- El diámetro de la tubería debe ser el mismo que el diámetro de descarga de la bomba, es recomendable utilizar tubería nueva, de preferencia que sea de cobre para una máxima eficiencia y duración.
- Es de importante cuidado no enroscar demasiado las conexiones de tubos o niples que van en la succión y la descarga de la bomba (apretar a mano y luego, con herramienta 1 ½ vuelta mas).
- El tanque hidroneumático debe ser colocado en el lugar que haya sido destinado y a nivel requerido. Éste se debe localizar lo mas cerca posible del interruptor de presión para reducir las diferencias de pérdidas por fricción, elevación y falsas señales.
- Generalmente los problemas posteriores son ocasionados por una mala conexión de la tubería, es de suma importancia ser cuidadoso al realizarlas.

4.6.1. Diagrama de instalación

La siguiente figura muestra la instalación correcta de una bomba hidroneumática. (Se deben respetar todos los accesorios tanto en el tramo de succión como en el de impulsión, y su orden de instalación):

Figura 21. Diagrama de instalación básico



Fuente: elaboración propia, con programa Photoshop.

4.7. Conexiones eléctricas

La configuración de los elementos del sistema eléctrico que posee una bomba varía dependiendo del tipo de motor que tenga la bomba dentro de los dispositivos que puede tener el sistema eléctrico están los interruptores, fusibles, capacitores, protectores térmicos (guarda motores), relés y contactores.

4.7.1. Cables y protecciones para el motor

Para que el motor de la bomba funcione de manera óptima y sin riesgo de dañarse, debe utilizarse cable adecuado al amperaje del motor (monofásico/ bifásico / trifásico) para hacer la conexión al sistema.

En la tabla VIII se detalla la información necesaria para el tipo de cable y protecciones del motor.

Tabla VIII. **Cables y protecciones para motor**

Motores monofásicos								
Voltaje de operación	Desde 115 hasta 127 V							
Capacidad del motor (HP)	0,25	0,3	0,5	0,75	1	1,5	2	3
Corriente a plena carga (AMPS)	5,8	7,2	9,8	13,8	16	20	24	34
Capacidad del interruptor (AMPS)	15	15	20	30	30	40	50	70
Calibre mínimo del cable AWG a 20 mts.	14	14	12	10	10	8	8	8
Voltaje de operación	Desde 220 hasta 230 V							
Capacidad del motor (HP)	0,25	0,3	0,5	0,75	1	1,5	2	3
Corriente a plena carga (AMPS)	2,9	3,6	4,9	6,9	8	10	12	17
Capacidad del interruptor (AMPS)	15	15	15	15	15	20	30	40
Calibre mínimo del cable AWG a 20 mts.	14	14	14	14	14	12	10	8

Continuación de la tabla VIII .

Motores Trifásicos										
Voltaje de operación	Desde 220 hasta 230 V									
Capacidad del motor (HP)	2	3	5	7,5	10	15	20	25	30	40
Corriente a plena carga (AMPS)	6,2	8,4	13,6	20	27	44	56	64	78	100
Capacidad del interruptor (AMPS)	15	15	20	30	40	70	100	100	125	175
Calibre mínimo del cable AWG a 20 mts.	14	14	12	12	10	8	6	6	4	3
Voltaje de operación	Desde 440 hasta 460 V									
Capacidad del motor (HP)	2	3	5	7,5	10	15	20	25	30	40
Corriente a plena carga (AMPS)	3,1	4,2	6,8	10	13,5	22	28	32	39	51
Capacidad del interruptor (AMPS)	15	15	15	15	20	30	40	50	50	100
Calibre mínimo del cable AWG a 20 mts.	14	14	14	14	14	12	10	8	8	6

Fuente: hidroneumáticos Evans. Manual de propietario p. 3.

Las especificaciones de cada motor pueden variar con la marca. Es necesario verificar la palca del motor.

4.7.2. Verificación del voltaje

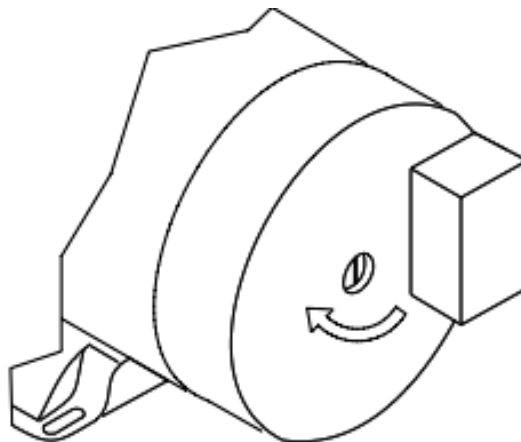
Una vez hecha la conexión a la toma, con mucho cuidado, se debe verificar que el voltaje que aparece en las puntas que conectan a la motobomba, sea el voltaje necesario para su operación. El calibre del conductor debe ser adecuado para evitar una caída de tensión, si es diferente es importante

corregirlo, aumentando el calibre del cable, cuando la distancia de la toma al lugar de operación sea demasiado grande, (mayor de 20 metros.) Su carga de voltaje no debe ser mayor de y/o menor a un 5 por ciento.

4.7.3. Sentido de rotación

Si el motor de la bomba es trifásico, es indispensable verificar que el sentido de rotación sea correcto(al contrario del reloj, visto de frente o a favor del reloj visto por detrás). Si no es así, para solucionarlo se intercambian dos líneas de alimentación. En motores monofásicos la rotación es fija.

Figura 22. **Sentido de rotación**



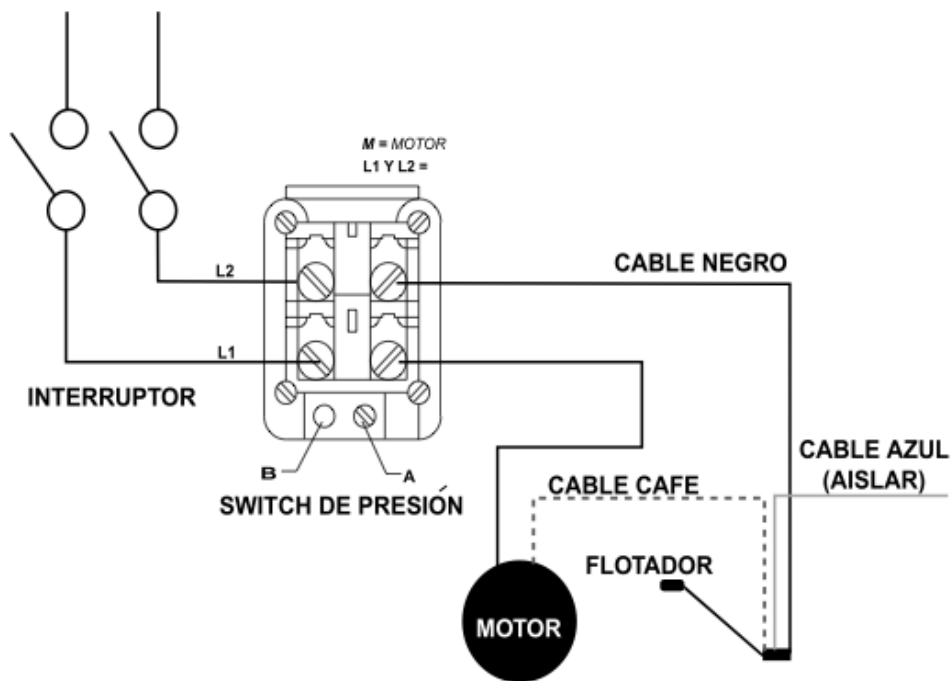
Fuente: Barmesa. Manual de instalación, operación y mantenimiento. p. 15.

4.7.4. Instalación del *switch* de presión (presostato)

El equipo viene de fábrica totalmente cableado, tanto bombas como presostatos. Por lo tanto, simplemente hay que realizar la conexión a la red eléctrica.

Para la correcta conexión del *switch* de presión es importante seguir un esquema el cual indique la forma precisa de conectar.

Figura 23. **Esquema eléctrico *switch* de presión (presostato)**



Fuente: elaboración propia, con programa Photoshop.

4.7.5. **Calibración del *switch* de presión (presostato)**

El presostato de regulación de parada y puesta en marcha de la bomba, viene ajustado de fábrica; no obstante, si hubiera que regularlo, habría que seguir el siguiente criterio:

- La presión de arranque como mínimo deberá ser la suma de la altura del edificio mas 20 mca. (metro de columna de agua) donde: 1 mca = 1,42

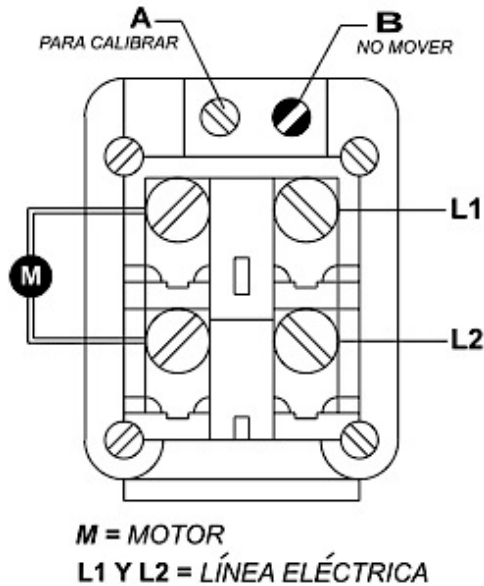
libra por pulgada cuadrada. Ejemplo: en un edificio de 10 metros de altura (10 m + 20 mca = 30 m), por tanto, se debe regular el presostato en su presión mínima 43 libras por pulgada cuadrada. La presión de parada deberá regularse con un diferencial de 20 libras por pulgada cuadrada respecto a la de arranque, es decir, a 63 libras por pulgada cuadrada.

- La presión de arranque siempre debe ser superior a la presión mínima de trabajo de la bomba instalada. La presión de parada no debe superar el punto máximo de la curva de presión de la bomba, salvo que la presión disponible en la aspiración se considere que siempre va a ser la misma; en tal caso, se puede ajustar a un valor superior.

4.7.5.1. Ajuste del rango de presiones

Para aumentar la presión de arranque o paro, gire el tornillo A en dirección del sentido del reloj; gire en sentido contrario para disminuir. No mover el tornillo B para no alterar el diferencial de arranque y paro. Ver figura 24.

Figura 24. **Calibración del *switch* de presión (presostato)**



Fuente: Hidroneumáticos Evans. Manual de propietario p. 4.

4.7.5.2. **Calibración de la precarga del tanque**

Al realizar la calibración de la precarga el tanque debe encontrarse vacío sin agua en el interior (antes de poner a trabajar).

Para revisar la precarga del tanque se realiza con un medidor adecuado de presión. La presión en el tanque debe ser 2 libras por pulgada cuadrada menor a la presión de arranque del sistema, de lo contrario, se añade o libera según sea necesario.

No es recomendable una precarga mayor a 70 libras por pulgada cuadrada en los tanques.

4.8. Cebado de la bomba

Para el correcto funcionamiento de las bombas se necesita que estén llenas de fluido incompresible, es decir, de agua, pues en el caso estar llenas de fluido compresible (aire) no funcionarían correctamente.

El cebado de la bomba consiste en llenar de líquido la tubería de aspiración succión y la carcasa de la bomba, para facilitar la succión de líquido, evitando que queden bolsas de aire en el interior.

4.9. Sobrepresión por golpe de ariete

El fenómeno del golpe de ariete, también denominado transitorio, consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, es decir, básicamente es una variación de presión, y se puede producir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad.

El valor de la sobrepresión debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar las tuberías, mientras que, en general, el peligro de rotura debido a la depresión no es importante, más aún si los diámetros son pequeños.

4.9.1. Consecuencias del golpe de ariete

Este fenómeno es muy peligroso, ya que la sobrepresión generada puede llegar a entre 60 y 100 veces la presión normal de la tubería, ocasionando roturas en los accesorios instalados en los extremos (grifos, válvulas, etc.).

El golpe de ariete estropea el sistema de abastecimiento de fluido, a veces hace reventar tuberías de hierro colado, ensancha las de plomo, arranca codos instalados, etc,

4.9.2. Medidas generales contra el golpe de ariete

Como se puede observar el golpe de ariete causa serios daños a la instalación hidráulica y a la bomba, es por ello que es necesario tomar medidas para combatir el golpe de ariete. Las medidas para contrarrestar este fenómeno son:

- Limitación de la velocidad en tuberías.
- Cierre lento de válvulas o registros. Construcción de piezas que no permitan la obstrucción muy rápida.
- Empleo de válvulas o dispositivos mecánicos especiales. Válvulas de alivio, cuyas descargas impiden valores excesivos de presión.
- Fabricación de tubos con espesor aumentado, teniendo en cuenta la sobrepresión admitida.
- Construcción de pozos de oscilación, capaces de absorber los golpes de ariete, permitiendo la oscilación del agua. Esta solución es adoptada siempre que las condiciones topográficas sean favorables y las alturas geométricas pequeñas. Los pozos de oscilación deben ser localizados tan próximos como sea posible de la casa de máquinas.

- Instalación de cámaras de aire comprimido que proporcionen el amortiguamiento de los golpes. El mantenimiento de estos dispositivos requiere ciertos cuidados, para que sea mantenido el aire comprimido en las cámaras.

5. MANTENIMIENTO EN BOMBAS HIDRONEUMÁTICAS

5.1. Mantenimiento preventivo de bombas

Un programa adecuado de mantenimiento se convierte en la herramienta indispensable para que las expectativas de vida útil y rendimiento de un equipo se cumplan, por lo que es necesario concienciar al personal administrativo sobre los ahorros que puede generar tener una asignación presupuestaria para la compra e instalación de piezas cuya vida útil ha caducado. No reemplazar una pequeña pieza en mal estado puede significar daños posteriores más costosos que el problema original.

5.1.1. Aspectos generales

Al proponer un programa de mantenimiento preventivo se desea que minimicen el mantenimiento correctivo debido a que se efectúa cuando ya se ha originado un desperfecto.

Al implementar un programa de mantenimiento preventivo existe una programación de intercambio de componentes, aceites, etc., según un intervalo de tiempo preestablecido, ya sea por el fabricante del componente, cuando alguna pieza empieza a dar indicio de falla o por la experiencia del operador, que ya conoce en base a registros, cuál es la vida esperada de una pieza.

Dependiendo del estado de deterioro muchas veces es aconsejable el cambio de elementos eléctricos, ejes, y de los impulsores. El cambio de impulsores dependerá de la capacidad de encontrar repuestos en el mercado.

5.2. Normas de seguridad

Cuando se llevan a cabo tareas de mantenimiento es necesario tomar en cuenta varias precauciones, entre ellas:

- Antes de utilizar una bomba o una instalación eléctrica se debe verificar que se encuentra en buen estado (se han apretado las castigaderas de los acoples, este bien alineada y todos los elementos eléctricos funcionan bien).
- No se deben utilizar cables dañados, espigas de enchufes rotas, ni aparatos defectuosos. Se evitará el empleo de conductores desnudos. Es necesario evitar que se dañen los conductores eléctricos, protegiéndolos especialmente contra:
 - Agua
 - Quemaduras
 - Líquidos corrosivos (cloro, diesel, solventes)
 - Cortes de elementos afilados
- Para utilizar un aparato, herramienta o instalación eléctrica, se deben operar únicamente los elementos de mando previstos para cumplir esa finalidad. No se deben alterar ni modificar elementos eléctricos o mecánicos cuyo funcionamiento se desconozca.
- Toda instalación será considerada con voltaje, mientras no se compruebe lo contrario con aparatos destinados para tal efecto; posteriormente, se debe de eliminar cualquier posible fuente de alimentación eléctrica a la

parte de la instalación en la que se va a trabajar. Verificar si hay alguna conexión a las plantas de emergencia y desconectar.

- Se deben de colocar letreros en los paneles eléctricos y en la bomba que indiquen que la bomba está fuera de servicio, y que por ningún motivo se debe restablecer el voltaje mientras se está trabajando; estos letreros no se deben de quitar si no se ha finalizado la reparación. Todo el trabajo debe ser realizado en las mejores condiciones de iluminación, orden, limpieza y observando que no existan fugas de agua que mojen conductores o motores.

5.3. Mantenimiento de bombas hidroneumáticas

Este tipo de bomba requiere los mismos cuidados que una bomba centrífuga, ya que es necesario verificar periódicamente el estado de los rodamientos, devanado del motor, desgaste en el impulsor para analizar si es necesario cambiarlo o no, y el estado de los sellos.

5.3.1. Mantenimientos de elementos eléctricos

Todos los cables y conductores deben recibir inspección para detectar polvo, roturas y aislamientos desgastados para prevenir fallas y desperfectos mayores. Los contactos se deben revisar para comprobar si existe carbonilla; ésta se limpia con líquido para limpieza de contactos y franela o estopa (recordar que no debe existir voltaje cuando lleve a cabo haga esta tarea).

Se debe de limpiar el polvo existente en el panel. También es necesario verificar el apriete de los conductores, ya que debido a la dilatación térmica de

los cables muchas veces se aflojan, lo que provoca un mayor consumo eléctrico y un aumento del calor en la instalación.

El mantenimiento que se efectúa en las cajas de control de las bombas también se debe de efectuar con el presostato.

5.3.2. Lubricación

La lubricación en las bombas centrífugas se realiza mediante aceite, grasa y agua dependiendo el diseño y el caballaje de la bomba.

En bombas de bajo caballaje (hasta 7,5 caballos de fuerza) normalmente los rodamientos son libres de mantenimiento; es decir, están sellados y el fabricante coloca grasa que funcionará durante la vida útil del rodamiento. Cuando estos rodamientos fallan se deben de cambiar.

En bombas de mayor potencia pueden tener depósito de aceite en donde están montados los rodamientos que soportan al eje de la bomba.

Cuando se tiene una bomba con este mecanismo se debe verificar el nivel de aceite de manera diaria o semanal, dependiendo las horas de servicio de la bomba. El aceite debe de remplazar a las horas de servicio estipuladas por el fabricante por un aceite de la misma calidad. El no remplazar el aceite puede ocasionar serios daños a la bomba.

Las bombas que no cuentan con depósito de aceite cuentan con graseras en donde se reabastece de grasa a los rodamientos y se debe tener en cuenta no sobre llenar con grasa; ya que esto origina un calentamiento en el rodamiento que acorta su vida útil. Algunos fabricantes de rodamientos

recomiendan no lubricar el rodamiento a más de $\frac{3}{4}$ partes del espacio destinado para grasa o aceite.

El agua es la responsable de lubricar las holguras que se encuentran entre los sellos de la carcasa y el eje del impulsor; al momento de instalar el sello se debe de verificar que exista goteo.

La lubricación que proporciona el agua se caracteriza por un goteo continuo. La falta lubricación cuando el sello es de estopa ocasiona un desgaste excesivo del eje, por lo que al operar en estas condiciones el eje debe de ser reemplazado de manera prematura. Cuando se tiene un sello mecánico y existe una lubricación deficiente de agua el sello tendrá una menor vida útil.

Cuando existe un desgaste excesivo por falta de lubricación en el eje debe de ser reemplazado, ya que esto origina que la bomba tenga fugas y desarrolle una potencia menor a la esperada.

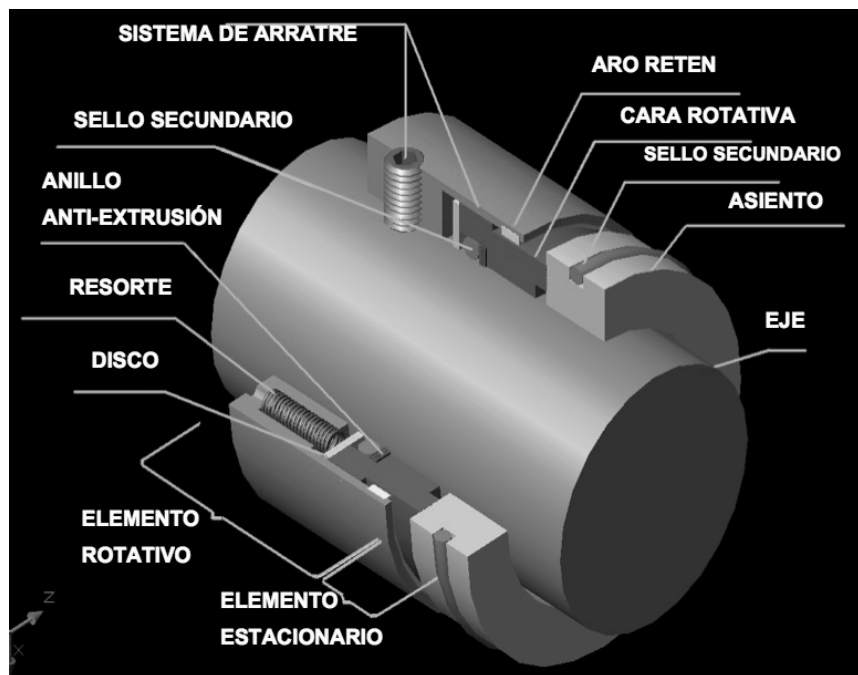
5.3.3. Sellos mecánicos

Las bombas centrífugas poseen sellos montados entre la carcasa de la bomba y el eje del impulsor. Los sellos garantizan que no exista fugas pero al mismo tiempo buscan que exista lubricación mediante un leve goteo. Estos sellos pueden ser de estopa grafitada o mecánicos, dependiendo del fabricante.

Los sellos mecánicos se caracterizan por tener una mayor duración, pero tienen la desventaja de ser más costosos. Algunos de los materiales con los que se elaboran los sellos mecánicos pueden ser el teflón y el carbón. Se deben de instalar con mucho cuidado ya que son relativamente frágiles. Tiene la forma de aros y no deben de ser doblados.

Los sellos de estopa normalmente tienen una duración menor a los sellos mecánicos y deben de ser ajustados conforme se desgastan, además presentan la desventaja que tienen que estar siendo ajustados continuamente períodos relativamente cortos de tiempo. Los sellos de estopa se deben cortar y acoplarlos al eje, pero los sellos mecánicos se deben de comprar de acuerdo al diámetro del eje y la potencia de la bomba.

Figura 25. **Elementos de un sello mecánico**



Fuente: <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve>. Consulta: 02/08/2012.

5.3.4. Rodamientos

Los rodamientos son elementos que sirven para apoyar ejes sometidos a rotación. Los rodamientos se ubican en el motor eléctrico y en los soportes de la bomba.

Los rodamientos se componen de anillo externo, anillo interno, jaula y baleros o rodamientos. En bombas de agua y motores eléctricos los rodamientos que se utilizan son los de bolas, debido a la alta velocidad de operación.

Cuando se efectúa el montaje se debe remover cualquier rebaba, viruta, óxido o suciedad que se encuentre en las superficies del eje, alojamiento y apoyos donde irá montado el rodamiento. El montaje se puede facilitar si se aplica una capa delgada de aceite a las superficies limpias. Si hay virutas, rebabas y otros contaminantes que se filtren al interior del rodamiento antes y durante el montaje causarán ruidos, vibraciones durante el funcionamiento y acortarán la vida útil del rodamiento.

Cuando existe un aumento de ruido y temperatura en los rodamientos es un indicio que deben ser reemplazados. Se debe evitar la reutilización de rodamientos dañados. Se debe evitar someter a los rodamientos a golpes de impacto durante su instalación, ya que esto daña las pistas de rodadura, y reduce su vida útil.

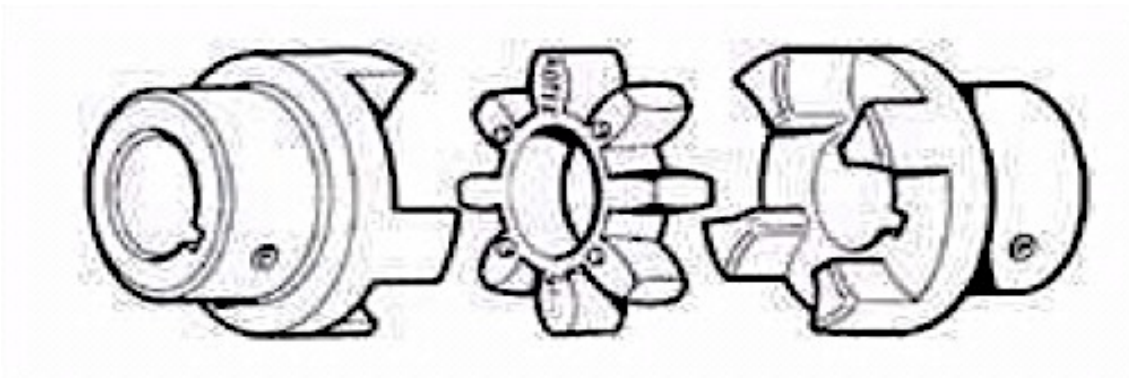
5.3.5. Acoples

La transmisión del movimiento de rotación entre los ejes del motor y la bomba se realiza por medio de acoplamiento. Los acoples más utilizados son los flexibles, ya que si se utilizan acoplamientos rígidos, cualquier error, desalineación, así como los desplazamientos debidos a la dilatación por alta temperatura originarían esfuerzos axiales y radiales que se transmitirían; tanto al motor como a la bomba deteriorando las mismas. El acoplamiento flexible tiene la elasticidad suficiente para absorber estos esfuerzos.

Los acoples flexibles reciben este nombre debido a que las partes metálicas están separadas por elementos de caucho, por lo que al existir desalineación será el elemento flexible de caucho el que se destruya.

Los acoples flexibles más utilizados son los acoples de “tacos” y el acople tipo “lovejoy”. En condiciones normales de operación el elemento de caucho de los acoples lovejoy tiene una mayor duración que un acople de tacos.

Figura 26. **Acople tipo lovejoy**



Fuente: <http://www.componentes.com.gt/perfil.htm>. Consulta: 03/08/2012.

5.4. Mantenimiento de equipo complementario

Los motores eléctricos y los tanques de presión son indispensables para el funcionamiento de la bomba, por lo que se debe establecer un control sobre su mantenimiento, para garantizar que estén en buenas condiciones.

5.4.1. Mantenimiento preventivo básico de motores eléctricos

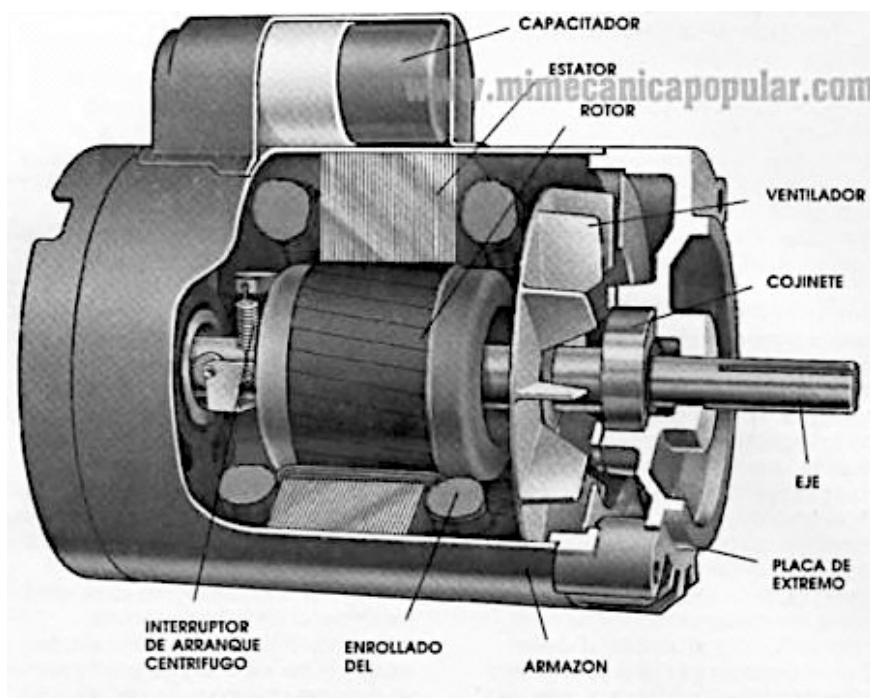
La duración de un motor eléctrico depende del tipo de mantenimiento que reciba. Un motor con mantenimiento deficiente se reconoce fácilmente por su aspecto sucio y corroído. Un programa completo de mantenimiento incluye la inspección periódica, los servicios y su posterior registro. Un pequeño ajuste o una simple limpieza del motor ahora reparaciones costosas y pérdidas de tiempo en el futuro.

Algunos de los contaminantes que pueden dañar los motores son el polvo, la grasa, y el agua. Cualquiera de estos contaminantes puede ser la causa de cortocircuitos, de contactos a tierra y de que un motor trabaje excesivamente caliente. Por otra parte, estos contaminantes desgastan rápidamente las partes que componen el motor.

Las inspecciones periódicas reducen la frecuencia de las fallas. Todas las inspecciones deben de ir acompañadas de un documento de registro en el cuál se anoten el estado del motor y los servicios que se le dan, además se deben de inspeccionar todos los cables conductores y los devanados del motor. Dentro de los servicios que se pueden realizar se incluye la limpieza, la lubricación de rodamientos, el cambio de rodamientos, y la aplicación de barniz en los devanados que hayan perdido el barniz de fábrica.

Los barnices que se aplican a los devanados son compuestos especiales de resinas y aceites secantes en solventes apropiados. Se emplean para cubrir los devanados para protegerlos de corto circuitos. Se pueden adquirir en empresas que vendan o reparen motores eléctricos.

Figura 27. Partes de un motor eléctrico



Fuente: <http://motoreselectricos.files.wordpress.com/>. Consulta: 05/08/2012.

Cualquier aumento o disminución de temperatura en el motor, aumento de ruido, decoloración o pérdida de su aspecto normal son señales de peligro de fallas en el motor. Estas condiciones son llamadas de atención para el operador, por lo que es necesario determinar las causas de estos problemas antes de que aparezca la falla.

5.4.2. Calibración del tanque hidroneumático

Para realizar la calibración del tanque hidroneumático se debe cerrar la alimentación de agua, cortar la corriente de la bomba y abrir el grifo, dejar que el tanque se vacíe totalmente, una vez hecho esto, calibrar la presión con un calibrador de neumáticos (llantas).

La presión en el tanque no debe exceder de 70 libras por pulgada cuadrada, siendo recomendable 2 libras por pulgada cuadrada debajo de la presión de arranque de la bomba. Ejemplo: si desea que el equipo hidroneumático opere a 30 libras por pulgada cuadrada (presión de arranque) y 50 libras por pulgada cuadrada (de paro), el tanque debe calibrarse a 28 libras por pulgada cuadrada en vacío (sin agua).

Una vez hecha la revisión coloque la tapa protectora de la válvula de aire.

5.5. Períodos de mantenimiento preventivo

El período de mantenimiento depende de diversos factores: la cantidad de horas diarias de operación, el ambiente donde se encuentra instalada la bomba (si hay polvo, calor, etc.), el estado general (si es un equipo nuevo o muy usado), y el resultado obtenido en el último mantenimiento.

5.5.1. Período de mantenimiento corto

El período de mantenimiento corto es recomendable realizarlo una vez al mes, con el fin de mantener al equipo en óptimas condiciones los trabajos a realizar son:

- Reporte de presiones de descarga.
- Chequeo de prensaestopa y ajuste.
- Control externo y lubricación de cojinetes y rodamientos por aceite y grasa según el tipo.
- Reporte de vibraciones o estabilidad en el funcionamiento del equipo, y de condiciones generales de trabajo.

Los materiales y repuestos indispensables son:

- Aceite
- Grasa
- Empaquetadura de prensaestopa
- Formularios

5.5.2. Período de mantenimiento medio

El período de mantenimiento corto es necesario realizarlo por lo menos de cinco a seis meses, los trabajos a realizar son:

- Cambio de grasa de los rodamientos si fueren lubricados por grasa sin desmontaje, expulsando por presión de un engrasador tipo de pistola toda la grasa antigua.
- Cambio de aceite de los rodamientos si fueren lubricados por aceite, drenando el aceite usado y llenando nuevamente.

- Alineamiento de la unidad bomba motor y ajuste de los pernos de anclaje.
- Chequeo de prensaestopa y cambio de empaquetadura si fuere necesario.
- Chequeo de la presión en el tanque hidroneumático (debe encontrarse vacío sin agua en el interior).

Los materiales y repuestos necesarios son:

- Aceite
- Grasa
- Empaquetadura de prensaestopa
- Láminas (calzas) para nivelación
- Pernos de repuesto
- Calibrador de neumáticos

5.5.3. Período de mantenimiento largo

Debido que el período de mantenimiento largo es mas complejo es necesario realizarlo una vez al año, los trabajos a realizar son:

- Desmontaje completo de la bomba.
- Lavado y limpieza completa de todas las partes.
- Chequeo del alineamiento y desgaste del eje y reparaciones o cambio si fuere necesario.

- Chequeo de impulsor es, bujes, rodamientos, anillos, empaques, y demás elementos sujetos a desgaste, reparaciones o cambios de las partes dañadas si fuere necesario.
- Montaje, alineamiento y prueba completa de la unidad.
- Pintura.
- Control de válvulas y reparaciones si fueren necesarias.
- Chequeo de las condiciones técnicas de trabajo del equipo relación con su diseño y características.

Los materiales y repuestos indispensables son:

- Ejes
- Solventes
- Pintura
- Impulsores
- Difusores
- Bujes
- Anillos
- Rodamientos
- Empaques
- Aceite
- Pines
- Grasa
- Barniz
- Pernos de repuestos y tuercas

- Empaques de válvulas
- Compuertas de válvula
- Pasadores y compuertas para válvula

CONCLUSIONES

1. Existe variedad de equipos de bombeo, entre ellos están las bombas centrífugas, bombas turbinas y electrobombas; debe elegirse el más adecuado dependiendo del uso y servicio que se requiera en la instalación.
2. El suministro de agua es indispensable ya que se sufre de un abastecimiento deficiente o casi nulo por parte de las redes de distribución municipal de agua. Es aquí donde surge la necesidad de utilizar bombas hidráulicas para bombear el agua desde pozos, o los depósitos donde ha sido almacenada el agua municipal.
3. Existen instalaciones que poseen fugas por deterioro de llaves y tuberías, lo que ocasiona que se deban aumentar las horas de bombeo. El aumento de horas de trabajo contribuye a un mayor desgaste que trae como consecuencia un mayor costo por operación y mantenimiento.
4. Para que la vida útil y eficiencia de una bomba hidroneumática sea de la mayor calidad, la instalación debe de realizarse de manera óptima, avalada por información profesional.
5. Para lograr un funcionamiento óptimo de las instalaciones hidráulicas, no basta con un cálculo correcto, ya que, es necesario brindarle un mantenimiento adecuado y profesional de cada uno de sus componentes.

6. Las malas prácticas de operación dañan el equipo y exponen al personal a provocar o sufrir accidentes, por lo que cada vez que se asigne un nuevo operador se le debe someter a un programa de inducción sobre seguridad personal, operación y mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta los parámetros físicos e hidráulicos de un sistema hidráulico en particular, para la correcta selección de una bomba acorde a lo requerido.
2. Utilizar bombas hidroneumáticas donde requiera una excelente presión en toda la red hidráulica, dado que éstas mejoran el funcionamiento de equipos residenciales y hospitalarios. Así mismo, evita la acumulación de sarro en las tuberías por flujo a baja velocidad.
3. Reducir los costos de bombeo utilizando una menor cantidad de horas en las bombas y esto se logra usando adecuadamente el agua y eliminando fugas.
4. A las personas interesadas, leer el presente trabajo de graduación, para que tengan los conocimientos más completos, en selección instalación y mantenimiento de bombas hidroneumáticas.
5. Realizar mantenimientos periódicos acorde a la cantidad de horas efectivas de trabajo.
6. Enfatizar en el mantenimiento preventivo, ya que implica un menor costo que el mantenimiento correctivo, por lo cual debe de existir una planificación presupuestaria para que se pueda contribuir a una mejora en el desempeño de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA ÁLVAREZ, Guillermo; ACEVEDO, Neto J.M. *Manual de hidráulica*. México: Harla, 1975. 578 p.
2. Evans Hidroneumáticos. *Manual de propietario* [en línea]. México: <http://www.evans.com.mx/Manuales_de_propietario_evans.asp> [Consulta: 15 de abril de 2012].
3. FLINN, Alfred Douglass; SPURR WESTON, Robert; LATHROP BOGERT, Clinton. *Water Works Hanbook of design construction and operation*. 3a ed. New York: McGraw-Hill, 1927. 871 p.
4. GILES, Ronald V. *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. México: McGraw-Hill, 1980. 292 p.
5. GORMAN Rupp. *Medida correcta del vacío y la presión de bombeo* [en línea]. España: <<http://www.pricast-agua.es/pdf/Medida-correcta-del-vacio-y-la-presion-de-bombeo.pdf>> [Consulta: 6 de julio de 2012].
6. *Grupos de presión* [en línea]: <<http://www.tecnisuport.com>> [Consulta: 8 de junio de 2012].
7. *Instalaciones, construcción y montaje de bombas* [en línea]: <<http://www.aguamarket.com>> [Consulta: 17 de abril de 2012].

8. *Instrumentación en bombas* [en línea]: <<http://www.monografias.com>> [Consulta: 12 de mayo de 2012].
9. KARASSIK Igor; CARTER, Roy. *Bombas Centrifugas, selección, operación y mantenimiento*. México: Continental, 1967. 560 p.
10. MATAIX, Claudio. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. España: Harper y Row, 1976. 583 p.
11. MCNAUGHTON, Kenneth J. *Bombas: selección uso y mantenimiento*. México: McGraw-Hill, 1989. 373 p.
12. MENÉNDEZ BARRIENTOS, Carlos Fernando. *Selección de equipo de bombeo, funcionamiento y mantenimiento*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998. 120 p.
13. *Principios básicos para el diseño de instalaciones de bombas centrífugas* [en línea]: <<http://www.comagro.com.py>> [Consulta: 23 de marzo de 2012].
14. RODRÍGUEZ SOSA, Luis Carlos. *Guía para las instalaciones sanitarias en edificios*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 121 p.
15. Sabatini bombas & mecanizados. *Tanques hidroneumáticos* [en línea]. Argentina: <http://www.sabatinibombas.com.ar/servi_tecnico/TanquesHidroneumaticos.pdf> [Consulta: 20 de junio de 2012].

16. SOTELO ÁVILA, Gilberto. *Hidráulica general*. México: Limusa, 1997. 557 p.
17. STREETER. L., Víctor. *Mecánica de fluidos*. Emilio Romero Ros (trad.). 4a ed. México: McGraw-Hill, 1989. 729 p.

ANEXOS

1. Tablas de diagnóstico de fallas en bombas

Tabla I. El motor no arranca

Causa del problema	Como revisar	Solución
No hay energía eléctrica, el voltaje es incorrecto o fusibles quemados		Consultar a empresa eléctrica o cambiar fusible
Flipones desconectados	Revisar que el tamaño de los fusibles sea el correcto o conexiones sueltas. Revisar los flipones están desconectados	Reemplazar los fusibles o reconectar los flipones
Interruptor de presión defectuoso	Comprobar estado de los platinos	Reemplazar interruptores de contacto o limpiar platinos
Mal funcionamiento de la caja de control	Llevar a cabo revisión de la caja de control	
Cableado defectuoso	Revisar si hay conexiones sueltas o corroídas. Comprobar si hay corriente con un multímetro	Corregir las conexiones defectuosas
Bomba trabada	Esto puede deberse a una mala Alineación entre la bomba y el motor. El amperaje es de tres a seis veces más de lo normal.	Cuando esta atascada con arena, algunas veces Puede corregirse invirtiendo temporalmente la rotación del motor
Cable o motor defectuoso	Cambiar cable o motor	

Tabla II. **El motor arranca frecuentemente**

Causa del problema	Como revisar	Solución
Interruptor de presión	Comprobar el ajuste del Interruptor y examinar si hay defectos	Ajustar o reemplazar el interruptor
Válvula de retención pegada o abierta	La válvula de retención dañada o defectuosa no retiene la presión	Reemplazar si está defectuosa
Tanque anegado en agua	Revisar si el control de volumen	

Tabla III. **El motor funciona en forma continua**

Causa del problema	Como revisar	Solución
Fugas en el sistema	Revisar el sistema en busca de fugas	Reemplazar tuberías dañadas o reparar fugas
Interruptor de presión	Los platinos del interruptor pueden estar "soldados" en posición cerrada. El interruptor de presión puede estar muy ajustado	
Pozo de bajo nivel	La bomba excede la capacidad del pozo.	Acelerar el rendimiento de la bomba o posicionar la bomba a un nivel más bajo. No bajarla si la arena pudiera atascarla
Fugas en el sistema	Revisar si hay fugas en el sistema	Reemplazar tuberías dañadas o reparar fugas

Continuación de la tabla III.

Bomba desgastada	Las causas del problemas de que la bomba está desgastada son similares a las fugas en el tubo de bajada. Reducir el ajuste de interruptor de presión, si la bomba se apaga culpa puede ser de las piezas desgastadas.	Extraer la bomba y cambiar el propulsor u otras piezas de conexión desgastadas.
Eje de motor suelto o Roto	Saldrá muy poca o nada de agua si el acoplamiento entre el eje del motor y la bomba está suelto o si la bomba atascada ha causado el corte del eje	Revisar y reemplazar
Rejilla de la bomba pegada o cerrada	La restricción de flujo puede indicar que la rejilla de entrada está obstruida. La bomba puede estar en lodo o arena	Limpiar la rejilla y posicionarla a menos profundidad. Podría ser necesario limpiar el pozo
Válvula de retención Cerrada Mal funcionamiento de la caja de control	No saldrá agua si está cerrada la válvula de retención.	Reemplazarla si está defectuosa Revisar y/o reemplazar

Tabla IV. **El motor funciona pero el protector contra sobre carga se activa**

Causa del problema	Como revisar	Solución
Voltaje incorrecto	Comprobar con un voltímetro la tensión existente	En caso incorrecto consultar a la empresa eléctrica
Protectores recalentados	La luz solar puede incidir en el recalentamiento de la caja de control, causando la desconexión de los protectores	Colocar la caja a la sombra, suministrar ventilación o alejarla de cualquier fuente de calor
Caja de control Defectuosa	Comprobar estado de trabajo	Cambiar en caso necesario
Motor o cable defectuoso	Verificar su estado	Cambiar en caso necesario
Bomba o motor Desgastado	Verificar su estado	Cambiar en caso necesario

Tabla V. **Guía para resolver problemas de bombas cuando los fusibles o flipones se disparan cuando se arranca el motor**

Causa del problema	Como revisar	Solución
Voltaje incorrecto	Revisar el voltaje de terminales en la caja de control con un voltímetro. Asegurarse que la tensión este dentro de rangos prescritos por el fabricante.	Sí el voltaje está incorrecto, chequear acometida eléctrica. De empresa eléctrica
Cajas de control o Defectuoso	Revisar el motor y alambrado en la caja de control de acuerdo al diagrama dentro de la caja. Ver todas las conexiones apretadas	Rebobinar todo el circuito incorrecto. Apretar conexiones, reemplazar alambre dañados

Continuación de la tabla V.

Causa del problema	Como revisar	Solución
Capacitor de arranque Defectuoso Relé defectuoso	Comprobar el estado del capacitor con el óhmetro Usando el óhmetro chequear bobina de relé. Si la resistencia está como especifica el Fabricante; chequear la lectura a través del capacitor de arranque. Con buen capacitor, al no moverse la lectura, indica que los contactos del relé están malos.	Reemplazar el capacitor defectuoso Si la resistencia de la bobina está mala o los contactos están malos, hay que reemplazar el relé
Interruptor de presión Defectuoso	Chequear la tensión a través de los contactos del interruptor ya que podría haber falso contacto	Limpiar los contactos del interruptor o reemplazarlo
Bomba en pozo mal Fabricado	Si ha sido mal fabricado el pozo, tanto la bomba como el motor pueden estar mal Alineados, lo que provoca que se trabe el rotor	Si la bomba no rota libremente se debe de extraer y el pozo debe de corregirse.
Cable o devanado está a tierra	Pruebe las líneas a tierra con el óhmetro. Si marca con Cualquiera de las terminales esto significa que una de ellas está a tierra.	Inspeccionar el cable dañado. Si esta bien, significa que el motor está a tierra.

Tabla VI. **La bomba funciona pero envía poco o nada de agua**

Causa del problema	Como revisar	Solución
Bomba podría estar bloqueada de aire	Parar o arrancar la bomba varias veces, esperando entre cada ciclo alrededor de un minuto. Si la bomba comienza a enviar aire, entonces una bolsa de aire	
El nivel del agua dentro del pozo o tanque es demasiado bajo	La capacidad del pozo puede ser muy bajo para la capacidad de la bomba. Restringir el flujo de la salida del agua, esperar que suba el nivel y arrancar la bomba. Puede ser necesario llenar el tanque	Si la restricción parcial corrige el problema, dejar la válvula en esa forma. De otra forma bajar la bomba si la profundidad del pozo es suficiente. No bajarla si se puede producir obstrucción a causa de arena.
La válvula de cheque en la línea de descarga está instalada al revés	Examinar la válvula cheque en la línea de descarga para estar segura que la flecha indica la dirección del flujo en la dirección correcta	corrige el problema, si es necesario.
Fuga en el tubo de bajada	Levantar la tubería y revisar por fugas	Reemplazar la sección dañada de la tubería de bajada
La válvula de cheque de la bomba apretada por el tubo de bajada	Extraer la bomba, examinar el tubo de bajada a la salida de la bomba, si la rosca del tubo de bajada ha sido demasiada roscada podría estar apretando la válvula cheque de la bomba estando en posición cerrada.	Desenroscar la tubería y cortarle una parte de la rosca del tubo de bajada.

Continuación de la tabla VI.

Causa del problema	Como revisar estando en posición cerrada	Solución
Partes gastadas de la bomba	La presencia de abrasivos en el agua podrían resultar en problemas sobre el impulsor, carcasa y otras partes de cierre de la bomba. Antes de extraer la bomba, reducir la calibración de ajuste del interruptor de presión para ver si la bomba se apaga. Si es así, las partes gastadas son el origen de la falla.	Sacar la bomba y cambiar las partes gastadas.
El eje del motor flojo	El acople entre el eje del motor y la bomba puede aflojarse con el trabajo. Inspeccionar, al extraer la bomba, y ver por posibilidades de desgaste.	Apretar todas las conexiones, colocar tornillos, etc.

Fuente: manual de bombas de agua. Hidroneumáticos Evans.

2. Limpieza y desinfección de cisternas

Todos los tanques nuevos deben ser desinfectados antes de ponerlos en servicio. En forma similar, los tanques que han estado fuera de servicio por reparación o limpieza también deben ser desinfectados antes de que se les vuelva a poner en servicio. Antes de la desinfección, se debe limpiar los fondos de los tanques mediante barrido y restregado para quitar toda la suciedad y material suelto.

Para efectuar la desinfección existen varios métodos entre ellos se tiene:

Llenar el tanque hasta el nivel de derrame con agua limpia a la cual se agrega cloro suficiente para producir una concentración de 50 miligramos por litro. Se introduce en el agua la solución de cloro lo más pronto posible durante la operación de llenado con el fin de asegurar una mezcla y contacto completos con todas las superficies a ser desinfectadas. Después de llenar el tanque, se le permite asentarse preferiblemente durante 24 horas pero no por menos de 6 horas. Entonces se debe drenar el agua y rellenar el tanque para el abastecimiento regular.

En el segundo método aplica una solución fuerte (200 miligramos por litro) de manera directa a las superficies internas del tanque. La superficie debe permanecer en contacto con la solución fuerte por lo menos durante 30 minutos antes de llenar el tanque con agua.

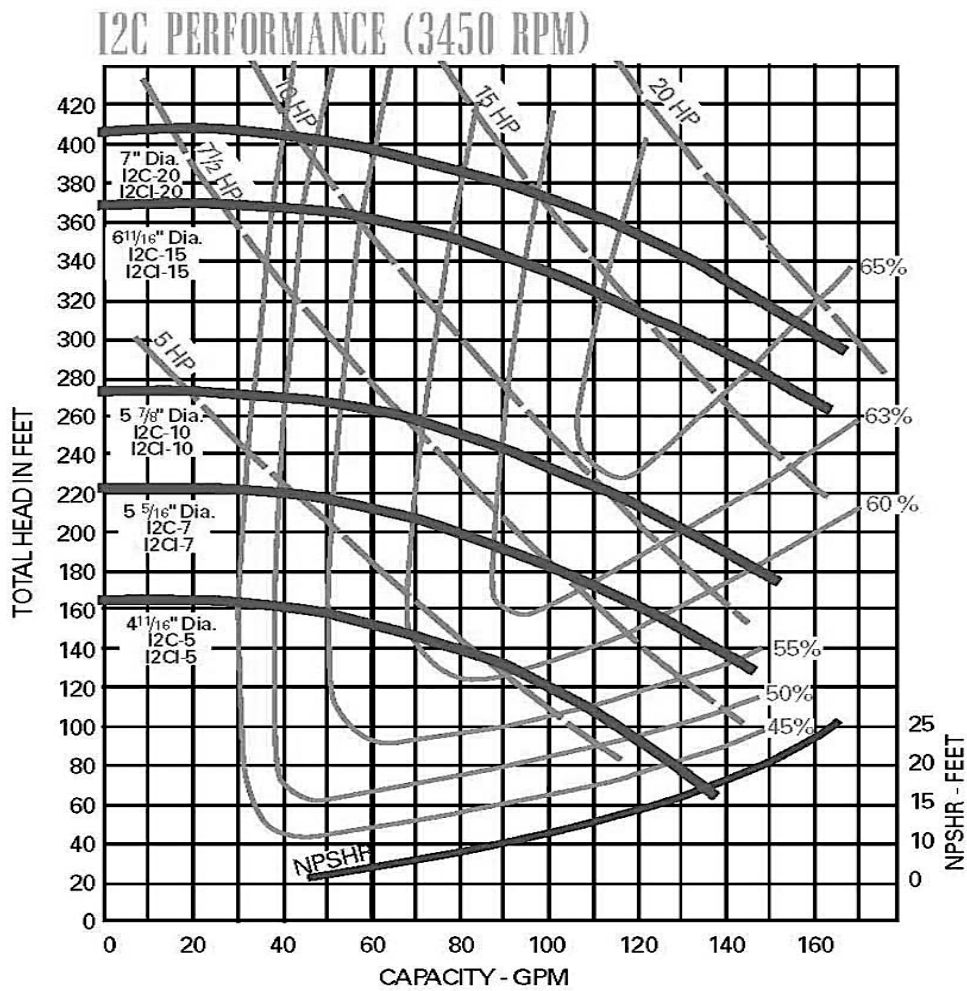
El tercer método, que se debe usar sólo cuando no se puede usar otros, no expone las superficies superiores de las paredes a una solución fuerte de cloro.

Se alimenta agua al tanque con un contenido de cloro de 50 miligramos por litro, a un volumen tal que posteriormente cuando se llena completamente el tanque, la concentración resultante de cloro sea de aproximadamente 2 miligramos por litro. Se conserva el agua que contiene 50 miligramos por litro de cloro en el tanque por 24 horas antes de llenar el tanque. Entonces se puede poner en servicio el tanque sin extraer el agua usada para la desinfección siempre que el residuo final no sea demasiado elevado.

Fuente: sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades: tecnología de pequeños sistemas de abastecimiento de agua en países en desarrollo / CEPIS, 1988.

3. Curvas características de bombas hidráulicas para uso doméstico más utilizadas.

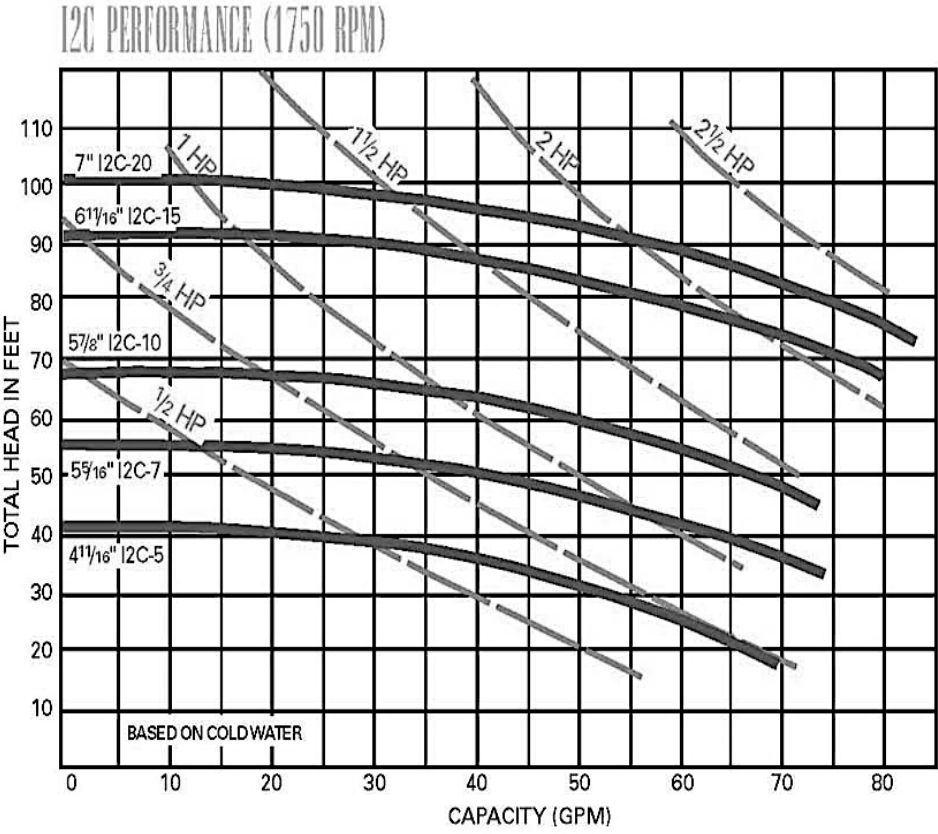
Figura 1. Curva característica bomba Hidráulica modelo I2C 3450 RPM



Fuente: http://www.femyers.com/ResidentialProduct_my_ws_ct_2C.aspx.

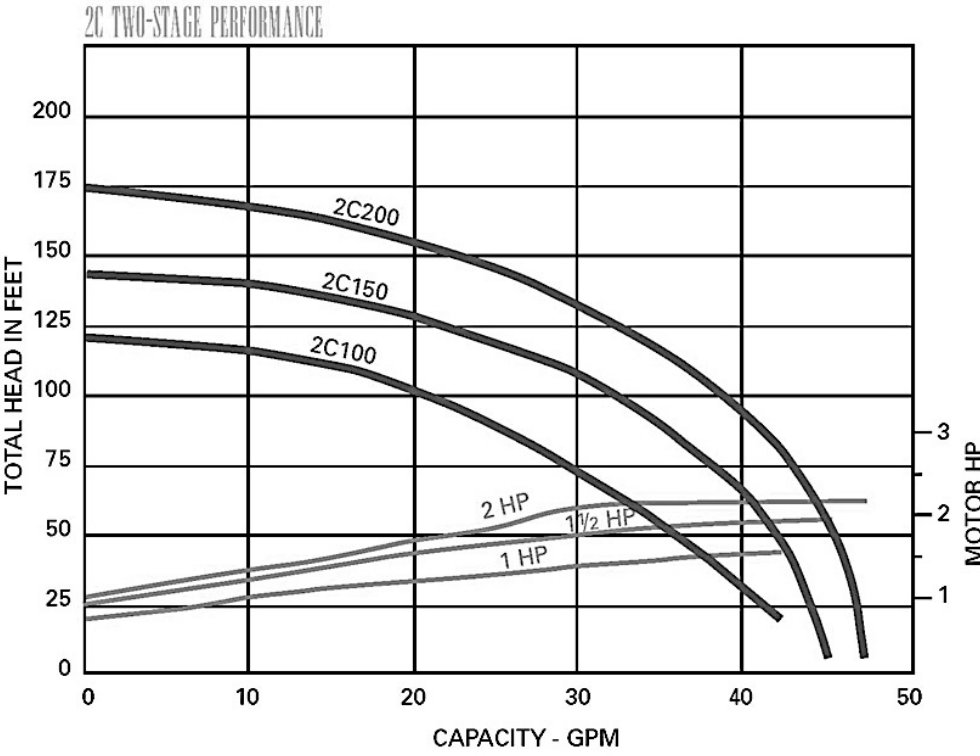
Consultado:08/09/2012.

Figura 2. **Curva característica bomba hidráulica modelo I2C 1750 RPM**



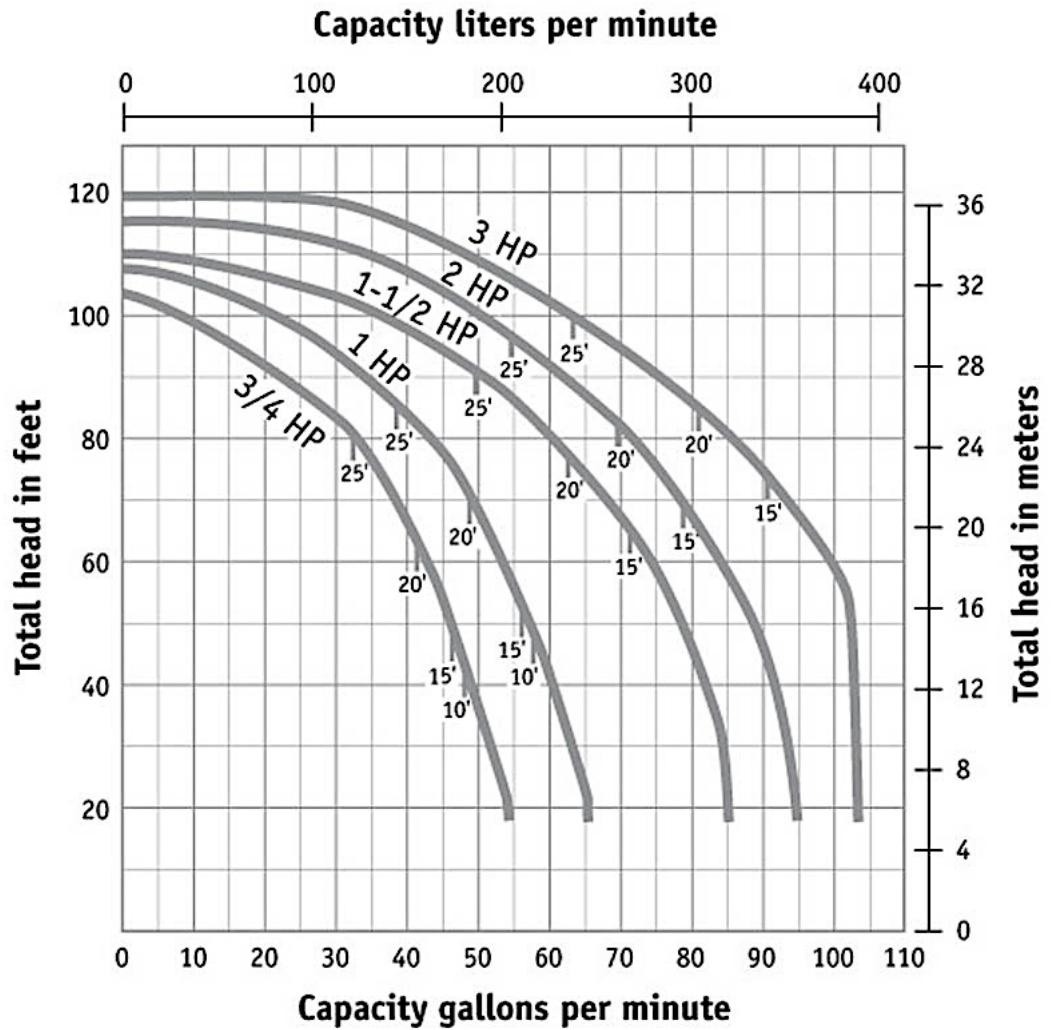
Fuente: http://www.femyers.com/ResidentialProduct_my_ws_ct_I2C.aspx.
 Consultado:08/09/2012..

Figura 3. Curva característica bomba hidráulica modelo 2C de dos etapas



Fuente: http://www.femyers.com/ResidentialProduct_my_ws_ct_2C.aspx. Consultado: 10/09/2012.

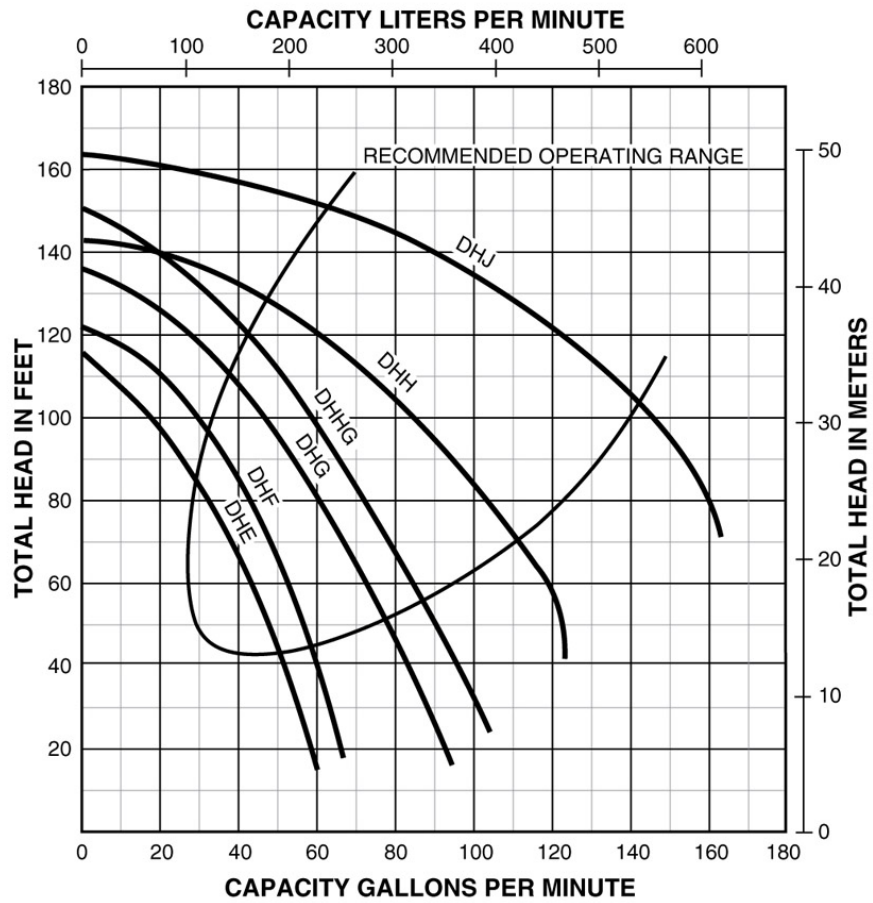
Figura 4. Curva característica bomba hidráulica modelo QP



Fuente: http://www.femyers.com/ResidentialProduct_my_ws_cn_Quick_Prime_Series.aspx.

Consultado:12/09/2012.

Figura 5. Curva característica bomba hidráulica modelo D



Fuente: <http://www.sta-rite.com/ResidentialSearchResults.aspx>. Consultado: 12/09/2012.