



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

**SELECCIÓN DE BOMBAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS EN POZOS PROFUNDOS**

Rodrigo Estuardo García Orellana

Asesorado por el ing. Hugo Estuardo García Méndez

Guatemala, julio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SELECCIÓN DE BOMBAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS EN POZOS PROFUNDOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

RODRIGO ESTUARDO GARCÍA ORELLANA

ASESORADO POR EL ING. HUGO ESTUARDO GARCÍA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

SELECCIÓN DE BOMBAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN POZOS PROFUNDOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 4 de mayo de 2018.



Rodrigo Estuardo García Orellana

Guatemala, 23 de Julio de 2019


Ing. Pedro Aguilar Polanco
Jefe del área de hidráulica
Escuela de ingeniería civil
Facultad de ingeniería, USAC.

Ingeniero Aguilar Polanco:

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que apruebo el trabajo de graduación y me hago corresponsable del contenido del mismo, del estudiante de Ingeniería Civil Rodrigo Estuardo García Orellana, con registro académico 201314585, el cual se titula: **“Selección de bombas para la extracción de aguas subterráneas en pozos profundos”**, en donde asesoré al estudiante en el proceso del mismo.

Sin otro particular, me despido.

Atentamente:



Hugo Estuardo García M.
COLEGIADO No. 3088
Ing. Hugo Estuardo García Méndez
Colegiado No. 3,088
Asesor

Hugo Estuardo García M.
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 3088



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil y Jefe del Departamento de Hidráulica, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Hugo Estuardo García Méndez, al trabajo de graduación del estudiante Rodrigo Estuardo García Orellana **SELECCIÓN DE BOMBAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN POZOS PROFUNDOS** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, febrero 2020

/mrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102

DTG. 226E.2020.

La Decana 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 Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **SELECCIÓN DE BOMBAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN POZOS PROFUNDOS**, presentado por el estudiante universitario: **Rodrigo Estuardo García Orellana**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, julio de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

Elda Yaneth Orellana Najarro, por ser un ejemplo en mi vida, por ser mi apoyo incondicional y por su amor infinito. La amo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser una importante influencia en mi carrera,
entre otras cosas.

Facultad de Ingeniería

Por ser una importante influencia en mi carrera,
entre otras cosas.

**Mis amigos de la
facultad**

Por el compañerismo, por el entusiasmo y por el
apoyo demostrado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS BOMBAS	1
1.1. Definición	1
1.2. Bomba de desplazamiento positivo	1
1.3. Bombas rotodinámicas	3
1.4. Bomba centrífuga	3
1.4.1. Teoría del impulsor	4
1.4.2. Eficiencia	5
1.5. Acción de la bomba centrífuga	6
1.6. Bomba centrífuga vertical tipo turbina	6
1.7. Características de las bombas verticales	7
1.8. Bombas sumergibles	9
2. INGENIERÍA BÁSICA	11
2.1. Mecanismos de bombeo	11
2.1.1. Carcaza	11
2.1.2. Impulsor	12
2.1.3. Cojinetes	12
2.1.4. Ejes	13

2.2.	Selección de bomba.....	13
2.3.	Curvas en el sistema de bombeo	14
2.4.	Elementos de la carga dinámica total	15
2.4.1.	Caso 1	15
2.4.2.	Caso 2.....	16
2.4.3.	Caso 3.....	16
2.5.	Carga neta positiva de succión	17
2.6.	Potencia y eficiencia.....	18
2.6.1.	Potencia	18
2.6.2.	Eficiencia.....	19
2.7.	Cavitación en las bombas	19
2.7.1.	Presión de vapor	20
2.7.2.	Golpe de ariete	21
2.8.	Leyes de afinidad	23
3.	SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO.....	25
3.1.	Pasos para la elección de una bomba.....	25
3.1.1.	Pasos para la elección de una bomba para el impulso de un líquido.....	25
3.1.2.	Pasos para la elección de una bomba para la extracción del líquido del pozo.....	26
3.1.3.	Pasos adicionales para la elección de una bomba	28
3.2.	Condiciones de operación	28
3.2.1.	Características, especificaciones y detalles técnicos del fabricante	28
3.2.2.	Instalación	29
3.2.3.	Funcionamiento (puesta en marcha y paro).....	32
3.2.4.	Control.....	34

3.2.5.	Mantenimiento	36
3.3.	Características del líquido.....	36
3.4.	Características de la bomba	37
3.5.	Accionamiento de bombas.....	38
3.6.	Cisternas y pozos de bombeo	38
3.6.1.	Cisterna	39
3.6.2.	Cálculo del depósito o cisterna de estación de bombeo.....	40
3.6.3.	Pozos de bombeo	41
4.	CÁLCULO DEL SISTEMA.....	43
4.1.	Análisis para el suministro	43
4.1.1.	Población objetivo.....	43
4.1.2.	Condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas.....	44
4.1.3.	Fuentes de captación.....	45
4.1.4.	Sistema de transporte del líquido impelido.....	45
4.1.5.	Normas, reglamentos y leyes.....	45
4.1.6.	Análisis económico y financiero	46
4.2.	Ejemplo: datos para el cálculo	47
4.3.	Cálculo de la carga dinámica total (CDT).....	48
4.4.	Selección de bombas	50
5.	MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN.....	51
5.1.	Conceptos teóricos de mantenimiento	51
5.1.1.	Boletas de registro	52
5.1.2.	Vida útil del pozo.....	53
5.1.3.	Observación del pozo	53
5.2.	Tipos de mantenimiento.....	54

5.2.1.	Equipo de operación y mantenimiento del pozo	55
5.3.	Herramientas de diagnóstico	55
5.3.1.	Atribuciones por área para diagnóstico.....	56
5.3.2.	Información de diagnóstico	57
5.3.3.	Reporte de situación actual	58
5.3.4.	Comunicación vía radio	58
5.3.5.	Reporte ejecutivo.....	59
5.3.6.	Base de datos	59
5.3.7.	Plantillas gráficas del pozo	60
5.3.8.	Análisis de la información	61
5.3.9.	Plan estratégico.....	61
5.3.10.	Medición de la profundidad de los pozos.....	62
5.3.11.	Limpieza del pozo.....	63
5.4.	Motobombas sumergibles	65
5.5.	Tipos de bombas sumergibles.....	67
5.6.	Cebado	68
5.7.	Arranque y parada	69
5.7.1.	Arrancador magnético	70
5.7.2.	Control de bombas sumergibles	70
5.7.3.	Periodo de bombeo	70
5.7.4.	Cantidad de horas de operación.....	71
5.7.5.	Ajustes	71
5.8.	Paro de bombas.....	72
5.9.	Accesorios	73
5.9.1.	Características generales	73
5.9.2.	Bridas	74
5.9.3.	Disco ciego.....	75
5.9.4.	Codos.....	76
5.9.5.	Te.....	77

5.9.6.	Reductor	77
5.9.7.	Válvula.....	78
5.9.8.	Tapones.....	81
5.9.9.	Repuestos.....	82
5.9.10.	Accesorios hidráulicos de seguridad	83
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES.....		97
BIBLIOGRAFÍA.....		101
ANEXOS		107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación de bombas hidráulicas.....	2
2.	Bomba centrífuga serie ECO-MAT	4
3.	Velocidad y ángulos del impulsor	5
4.	Bomba tipo turbina vertical	7
5.	Sección transversal de bomba tipo turbina vertical.....	8
6.	Electrobomba sumergible monobloc	9
7.	Carcaza.....	11
8.	Impulsor tipo Francis	12
9.	Cojinetes varios tipos	13
10.	Curvas del sistema de bombeo	15
11.	Presión de vapor y carga de presión de vapor del agua.....	21
12.	Diagrama del sistema de una bomba de eje horizontal para el impulso de líquido en pozos profundos	26
13.	Croquis de una bomba de eje vertical para la extracción de líquido en pozos profundos.....	27
14.	Detalle de un tanque cisterna enterrada.....	39
15.	Detalle de pozo de bombeo prefabricado marca Sande y Díaz	42
16.	Detalle de un pozo de captación	42
17.	Mantenimiento de pozo de agua	52
18.	Radios manuales para comunicación.....	58
19.	Seguimiento a la declinación del campo, reporte diario.....	60
20.	Sonda para medir la profundidad del pozo	62
21.	Mantenimiento de pozo mecánico (limpieza).....	65

22.	Bomba sumergible	66
23.	Bomba sumergible con sus partes	67
24.	Brida	75
25.	Disco ciego	76
26.	Codo para tubería	77
27.	Válvula de globo	78
28.	Válvula de 3 vías	79
29.	Válvulas de compuerta	80
30.	Válvula de columpio	84
31.	Válvula de elevación	85
32.	Válvula de mariposa	86
33.	Válvula de alivio	87
34.	Válvula de aire para pozo	88
35.	Válvula de retención múltiple	89
36.	Válvula de pie para pozo	90
37.	Carrete de desmontaje	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Aceleración de la gravedad
H_s	Altura de succión
H_i	Carga de entrada
NPSH	Carga de succión neta positiva
NPSHd	Carga de succión neta positiva disponible
NPSHr	Carga de succión neta positiva requerida
CDT	Carga dinámica total
Q	Caudal
α	Celeridad
ϕ_i	Diámetro interno de la tubería
η	Eficiencia
eh	Eficiencia de la bomba
e	Espesor de tubería
em	Eficiencia mecánica de la bomba
K	Módulo de elasticidad volumérico del agua
E	Módulo de elasticidad del material de la tubería
pm	Perdidas mecánicas
H_f	Pérdidas por fricción en la tubería de succión
P	Potencia
P_f	Potencia al freno
H_a	Presión atmosférica
H_v	Presión de vapor
ΔP	Sobrepresión

<i>v</i>	Velocidad
<i>c</i>	Velocidad absoluta del flujo
<i>u</i>	Velocidad periférica del impulsor
ω	Velocidad relativa del flujo

GLOSARIO

Abrasión	Es la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido.
Caudal	Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.
Cavitación	Formación de cavidades llenas de vapor o de gas en el seno de un líquido en movimiento.
Cilindrada	Recorrido completo del émbolo de un cilindro.
Cisterna	Depósito grande, generalmente subterráneo, para recoger y conservar el agua.
Corrosión	Es el proceso de degradación de ciertos materiales, como consecuencia de una reacción electroquímica, o sea, de óxido-reducción, a partir de su entorno.
Manivela	Pieza mecánica, generalmente de hierro, con forma de ángulo recto, que, al darle movimiento rotatorio con la mano, hace girar un eje y pone en funcionamiento un motor o mecanismo.
Rodete	Se denomina rodete a un tipo de rotor formado por una serie de álabes de varias formas, curvados en

dirección contraria al movimiento, que giran dentro de una carcasa o tubería y es el encargado de impulsar el fluido, que entra por el centro del rodete para que los álabes lo arrastren en dirección radial. El rodete está unido a un eje y es la parte giratoria de una bomba.

Turbina

Máquina que consiste en una rueda en el interior de un tambor provista de paletas curvas sobre las cuales actúa la presión de un fluido haciendo que esta gire.

Vórtice

Remolino de viento o aire que avanza rápidamente y levanta a su paso polvo o materias poco pesadas.

RESUMEN

Una bomba es una máquina que transforma la energía mecánica que le aporta un motor, en energía hidráulica, esta se puede apreciar en el fluido en forma de presión o velocidad. En el primer capítulo se describen y se clasifican las bombas de una manera general con el fin de estudiar los diferentes tipos de bomba que hay en el mercado y tener referencia de qué bomba utilizar y definir en qué situación correspondería su uso.

En el segundo capítulo se explica cómo funcionan internamente las bombas, qué función tienen las partes de la bomba y de cómo la bomba transforma energía mecánica en energía hidráulica.

Los pasos para la elección de una bomba, tomando en cuenta ciertas consideraciones y requerimientos, están en el capítulo tres; también, menciona bajo qué condiciones se debe operar la bomba. Hay que tomar en cuenta que estas consideraciones y requerimientos están determinados por uso de la misma, es decir, que no serán las mismas consideraciones para bombas de diferente tipo.

El capítulo cuatro trata del cálculo del sistema; según el análisis para suministrar lo planificado, se ejemplifica la selección de una bomba según sus requerimientos.

El último capítulo trata sobre el mantenimiento que se le debe dar a las bombas para un funcionamiento adecuado y para prolongar su vida útil, también, sobre cómo operarlas.

OBJETIVOS

General

Aportar conocimientos sobre las bombas y su clasificación; mostrar cómo funcionan internamente y luego seleccionar una bomba de manera rentable según las características del terreno y las características del líquido; también, darle mantenimiento para prolongar su vida útil y garantizar su funcionamiento óptimo.

Específicos

1. Hacer una descripción y clasificación general de las bombas para comprender cómo funcionan y en qué caso o situación se pueden utilizar para suplir la necesidad del abastecimiento de agua.
2. Definir los factores que influyen en la selección de la bomba para el diseño de un equipo de bombeo; además, mostrar el procedimiento de selección de la bomba para guiar al profesional interesado para buscar una óptima relación entre precio y funcionalidad.
3. Definir los conceptos teóricos y los diferentes tipos de mantenimiento de las bombas, también, las diferentes consideraciones preliminares a la operación del equipo de bombeo.

INTRODUCCIÓN

Se estima que poco más del 97 % del volumen de agua que existe en la tierra es agua salada y se encuentra en los océanos, el 3 % restante es agua de baja salinidad. El 3 % restante corresponde aproximadamente a 38 millones de kilómetros cúbicos, el cual el 75 % se encuentra en casquetes polares y glaciares, el 21 % es agua subterránea y el 4 % restante se encuentra distribuido en lagos y ríos.

La disminución de la precipitación en varias regiones del país indica que el agua subterránea es uno de los recursos más importantes; actualmente, las fuentes subterráneas sostienen el desarrollo agrícola en el país, satisfacen las necesidades de la mayoría de la población y también de la actividad industrial.

El agua es un recurso fundamental para todos y para aprovechar este recurso es necesario hacer una obra de captación de agua, específicamente, un pozo y aprovechar el agua mediante un equipo de bombeo (bomba, motor, tubería, entre otros); sin embargo, la selección de la bomba se ha tratado con descuido, lo cual ha tenido negativas consecuencias sobre su eficiencia, costo y vida útil, así como la calidad de agua suministrada.

La bomba es una máquina que transforma la energía mecánica que le aporta un motor, en energía hidráulica; esta se puede apreciar en el fluido en forma de presión o velocidad. El presente trabajo se preparó para proporcionar instrucción al personal técnico encargado de la selección, la operación y el mantenimiento de las bombas en los pozos.

1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS BOMBAS

1.1. Definición

Una bomba es una máquina que transforma la energía mecánica que le aporta un motor, en energía hidráulica; esta se puede apreciar en el fluido en forma de presión, velocidad o posición. Ejemplos de bombas que ayudan a un fluido a subir de una cota menor a una mayor, en los que adicionan energía en forma de presión, son aquellas que mueven fluidos que necesitan de una gran presión para vencer las pérdidas en tuberías, ya que en este tipo de bombas la velocidad y la cota son constantes. También existen sistemas que requieren bombas en las que variará la velocidad y la presión más la cota será la misma en todo el recorrido.

Las bombas, según el Hydraulic Institute, se pueden clasificar en dos grandes grupos: bombas de desplazamiento positivo y bomba roto dinámica (dinámicas), y cada una posee subdivisiones, como se muestra en la figura 1.

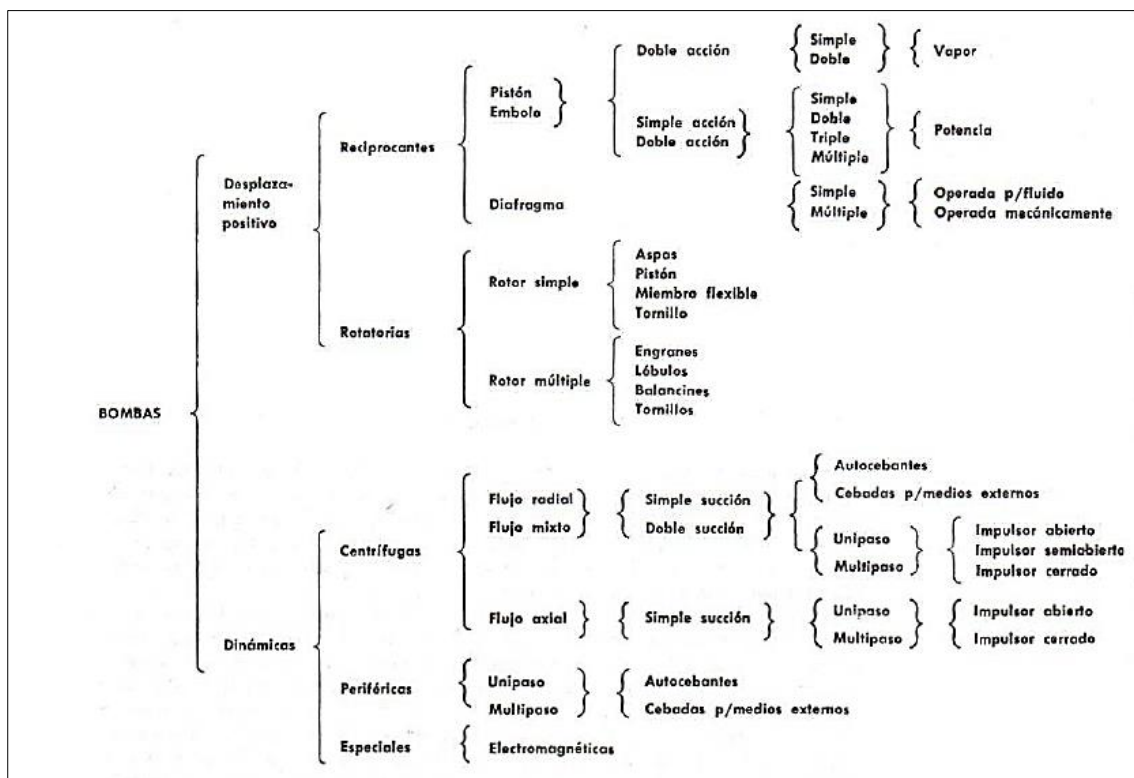
1.2. Bomba de desplazamiento positivo

Las bombas de desplazamiento positivo son aquellas en las que el fluido a desplazar se encuentra siempre contenido entre el elemento impulsor y la carcasa o cilindro. Las bombas de desplazamiento positivo se pueden dividir en reciprocantes, utilizadas mayormente para impulsar líquidos y gases; y rotatorias, utilizadas generalmente para líquidos viscosos.

Este tipo de bombas consiste en el desplazamiento de un fluido no compresible debido a la disminución del volumen dentro de una cámara, al que se le denomina principio de desplazamiento positivo. Las bombas reciprocantes y rotatorias poseen dos cámaras: una en la que aumenta el volumen y otra en la que disminuye el volumen; nombradas, respectivamente, de succión e impulsión.

Una de las ventajas de las bombas de desplazamiento positivo es su resistencia a grandes presiones; un ejemplo de esto es la bomba de embolo, por lo que el principio de desplazamiento positivo demuestra que son alcanzables grandes presiones.

Figura 1. **Clasificación de bombas hidráulicas**



Fuente: ZUBICARAY, Manuel. *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. p. 14.

1.3. Bombas rotodinámicas

Las bombas rotodinámicas pertenecen a la categoría de turbomáquinas, este tipo de máquinas realizan el cambio de energía por la variación de energía cinética, la que se realiza por medio de rodets.

- Ventajas
 - No utilizan válvulas para su funcionamiento.
 - Se pueden utilizar en líquidos densos o delgados.
 - Por la naturaleza de su funcionamiento tiene la capacidad de trabajo para grandes gastos.

- Desventajas
 - La presión de trabajo es limitada.
 - Los líquidos con los que trabaje deben estar libres de materiales abrasivos y corrosivos, ya que estos pueden dañar las aspas o dientes de los rotores.
 - La variación de la presión afecta directamente el gasto.

1.4. Bomba centrífuga

Este tipo de bombas debe su nombre a que eleva las partículas de fluido por la acción de fuerza centrífuga, esta la imprime por medio de un rotor colocado al centro en su interior, que recibe la energía mecánica por medio de un motor eléctrico o de combustión interna.

Figura 2. **Bomba centrífuga serie ECO-MAT**



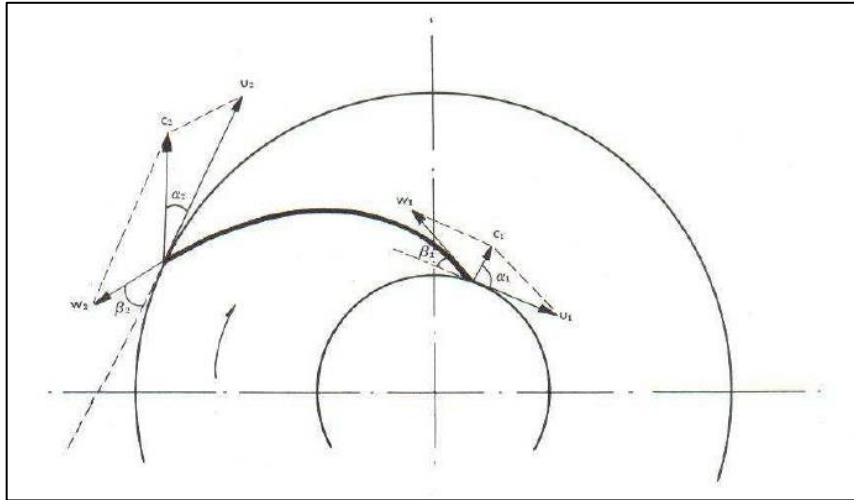
Fuente: Bombas Hasa. *Bombas: catálogo general 2018*. p. 10.

1.4.1. Teoría del impulsor

Esta teoría estudia los componentes de velocidad del fluido, para mayor comprensión se recurre al estudio gráfico de sus vectores; la forma del triángulo que forman sus componentes recibe el nombre de triángulo de velocidades. Los lados del triángulo de velocidad son:

- Velocidad periférica del impulsor (u)
- Velocidad relativa del flujo (ω), considerada con respecto al impulsor
- Velocidad absoluta del flujo (c), considerada con respecto a la carcasa

Figura 3. **Velocidad y ángulos del impulsor**



Fuente: ZUBICARAY, Manuel. *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. p. 56.

1.4.2. Eficiencia

En este tipo de bombas el impulsor genera toda la carga, el resto de los componentes de la bomba producen pérdidas mecánicas e hidráulicas; las pérdidas se generan desde el punto de ingreso hasta el punto de descarga.

La eficiencia hidráulica se define de la siguiente forma:

$$eh = \frac{H}{H_i}$$

Donde:

$$H = H_i - \text{pérdidas hidráulicas}$$

$$H_i = \text{carga de entrada}$$

La eficiencia mecánica se representa de la siguiente forma:

$$em = \frac{Pf - pm}{Pf}$$

Donde:

Pf = potencia al freno

pm = pérdidas mecánicas

1.5. Acción de la bomba centrífuga

Este tipo de bombas depende del movimiento del líquido. La bomba adiciona energía al fluido cuando acelera el rodete; hace que las partículas del líquido suban por el conducto de aspiración; pasa por el centro de la carcasa donde se encuentran los impulsores; al salir de este punto atraviesa una espiral, donde desciende el líquido de forma gradual que ocasiona que la energía cinética se transforme en presión de fluido.

1.6. Bomba centrífuga vertical tipo turbina

Las bombas centrífugas verticales tipo turbina han sido diseñadas para el bombeo de líquidos limpios o con contaminación mínima. Posee la característica que se instala directamente sobre el tanque; queda en el extremo superior, a nivel del brocal, el motor de la bomba (queda en un lugar seco) y la sección hidráulica (impulsores) está sumergida en el líquido; la descarga se produce a través de la columna de descarga; en este se encuentra ubicado el eje de la bomba.

El impulsor inferior succiona el fluido inicial y lo conduce hacia arriba al siguiente impulsor, y este a su vez lo conduce al siguiente; cada uno de estos impulsores incrementa la capacidad de carga de la bomba; a cada uno de estos impulsores se le denomina etapas. Los impulsores son movidos por medio de un eje accionado por el motor que se encuentra en la parte superior; a lo largo del eje existen cojinetes deslizantes lubricados por el líquido bombeado.

Figura 4. **Bomba tipo turbina vertical**



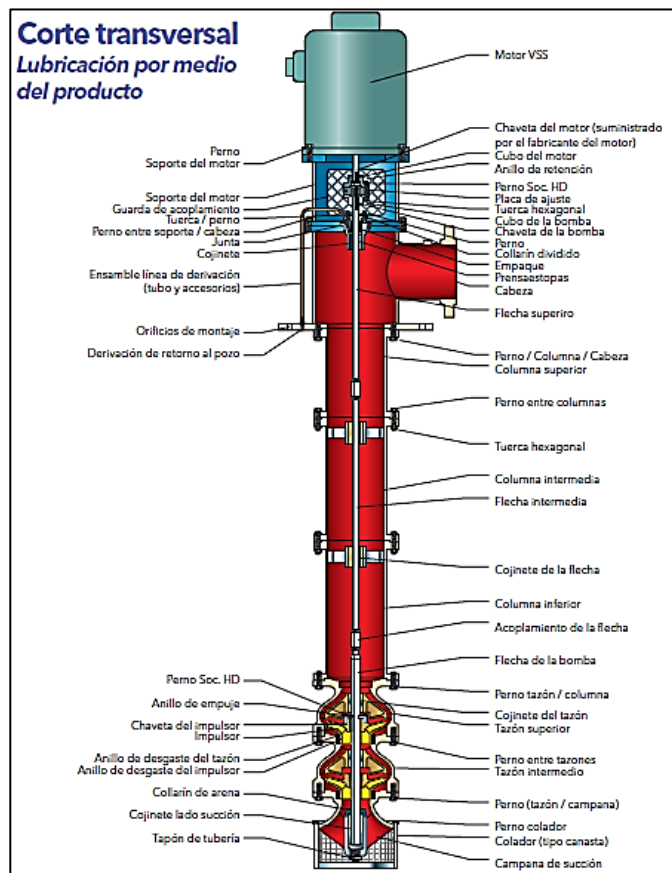
Fuente: Goulds Water Technology. *Catálogo de bombas verticales tipo turbina*. p. 2.

1.7. **Características de las bombas verticales**

- El motor se encuentra en la parte superior de la bomba, en un lugar seco.

- Los impulsores se encuentran sumergido en el líquido en la parte más baja.
- Se utilizan cuando el nivel estático se encuentra a una profundidad de 300 a 800 pies.
- Cada tazón en la bomba representa una etapa.
- El cabezal de descarga se encuentra ubicado debajo del motor.
- Es lubricado por el fluido que succiona.
- El colador debe estar a 50 pies del fondo del pozo.

Figura 5. **Sección transversal de bomba tipo turbina vertical**



Fuente: Goulds Water Technology. *Catálogo de bombas verticales tipo turbina*. p. 3.

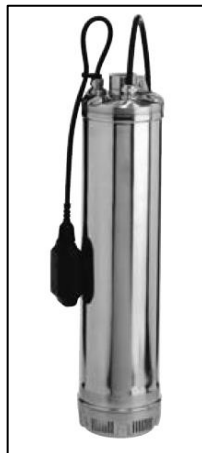
1.8. Bombas sumergibles

Las bombas sumergibles son aquellas en las que el conjunto (impulsores y motores) se encuentran en una carcasa sellada, sumergidos en el líquido a bombear. Este tipo de bombas de succión no depende de la presión de aire externa para ascender un líquido, por lo que proporciona valores altos de fuerza de elevación. Este tipo de bombas se utiliza en pozos con valores de profundidad mayores a los 800 pies.

Al instalar este tipo de bombas se debe tener cuidado de contar con la siguiente instrumentación:

- Válvula de compuerta
- Válvula horizontal de retención
- Manómetro
- Válvula contra presión

Figura 6. **Electrobomba sumergible monobloc**



Fuente: Likitech, *Catálogo de productos bombas sumergibles*. p. 3.

2. INGENIERÍA BÁSICA

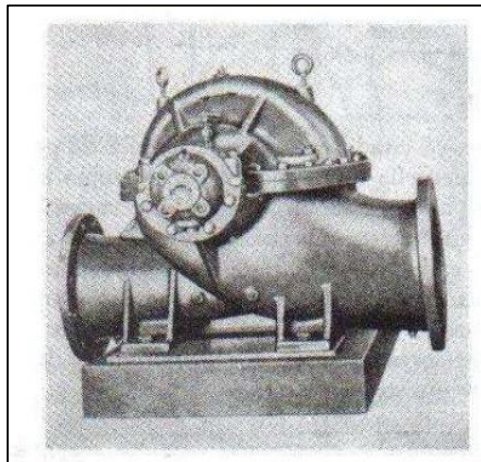
2.1. Mecanismos de bombeo

A continuación, se muestra el mecanismo de bombeo de la máquina.

2.1.1. Carcaza

La función de la carcaza es convertir la energía de velocidad cedida por los impulsores al líquido en energía de presión.

Figura 7. **Carcaza**

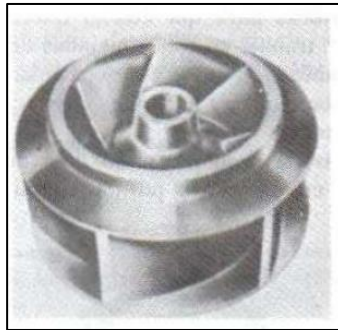


Fuente: ZUBICARAY, Manuel. *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. p. 40.

2.1.2. Impulsor

Es una de las partes principales de la bomba y la única móvil; este recibe el líquido y al girar le imparte velocidad; la velocidad dependerá de la carga producida por la bomba.

Figura 8. **Impulsor tipo Francis**

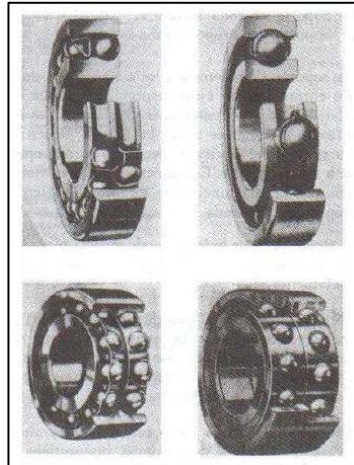


Fuente: ZUBICARAY, Manuel. *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. p. 43.

2.1.3. Cojinetes

Los cojinetes son los elementos mecánicos que reducen la fricción entre el eje y las piezas conectadas a este por medio de una rodadura, que sirve de apoyo y facilita el desplazamiento.

Figura 9. **Cojinetes varios tipos**



Fuente: ZUBICARAY, Manuel. *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. p. 47.

2.1.4. Ejes

El eje es el elemento que transmite la energía del motor al impulsor o impulsores; este es el que se encuentra conectado al motor; se recomienda que los ejes para las bombas sean de acero 1045, este acero es apto para soportar torsión.

2.2. Selección de bomba

Para la selección de bomba los parámetros mínimos a tener en cuenta son los siguientes:

- Profundidad del pozo
- Diámetro del pozo
- Nivel estático

- Nivel dinámico
- Caudal a expulsar
- Presión de trabajo
- Alturas
- Punto de operación

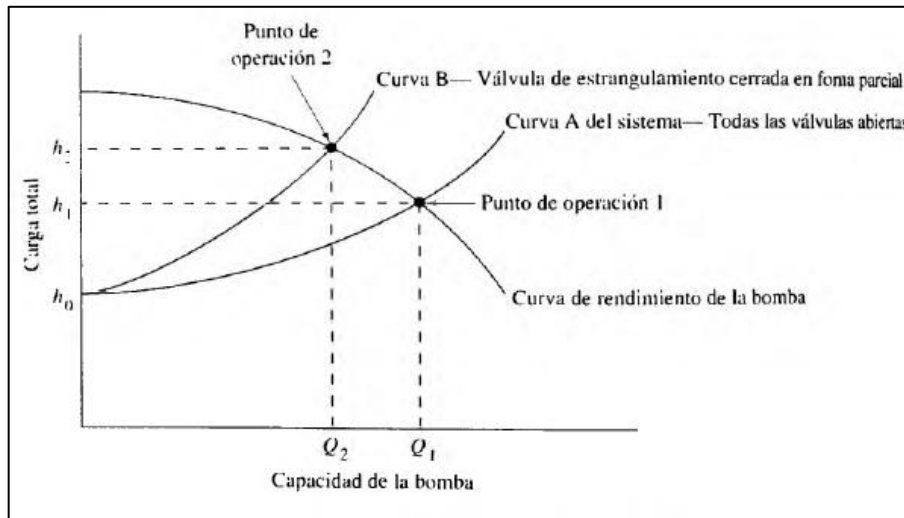
El punto de operación de una bomba es el flujo volumétrico que enviará la misma cuando se instale dentro de un sistema dado. La carga de la bomba la obtendremos al calcular la pérdida en el sistema. Este punto se obtiene cuando la curva característica de la bomba intercepta a la curva característica del sistema.

El nivel dinámico de un pozo se refiere al nivel del agua del pozo conforme se avanza el bombeo. Y el nivel estático es el nivel original del acuífero en donde el agua permanece dentro de un pozo cuando no se está aplicando ninguna forma de extracción. Cuando se empieza a bombear se genera una diferencia de cotas entre el nivel estático y el dinámico; a esta diferencia se le denomina abatimiento.

2.3. Curvas en el sistema de bombeo

Las curvas que se utilizan en los sistemas de bombeo son la curva del sistema de bombeo y la curva característica de la bomba; esta curva es la relación entre la carga de trabajo y el gasto (si es la curva del sistema), o de la capacidad que posee una bomba para bombear un líquido (curva característica de la bomba). La curva característica de la bomba es proporcionada por el fabricante; mientras que la curva del sistema es calculada por el proyectista tomando en cuenta todos los parámetros que intervienen en la conducción del líquido.

Figura 10. **Curvas del sistema de bombeo**



Fuente: MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. p. 413.

2.4. Elementos de la carga dinámica total

La carga dinámica total o CDT es la sumatoria de todas las pérdidas de carga que se generan para llegar al punto de descarga, o de disposición final.

2.4.1. Caso 1

En este caso se verán los factores para una bomba de eje horizontal

- a = altura del nivel mínimo del agua al eje de la bomba.
- b = pérdida de carga por fricción en la línea de bombeo.
- c = la altura de bombeo, que sería la altura medida del eje de la bomba a la salida de descarga.
- d = pérdida de carga por fricción en la línea de succión.

- e = pérdida por velocidad.
- f = pérdidas menores debido a accesorios.

$$CDT=a+b+c+d+e+f$$

2.4.2. Caso 2

En este caso veremos las pérdidas para una bomba vertical con motor externo.

- a = altura del nivel dinámico a la boca del pozo
- b = pérdida de carga por fricción en la línea de succión
- c = altura de la boca del pozo a la descarga
- d = pérdida de carga por fricción en la línea de bombeo
- e = pérdida por velocidad
- f = pérdidas menores debido a accesorios

$$CDT=a+b+c+d+e+f$$

2.4.3. Caso 3

En este caso se verán las pérdidas para una bomba sumergible.

- a = altura del nivel dinámico a la boca del pozo
- b = pérdida de carga por fricción en la línea de succión
- c = altura de la boca del pozo a la descarga
- d = pérdida de carga por fricción en la línea de bombeo
- e = pérdida por velocidad
- f = pérdidas menores debido a accesorios

$$CDT=a+b+c+d+e+f$$

2.5. Carga neta positiva de succión

Es la carga de succión neta positiva con relación al plano de referencia (NPSH, por sus siglas en inglés). Se observa como la columna de agua que debe existir sobre una bomba, como mínimo, para que esta trabaje sin que existan efectos de cavitación.

Se deben tener en cuenta dos conceptos: NPSH requerido y NPSH disponible. El primero es el NPSH requerido (NPSHr) para evitar la cavitación, este dato es proporcionado por el fabricante, debido a que depende de las características de la bomba. El segundo el NPSHd, depende de las características del líquido a bombear y las características de operación.

- NPSH requerido

$$NPSHr = H_z + \frac{v^2}{2g}$$

H_z = presión absoluta necesaria en la zona inmediata anterior a los alabes

$\frac{v^2}{2g}$ = carga cinética correspondiente a la velocidad de entrada del líquido en
la boca del impulsor

- NPSH disponible

$$NPSHd = H_a - H_s - H_v - H_f$$

H_a = presión atmosférica en pies

H_s = altura de succión en pies

H_v = presión de vapor en pies

H_f = pérdidas por fricción en la tubería de succión en pies

Para evitar los efectos de la cavitación, el NPSHd debe ser siempre mayor al NPSHr de la bomba.

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr}$$

2.6. Potencia y eficiencia

A continuación, se muestra la potencia y eficiencia.

2.6.1. Potencia

La potencia en una bomba es la rapidez con que la bomba puede transferir energía a un fluido.

- Potencia al freno

$$P_f = \frac{Q * CDT}{3960}$$

Donde:

P_f = potencia al freno en horse power

Q = gasto en galones por minuto

CDT = pérdidas de carga en m

- Potencia

$$P = \frac{Q * CDT}{75\eta}$$

Donde:

P = potencia en hp

Q = gasto en l/s

CDT = pérdidas de carga en m

η = eficiencia en %

2.6.2. Eficiencia

Es la relación de la potencia transmitida por la bomba al fluido y la potencia suministrada a la bomba. Debido a pérdidas de energía, no toda la potencia que ingresa a la bomba es transmitida al fluido. El valor de esta relación siempre será menor a uno.

- Eficiencia mecánica

$$e_m = \frac{\text{potencia transmitida al fluido}}{\text{potencia de entrada al fluido}}$$

2.7. Cavitación en las bombas

La cavitación se da cuando la presión de succión al ingresar a la bomba es demasiado baja, formando burbujas en el fluido. Estas burbujas de agua al estallar provocan erosión en los impulsores de la bomba. Este efecto se puede

identificar en las bombas, ya que éstas expulsarán partículas de metal en el fluido, la bomba se tornará ruidosa y el rendimiento de la bomba se reduce grandemente.

Causas que generen cavitación:

- Disminución de presión atmosférica
- Incrementó en la temperatura del agua

2.7.1. Presión de vapor

Esta presión se da cuando las fases líquidas y de vapor de una sustancia se encuentran en total equilibrio. Un líquido volátil es aquel que posee una presión de vapor relativamente alta y se evapora rápidamente en condiciones ambiente. El incremento de la temperatura de un fluido hace que aumente la carga de presión de vapor, por lo que se debe tener gran cuidado cuando se trabajen en pozos donde el líquido que se succiona esté a altas temperaturas.

Figura 11. Presión de vapor y carga de presión de vapor del agua

Temperatura °C	Presión de vapor (Pa abs)	Peso específico (kN/m ³)	Carga de presión de vapor (m)
0	0.6105	9.806	0.06226
5	0.8722	9.807	0.08894
10	1.228	9.804	0.1253
20	2.338	9.789	0.2388
30	4.243	9.765	0.4345
40	7.376	9.731	0.7580
50	12.33	9.690	1.272
60	19.92	9.642	2.066
70	31.16	9.589	3.250
80	47.34	9.530	4.967
90	70.10	9.467	7.405
100	101.3	9.399	10.78

Fuente: MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. p. 413.

2.7.2. Golpe de ariete

Este se origina cuando se cierra bruscamente una válvula instalada en un extremo de la tubería o cuando hay cese de energía. Las partículas de fluido que se detienen abruptamente son empujadas por aquellas partículas que vienen detrás. Esta reacción origina una sobrepresión que se desplaza a lo largo de la tubería a una gran velocidad.

La sobrepresión del líquido lo comprime ligeramente reduciendo su volumen, esta acción dilata la tubería. Al detenerse todo el líquido contenido en

la tubería, finaliza el impulso que la comprimía y este tiende a expandirse. La tubería retoma sus dimensiones normales, luego de haberse ensanchado un poco, esto provoca una onda de presión en sentido contrario. Una depresión con respecto a la presión normal de la tubería se produce cuando el fluido se desplaza en dirección contraria al estar la válvula cerrada. Al reducirse la presión en la tubería, el fluido puede pasar a estado gaseoso, formando burbujas dentro de la tubería.

La celeridad es la velocidad con que se propaga la onda de sobre presión, y se representa de la siguiente forma:

- Celeridad

$$\alpha = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + \left(\frac{K}{E}\right)\left(\frac{\phi_i}{e}\right)}}$$

$\alpha =$ celeridad

$K =$ módulo de elasticidad volumétrico del agua

$e =$ espesor de tubería

$E =$ módulo de elasticidad del material de la tubería

$\phi_i =$ diámetro interno de la tubería

- Sobre – presión

$$\Delta P = \frac{\alpha * v}{g}$$

$\Delta P =$ sobre – presión

$\alpha = \text{celeridad}$

$v = \text{velocidad}$

$g = \text{aceleracion de la gravedad}$

2.8. Leyes de afinidad

Las leyes de afinidad o semejanza hidráulica, se dan debido a que las bombas centrífugas operan a diferentes velocidades para obtener capacidades diferentes. Estas tienen la ventaja de que se les pueden acomodar impulsores de diámetros diferentes a una carcasa de un tamaño dado. Al realizar las modificaciones de diámetro o velocidad del impulsor se debe tomar en cuenta que variarán la capacidad de gasto, la carga y la potencia.

- Cuando varía la velocidad
 - Capacidad

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- Carga

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

- Potencia

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

- Cuando varía el diámetro del impulsor

- Capacidad

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

- Carga

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

- Potencia

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

3. SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO

3.1. Pasos para la elección de una bomba

Para seleccionar una bomba para un sistema de bombeo deben tomarse en cuenta una serie de consideraciones tomadas con base en las condiciones y requerimientos. Hay que tomar en cuenta que estas consideraciones y requerimientos están determinados por el uso de la misma; es decir, que no serán las mismas consideraciones para una bomba de eje vertical que extraerá el líquido de un pozo y lo depositará en un tanque cisterna, que para una de eje horizontal que tomará el líquido del tanque cisterna y lo enviará a un tanque elevado o a una red de sistema de distribución.

Una vez son tomados en cuenta, puede procederse a seleccionar la bomba cómo se desarrolla en el punto 2.2.

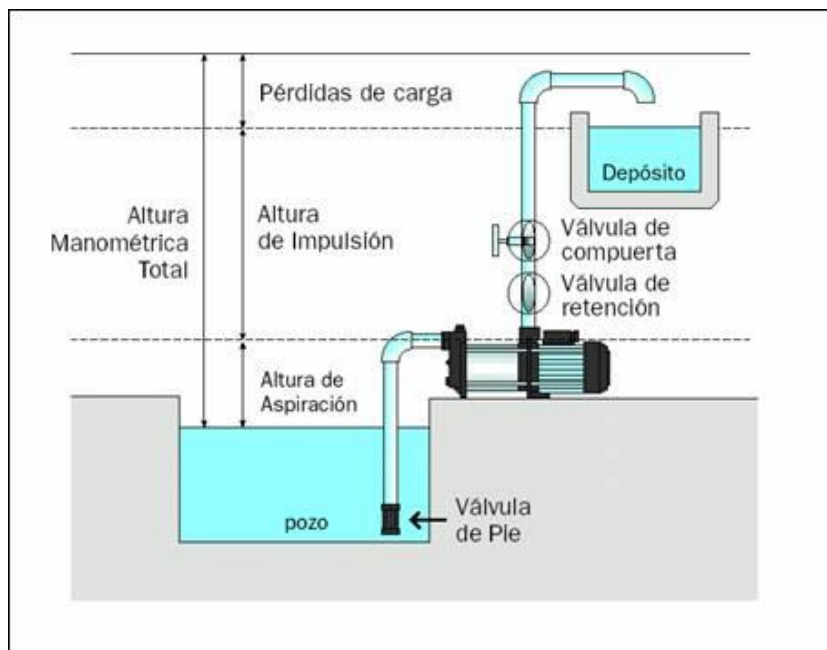
3.1.1. Pasos para la elección de una bomba para el impulso de un líquido

Se refiere a la bomba a utilizar para impulsar el líquido del tanque cisterna al tanque elevado de almacenamiento y sistema de abastecimiento. Aunque técnicamente todas impulsan el líquido, se le llamará así a las que elevan la cota en el sistema y de extracción a las que lo extraen directamente del pozo. Según Robert Mott, se deben seguir los siguientes pasos:

- Capacidad requerida a bombear
- Condiciones de carga y descarga (entrada y salida)

- Carga, o altura, total sobre la bomba
- Tipo de sistema que impulsará el fluido

Figura 12. **Diagrama del sistema de una bomba de eje horizontal para el impulso de líquido en pozos profundos**



Fuente: Universidad de Sevilla. *Diagrama del sistema de una bomba de eje horizontal.*

<http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y>

[riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_02.Html](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y). Consulta: 18 de marzo de 2019.

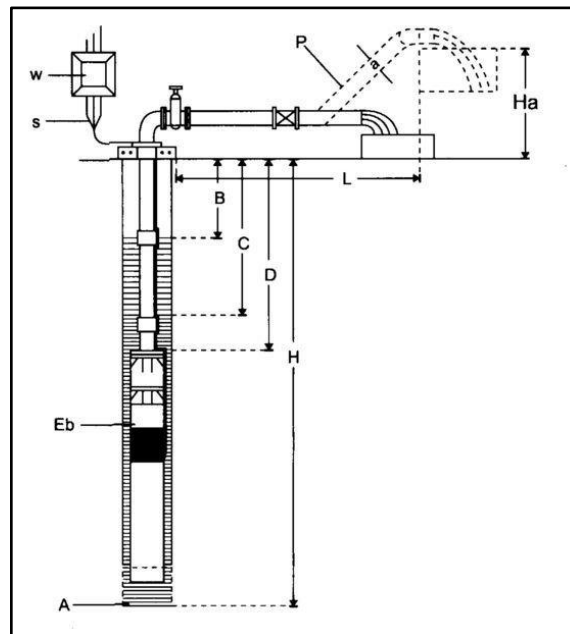
3.1.2. **Pasos para la elección de una bomba para la extracción del líquido del pozo**

A diferencia de las anteriores cuya razón es impulsar el líquido, las condiciones son otras la que estarán bajo el nivel estático, siempre sumergidas. Ya que es la bomba que toma el agua directamente, al contrario de la horizontal que lleva un sistema anterior a la misma, y que la depositará en la cisterna,

debido a que su función principal es tomar el líquido directamente del pozo. Para su elección se deben seguir los siguientes pasos.

- Profundidad del pozo
- Diámetro del pozo
- Niveles estáticos
- Dinámico del pozo (este es responsable, quién aforó)
- Caudal a expulsar
- Presión de trabajo
- Alturas o cotas

Figura 13. **Croquis de una bomba de eje vertical para la extracción de líquido en pozos profundos**



Fuente: IMAGENESMI. *Croquis de una bomba de eje vertical.*

<https://www.imagenesmi.com/im%C3%A1genes/diagrama-de-un-pozo-agua-73.html>. Consulta:

18 de marzo de 2019.

3.1.3. Pasos adicionales para la elección de una bomba

Además de los pasos ya mencionados que tiene que ver con el aspecto del funcionamiento de la bomba, hay que tomar en cuenta también la operatividad de la misma, se deben seguir los siguientes pasos:

- Tipo de la fuente de potencia al sistema
- Limitaciones físicas y espaciales
- Condiciones ambientales y operativas
- Costos (equipo, instalación y operación)
- Códigos y normativas internacionales o nacionales

3.2. Condiciones de operación

Para que un sistema de bombeo, es decir, el que contempla tanto la extracción del líquido hasta su depósito o repartición, es necesario que se instale, se use y se dé el mantenimiento apropiado el equipo de bombeo. Por lo general, se refiere a las características físicas, técnicas y espaciales necesarias para que las bombas funcionen correctamente.

3.2.1. Características, especificaciones y detalles técnicos del fabricante

Una vez elegida la bomba para la tarea a desempeñar y seleccionado el tipo de equipo según las características del sistema tomando en cuenta los criterios del capítulo 2.2., es necesario, antes que nada, atender a lo que el fabricante especifica para su funcionamiento y uso, así como el correcto mantenimiento requerido. Esto garantizará que el equipo se desempeñe de forma eficiente y, en caso de ser necesario, reclamar la garantía correspondiente.

3.2.2. Instalación

Debe tenerse en cuenta que para que el equipo funcione adecuadamente se debe emplazar en el lugar más cercano al NPSHd, es decir, al límite de cuanto cerca está el fluido de la cavitación. De otra manera es recomendable realizar los cambios correspondientes para que, cuando trabaje, no se aleje de su curva óptima.

Por lo general, los fabricantes cuentan con manuales para la instalación de sus equipos. Aun así, es obligatorio que la instalación cumpla con los siguientes requerimientos:

- Debe contar con una cimentación adecuada que absorba las vibraciones que puedan producirse durante la puesta en marcha.
- Debe comprobarse la perfecta alineación del rotor, y de ser necesario deben corregirse.
- Debe quedar perfectamente nivelado y sujeto firmemente a los pernos de anclaje, no soldado.
- Se deben acoplar correctamente las tuberías de aspiración e impulsión, teniendo el cuidado que estas no transmitan ninguna tensión a las bridas de la bomba.
- Para el dimensionamiento y trazado de la tubería de aspiración, o de succión, se deben tomar en cuenta las especificaciones del fabricante; de no contar con estas deben tomarse en cuenta los siguientes requerimientos:

- La tubería de aspiración debe ser corta, con el menor número de codos; estos deben emplearse con un gran radio de curvatura y el tramo antes de llegar a la bomba debe ser recto.
- El diámetro debe ser de 1,5 a 2 veces el diámetro de orificio de la brida de la bomba.
- Debe instalarse un cono excéntrico de entrada para evitar la formación de bolsas de aire cuando la bomba funcione con depresión; si esta trabaja en carga, el mismo puede ser concéntrico.
- La tubería debe ser ascendente hacia la bomba y contar con una pendiente mínima de 2 %.
- La entrada de aire debe permanecer hermética.
- Deberá ser instalada una válvula de pie adecuada para cuando la bomba funcione en depresión y así poder cebarla; debe ser colocada a la profundidad necesaria, sumergida, para evitar la toma de aire por la formación de vórtices.
- La tubería de impulsión o descarga, también, debe ser diseñada con los parámetros del fabricante; de no contar con estos se debe reunir los siguientes requerimientos:
 - Debe ser hermética.
 - Debe contar con las dimensiones adecuadas para no producir excesivas pérdidas de carga.

- Debe disponer de una válvula reguladora a la salida de la bomba.
- De ser necesario, debe instalarse entre la bomba y la válvula reguladora o de compuerta, una válvula de retención o antiretorno entre la bomba y la valvular de compuerta, así como los dispositivos apropiados para eliminar posibles golpes de ariete.

En el caso de una bomba vertical para sacar el líquido del pozo debe tenerse en cuenta:

- El equipo debe quedar en una posición donde es fácil la inspección y el mantenimiento.
- Debe proporcionarse una altura libre superior, al nivel del brocal, y espacio alrededor para la instalación de grúas, tornos u otros dispositivos de levante necesarios.
- Debe protegerse en caso de inundación.
- Debe instalarse lo más cercano al punto de depósito.
- Deben colocarse soportes especiales para que el equipo no sufra tensión por parte de la tubería ni de la carcasa al ser instalada.
- Jamás debe ser halada para llevarla a su posición.
- La entrada de succión instalarse a cuatro veces el diámetro de la tubería por debajo del nivel estático.

- En la entrada de succión, en caso de que el fabricante no lo especifique o no lo crea necesario, es recomendable, para evitar la formación de vórtices y perturbaciones, por lo que hay que tomar en cuenta:
 - Un cono en la entrada de succión o una entrada grande para evitar vórtices.
 - Instalar rompedores de vórtices o placas desviadora (esta última evita las perturbaciones).
 - En caso de necesitar colocar codos en la entrada de succión, estos deben ser de un gran radio de curvatura; jamás se deben utilizar codos cortos.
- Deben instalarse en la tubería de salida o descarga una válvula de compuerta y una válvula antirretorno entre la anterior y la bomba.
- En caso de instalar filtros de succión, el tamiz debe ser de menor grado que las esferas permitidas por el impelente.

Para todos los tipos de bombas debe, obligatoriamente, tomarse en cuenta el sistema de alimentación al motor. Ya que una mala instalación eléctrica puede causar un daño catastrófico al equipo; de ser de combustible fósil, debe tenerse en cuenta el mantenimiento del sistema de arranque del motor.

3.2.3. Funcionamiento (puesta en marcha y paro)

El funcionamiento no es más que la bomba trabajando para impulsar el líquido y todo lo que conlleva, es decir, el arranque y la parada o también llamada

frenada. La bomba debe utilizarse según los criterios de selección y para ningún otro fin, así como debe operarse de manera adecuada como estipula el fabricante.

Si la bomba será puesta en marcha por primera vez deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Comprobar el perfecto cebado de la bomba y tubería, eso significa que se debe eliminar todo el aire que pueda contener el sistema especialmente en la tubería de aspiración o entrada de succión.
- Asegurar que el empaque quede perfectamente colocado y apretado de forma suave.
- Revisar que el eje gire a mano fácilmente; de no ser así, puede ser problema de engrase o un indicativo de un problema mayor; no se debe arrancar si existe riesgo de atasco.
- Revisar la alineación en el momento de la instalación y antes de arrancar.
- Verificar el sentido de giro del eje, este debe coincidir con la flecha indicadora.
- Vigilar el voltaje del motor o el nivel de combustible (esto aplica, también, en caso se use un generador).

En el caso de las bombas sumergidas, los pasos c y d no podrán realizarse por lo que es necesario que se haga una revisión de estos antes que sea sumergida.

Para realizar la marcha, una vez comprobados los puntos anteriores, deberán realizarse los siguientes pasos de la forma correspondiente:

- Cerrar la válvula reguladora de impulsión, o succión, de forma de reducir al mínimo el consumo de la bomba.
- Prender y arrancar el equipo.
- Abrir lentamente la válvula cuando se alcance la velocidad de régimen, teniendo cuidado en vigilar la variación del amperaje, hasta que la válvula quede completamente abierta (en régimen normal, el consumo indicado en la placa del motor no debe ser superado).

Para preceder; el frenado debe seguirse un procedimiento similar, únicamente debe llevarse la válvula reguladora en la misma posición que en la puesta en marcha. Esto tiene por fin reducir al mínimo la potencia absorbida de la red.

En caso una bomba estuviera parada por un tiempo prolongado, para hacerla funcionar de nuevo se debe proceder como si se tratara de la primera vez que será puesta en marcha, comprobando cada uno de los pasos anteriores adecuadamente.

3.2.4. Control

Es una parte importante durante la operación de un sistema de bombeo ya que este asegura el correcto funcionamiento del equipo y de la red en sí. Durante el funcionamiento del equipo, es decir, mientras el líquido se bombea, el sistema requiere poca atención, únicamente es necesario vigilar la temperatura de los

rodamientos, el engrase y nivel de aceite, de la caja de rodamientos, el goteo y la refrigeración de la empaquetadura.

Debe evitarse que el equipo de bombeo llegue a trabajar abajo del flujo mínimo ya que puede causar que exista cavitación, que la bomba trabaje más allá de su capacidad aceptable y exista un sobreesfuerzo en el motor. Para ello deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Vigilar el NPSHd: el tanque cisterna debe tener un indicador hasta donde se alcanza el nivel mínimo para evitar que se forme cavitación; en el caso de las bombas sumergidas que operan dentro de un pozo, debe poder verse la rejilla de filtración como medida.
- Vigilar que la bomba opere de forma ruidosa o tempestuosa, ya que puede ser señal de posibles daños físicos debido a recirculación interna.
- Vigilar los niveles de pulsación en la succión y descarga.
- Vigilar el consumo de amperios del motor o el consumo de combustible.
- Observar la temperatura del equipo, así como posibles fugas de aceite o goteo excesivo.
- Llevar un control periódico, estricto y ordenado de mantenimiento, así como registrar el historial de mantenimiento.

3.2.5. Mantenimiento

Este debe hacerse según las especificaciones del fabricante. Aun así, existen lineamientos esenciales que tienen que cubrirse siempre, estos son: la lubricación y el engrase del eje, las correcciones en los cojinetes y el alineamiento, la revisión del impelente, la limpieza del motor y del sistema de arranque.

Como se mencionó en el punto anterior, es indispensable mantener un control adecuado y estricto sobre este aspecto y llevar un registro del mismo de forma ordenada, clara y que pueda estar disponible en cualquier momento.

3.3. Características del líquido

El líquido que será impulsado es quien determinara la potencia de la bomba, así como el diseño de toda la red. Dado que el énfasis que se maneja en el presenta trabajo se establece que el sistema de bombeo se diseña para agua junto con todas sus propiedades.

Se busca que, como su nombre lo indica, se encuentre en estado líquido, incompresible, preferentemente libre de sólidos en suspensión. En caso de tener alguno que este sea del tamaño menos a la esfera indicada por el fabricante para evitar atascos y daños al impelente.

Se desea que esta ronde entre los veinte grados celcius, aproximadamente la temperatura ambiente, aunque puede variar según las especificaciones del fabricante. Se espera que se encuentre en una temperatura que no se congele y afecte el equipo al no poder impulsarlo o que cambie sus condiciones físicas o que posea trozos sólidos (hielo) que puedan dañar el impelente ni tan caliente al

punto que se puedan formar burbujas y puedan causar cavitación o efecto de golpe de ariete.

3.4. Características de la bomba

Las características de las bombas varían según el tipo de bomba y del fabricante, y son las siguientes:

- Cilindrada: se define como la cantidad de volumen de líquido desplazado en una vuelta completa del eje se determina como $\text{cm}^3/\text{revoluciones}$.
- Valor nominal de presión o presión nominal: se llama así a la presión de trabajo dada por el fabricante, es a la que está diseñada la bomba.
- Caudal: también llamado caudal real, es el caudal que proporciona la bomba y se define según la ecuación 3.1.

$$Q = \frac{V * n * \eta_{vol}}{1000} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

- Rendimiento volumétrico: se define como la relación entre el caudal real y el teórico dado por el fabricante.
- Rendimiento total: la relación entre la potencia hidráulica obtenida y la potencia mecánica consumida.

3.5. Accionamiento de bombas

El accionamiento es llamado también puesta en marcha tratado en la sección 3.2.3. La puesta en marcha o accionamiento depende del mecanismo que se utilice para impeler el líquido. Estas se dividen en las siguientes bombas:

- **Electrobombas:** son las bombas impulsadas por un motor eléctrico.
- **Bombas neumáticas:** son bombas de desplazamiento que utilizan un diafragma para que, por medio de un cambio de presión, logra desplazar de la succión (presión aumentada) al impulso (presión reducida).
- **Bomba de accionamiento hidráulico o de golpe de ariete:** son bombas que utilizan la energía cinética que proporciona el golpe de ariete para impulsar el líquido; esta característica resulta en que no utilice motor lo que le hace perfecta para lugares remotos.
- **Bombas manuales o de manivela:** son bombas accionadas por medio de una manivela o un balancín y que utilizan un diafragma, un pistón o un impelente de paletas.

3.6. Cisternas y pozos de bombeo

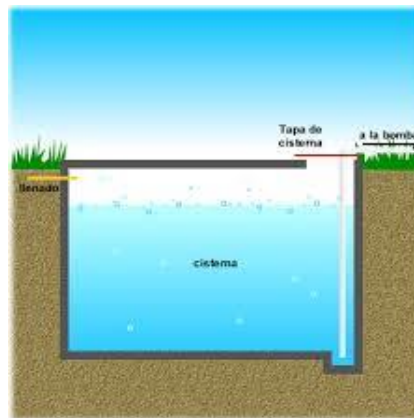
Sirven para depositar el líquido bombeado y para que este pueda ser bombeado de nuevo para salvar alturas de bombeo. En muchos casos la escogencia de uno y de otro depende de la durabilidad de la obra de arte (construcción permanente o temporal) y de su finalidad (como parte del sistema o como una solución temporal).

3.6.1. Cisterna

La cisterna (también llamado a veces como tanque cisterna) es un depósito enterrado, semienterrado o superficial, usado para almacenar agua, de ahí que a veces se le designe como tanque. En un sentido amplio, es cualquier depósito para almacenar un líquido, pero en general se designa al que se encuentra enterrado para diferenciarlo de los tanques o tinaco elevados.

Es una obra de arte permanente dentro del sistema de bombeo, aunque el líquido está pensado para usarse de forma inmediata, en el que se deposita el líquido proveniente del pozo de extracción por medio de una bomba de desplazamiento vertical (generalmente, de una bomba sumergida) y de la cual tomará el líquido una bomba de mayor potencia (una bomba horizontal) la cual la impulsará al tanque elevado o a la red misma u otro tanque cisterna en una estación de bombeo. Existen un sinnúmero de soluciones para cisternas, desde prefabricados hasta depósitos fabricados en obra.

Figura 14. **Detalle de un tanque cisterna enterrada**



Fuente: *Tanque cisterna enterrada*. <http://gcientorno.com/producto/cisterna-de-material-10000lts/>. Consulta: 22 de marzo de 2019.

3.6.2. Cálculo del depósito o cisterna de estación de bombeo

Para el cálculo de se debe contar con el caudal de entrada y el caudal de salida, así como la cota NPSHd, pues es importante que jamás pase de esta aun trabajando ambos equipos. Si es el depósito que irá hacia la red, debe contarse con el estudio de demandas o gasto de la red.

El procedimiento es el siguiente:

- Se determina el caudal de entrada (Q_e) que es el caudal en porcentaje que se usa de líquido bombeado al depósito en el tiempo de bombeo; y se determina como el porcentaje total del caudal entre el número de intervalos de operación ya que se supone lleno (dicho número es determinado por el evaluador y/o el diseñador de entre un día de 24 hora en secciones iguales):

$$Q_e(\%h) = \frac{100}{\text{Número de intervalos}} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

- Se calcula el caudal de consumo o caudal de salida (Q_s), este se obtiene de un estudio de demandas cuando el tanque es de depósito del sistema de bombeo hacia la red. En este caso la demanda será la del caudal de succión de la bomba que impulsa hacia la red y las horas conectadas.
- Se calcula la diferencia entre intervalos.
- Se calcula la diferencia acumulada.
- De los valores mayor y menor se calcula el volumen compensado tomando el valor absoluto más bajo (b) y el valor absoluto más alto (b). Este no incluye el volumen de agua debida a la cota del NPSHd. Es decir:

$$V_c(\%h) = |a| + |b|$$

Ecuación 4.2

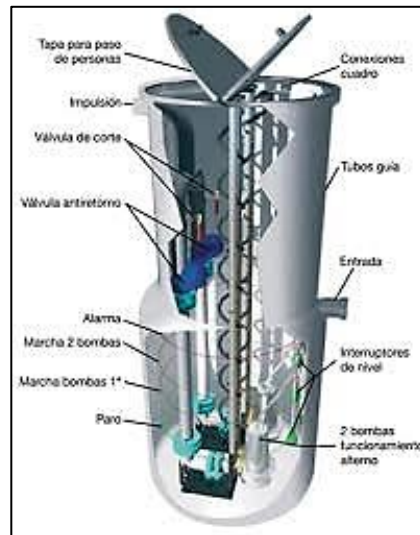
- Se multiplica el factor del volumen compensado por el caudal que entrega la bomba que impele el líquido y ese será el volumen de diseño.
- Se debe escoger el volumen geométrico para determinar el ancho (o diámetro en caso de ser cilíndrico) y la altura de la cota del nivel del líquido. Hay que recordar que esta no cuenta con la cota del NSPHd que habrá que sumárselo a la altura obtenida para tener la altura total de la cota del nivel de líquido.

3.6.3. Pozos de bombeo

Son obras de arte hechas a partir de la rasante, básicamente son unas excavaciones en el suelo de profundidad variable. Se pueden dividir en: fosas o pozos de depósito para llevar el líquido a una cota superior sin necesidad de utilizar una estación de bombeo, lo que lleva menores costos; aunque la cota a salvar deberá ser mucho más corta que con una estación de bombeo con bombas reciprocantes; estos pueden ser prefabricados, industriales de PVC o hechos en obra.

Los otros son los pozos de captación; estos a diferencia de los anteriores, como su nombre lo indica, son los que se hacen para extraer agua. Estos no llevan ningún tipo de recubrimientos en las paredes pues su finalidad es la de permitir extraer el líquido de la capa freática.

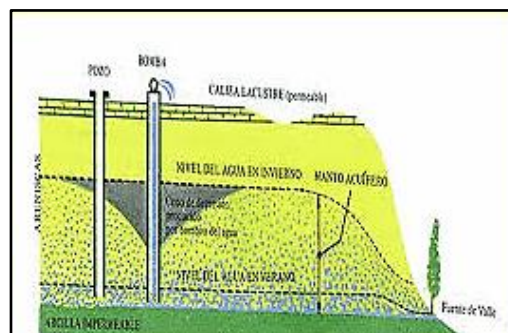
Figura 15. **Detalle de pozo de bombeo prefabricado marca Sande y Díaz**



Fuente: *Pozo de bombeo prefabricado marca Sande y Díaz.*

<http://www.sandeydiaz.com/sandeydiaz/productos55.action/>. Consulta: 23 de marzo de 2019.

Figura 16. **Detalle de un pozo de captación**



Fuente: *Pozo de captación.* http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_03/u3c2s2.htm/.

Consulta: 23 de marzo de 2019.

4. CÁLCULO DEL SISTEMA

4.1. Análisis para el suministro

Se debe comenzar por establecer las condiciones a las cuales servirá el sistema:

- Población objetivo
- Condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas
- Fuentes de captación
- Sistema de transporte del líquido impelido
- Normas técnicas, reglamentos y leyes
- Análisis económico y financiero

4.1.1. Población objetivo

Se refiere a quienes, y por quienes se realiza el sistema, esto no contempla necesariamente solo a las personas, sino a todas las actividades que necesiten ser abastecidas. Por ejemplo, pueden pensarse sistemas de bombeo para industrias, hoteles, hospitales, servicios especiales (tomas para incendios, riego de áreas públicas, fuentes, entre otros), o comunidades residenciales. Y a veces a todas a la vez, como los sistemas de suministro municipal.

Este estudio dará un gasto requerido que es necesario cubrir y para el cual se desea hacer el sistema. Deben establecerse estudios de población con proyecciones a futuro en un tiempo estipulado de servicio, es recomendable no menor a 20 años.

Un método sencillo es la proyección geométrica, aunque es recomendable usar métodos más exactos en caso el trabajo lo requiera, puesto que hay que recordar que la misma proyección determinará el gasto a cubrir y ello incurre en una mayor inversión.

4.1.2. Condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas

Es muy importante hacer un análisis topográfico del sistema puesto que ello determina la altura a salvar, la pendiente que forma esta diferencia de altura, y si es necesario realizar obras de arte complementarias como pasos aéreos y estaciones de bombeo. Es tal vez el aspecto más obvio.

El análisis geológico, junto con el hidrológico, establecen, no solo si es posible encontrar fuentes de captación cercanas, sino que determinan la naturaleza del terreno. Debido a la naturaleza geológica es necesario hacer cimentaciones especiales para los equipos, que no sea posible excavar el suelo y eso incida en la pendiente de diseño y en el que se pueda o no realizar un pozo de captación, puede que sea un terreno propenso a derrumbes y ponga en peligro todo el sistema.

El análisis hidrológico, como ya se mencionó, ayudará a establecer las fuentes de captación; también, comprender el medio en el que se establecerá el sistema; por ejemplo, puede ser una zona lluviosa y haya que tomar en cuenta protección adicional del equipo, que sea una zona en donde se formen corrientes y ríos durante la época de lluvia, o surjan posibles deslaves.

4.1.3. Fuentes de captación

Las fuentes de captación son distintas según la hidrología, topografía y geología del lugar; sabiendo de donde se extraerá el líquido, se puede determinar el equipo que puede ser usado, junto con los otros análisis. Las fuentes de captación se pueden clasificar como:

- Superficiales (ríos, lagos y otros cuerpos de agua)
- Aguas subterráneas (capa freática)

4.1.4. Sistema de transporte del líquido impelido

Básicamente es el análisis hidráulico del acueducto, ya que el gasto requerido se encuentra de analizar las necesidades para el uso del líquido; es decir, en el análisis de la población objetivo, se debe tener la pérdida por llevar el líquido desde el punto impelido hasta el tanque de almacenamiento o la red.

Es acá donde se determinarán el diámetro de la tubería, el material de la misma, si se necesitan accesorios y la pérdida que generan, en donde estarán las estaciones de bombeo de ser necesarias, entre otros. Determinar la potencia de la bomba depende de este análisis.

4.1.5. Normas, reglamentos y leyes

Existen normas técnicas locales para el desarrollo de acueductos, dependiendo del lugar y la región donde se trabaje. También, normas y manuales de diseño internacionales como las normas que tiene la OPS/OMS (Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud) o el ASCE (Instituto Americano de Ingenieros Civiles, por sus siglas en inglés); también, las normas

técnicas a los materiales como las del ANSI (Instituto Americano de Normas y Estándares, por sus siglas en inglés) el Hydraulic Institute en todo lo referente a las bombas hidráulicas. Para estas últimas, también, el ANSI tiene normativos de diseño, instalación y mantenimiento.

Los reglamentos municipales establecen, por lo general, una serie de condiciones, consideraciones y reglamentos para este tipo de obras. En algunos casos, estos son manuales de diseño para sistemas de abastecimiento de agua. También, interesan los reglamentos que refieren a construcción, limitaciones y permisos. Como es el caso de las normativas UNEPAR Y Empagua.

Respecto a las leyes, hay que tener en cuenta las leyes nacionales y regionales, en especial, las de manejo de aguas y las ambientales (MARN). Los requerimientos de los permisos de construcción muchas veces llevan como requisito obtener los permisos de estas instituciones antes de realizar cualquier trabajo.

4.1.6. Análisis económico y financiero

Para cualquier sistema de suministro, es necesario saber si es posible suplir los costes que pueda acarrear su diseño. Así como la rentabilidad del mismo, es decir, si pasado el tiempo será posible que su valor pueda ser suplido por los usuarios.

Adicionalmente, se deben hacer estudios de riesgo y estudios de financiamiento del proyecto. Ya que esto puede limitar y/o hasta cambiar el diseño inicial del sistema de abastecimiento, el equipo de bombeo o determinar su inviabilidad.

4.2. Ejemplo: datos para el cálculo

A continuación, se presenta un ejemplo para la selección de una bomba con los siguientes datos:

- Diámetro del pozo: 8"
- Profundidad: 1 000 pies
- Nivel estático: 500 pies
- Nivel dinámico: 560 pies
- Caudal de prueba y de explotación: 100 GPM
- Distancia de pozo al tanque: 100 metros
- Diferencia de altura del pozo al tanque: 20 metros
- Tipo de tubería a colocar del pozo al pie del tanque de PVC
- Tipo de tubería a utilizar en la bomba del pozo de HG L = 770 pies
- Tipo de tubería a utilizar del pie a la parte alta del tanque de HG
- Eficiencia de la bomba: 75 %

Se necesita calcular el diámetro de la tubería para conducir un caudal de 100 GPM de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{\frac{0,4085Q}{6}} = \sqrt{\frac{0,4085(100)}{6}} = 2,61''$$

Utilizando así un diámetro de 3".

4.3. Cálculo de la carga dinámica total (CDT)

Se toma la carga dinámica total como las pérdidas del sistema a salida de la bomba. De la siguiente manera, determinando las longitudes de cada tipo de tubería a utilizar:

Tubería de HG: tubería en la bomba del pozo + altura del tanque

Tubería de HG = $770+66 = 836$ pies

Tubería de PVC= 328 pies

Cálculo de la carga dinámica total: altura de bombeo + las pérdidas por fricción.

Altura de bombeo: nivel dinámico + altura del tanque

Altura de bombeo= $560+66= 626$ pies

Calculando las pérdidas por fricción de la tubería de conducción:

Para ello se utilizarán las tablas de los anexos 1 y 2, dichas tablas están en función de diámetro, caudal y tipo de tubería; se proporciona así un valor de pérdida por unidad de longitud.

Para un diámetro de 3" y un caudal de 100 GPM se tienen las siguientes pérdidas:

Pérdida para la tubería de HG con longitud de 836 pies, con un valor de 4,50 pies por cada 100 pies, es decir:

$$(836 \text{ pies}/100 \text{ pies})(4,50) = 37,62 \text{ pies}$$

Pérdida para la tubería de PVC con longitud de 328 pies, con un valor de 2,80 pies por cada 100 pies, es decir:

$$(328 \text{ pies}/100 \text{ pies})(2,80 \text{ pies})= 9,18 \text{ pies}$$

La pérdida por accesorios se estima en un 10 % de la pérdida total calculada anteriormente:

$$(37,68 \text{ pies}+ 9,18 \text{ pies})(0,10) = 4,68 \text{ pies}$$

Sumando todas las pérdidas por fricción se tiene:

$$37,62+9,18+4,68= 51,48 \text{ pies de perdida}$$

Sabiendo que la carga dinámica total es la sumatoria de la altura de bombeo calculada anteriormente más las pérdidas por fricción, se tiene:

$$CDT=626 \text{ pies}+51,48 \text{ pies}= 677,48 \text{ pies}$$

Calculando la potencia de la bomba con la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia}=\frac{(Q)(CDT)}{(3960) (\textit{Eficiencia de la bomba})}$$

$$\text{Potencia} = \frac{(100 \text{ GPM}) (677,48)}{(3960)(75\%)} = 22,81 \text{ HP}$$

4.4. Selección de bombas

Continuando con el proceso anterior y tomando en cuenta los resultados como la potencia de la bomba, la carga dinámica total, el diámetro y el caudal, se puede determinar el modelo de una bomba bajo las especificaciones de cualquier proveedor de dicho producto.

Potencia de la bomba: 22,81 HP

CDT: 677,48 pies

Diámetro de tubería: 3"

Caudal: 100 GPM

5. MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

5.1. Conceptos teóricos de mantenimiento

El mantenimiento periódico a las obras de suministro de agua por medio de pozos mecánicos es de suma importancia, ya que garantiza que el funcionamiento sea eficiente. Esto prolonga la vida del equipo y reduce las probabilidades de fallas del sistema de bombeo.

El agua subterránea cada vez más es la principal fuente hídrica para el abastecimiento de la población, es por eso que los pozos mecánicos para abastecimiento de agua potable se han convertido en la principal forma de suministro. En tal sentido es muy necesario conocer los distintos métodos y formas de protección del equipo a través del manteniendo periódico. Sin olvidar su buena operación ya que una mala operación conlleva a problemas en el suministro.

Figura 17. **Mantenimiento de pozo de agua**



Fuente: elaboración propia.

Dado lo anterior es necesario conocer los conceptos básicos para la adecuada operación y el mantenimiento de los pozos mecánicos para el abastecimiento de agua potable.

5.1.1. Boletas de registro

En primera instancia, para el adecuado mantenimiento y operación de los pozos, es necesario implementar un registro del monitoreo y control de las operaciones del pozo; por lo que es necesario generar una serie de boletas de registro para facilitarle el control. Esto tiene que ser completado con una disciplina

del personal y una concientización de la importancia de llevar un adecuado registro de las distintas operaciones, mantenimiento y reparaciones del sistema.

5.1.2. Vida útil del pozo

El término de vida útil depende del tiempo de amortización del dinero invertido en el pozo. Por lo que es de suma importancia monitorear su comportamiento, periódicamente se debe de chequear el caudal de bombeo, la potencia de consumo de la bomba y el régimen de bombeo.

La vida útil del sistema de abastecimiento de agua depende del diseño del proyecto, conlleva a ciertos cálculos específicos, sobre cuánta población será suministrada en años futuros; por lo que el equipo debe garantizar su funcionamiento todo el tiempo; también, se pueden programar cambios de accesorios cada cierto periodo de tiempo para prologar las actividades del proyecto.

5.1.3. Observación del pozo

Mantener un registro adecuadamente interpretado del funcionamiento del pozo, para que se garantice su función y que tenga durabilidad. Puede ser en una hoja de cálculo, con software especializado y simplemente en papel. Lo importante es que exista un registro de niveles, cambios de accesorios, datos de caudales, mantenimientos, entre otros.

5.2. Tipos de mantenimiento

Existen varios métodos para el mantenimiento de pozos mecánicos profundos:

- Método del pistoneo

Consiste en comprimir y aspirar el agua del pozo para generar un flujo de agua hacia el interior y exterior del pozo. El pistón al bajar, crea un empuje que amortigua el agua, por lo que esta escapa hacia la parte superior; cuando el pistón sube crea un empuje al agua, que crea una salida del material fino hacia el exterior.

- Método mixto

Es la combinación de varios métodos, utiliza métodos mecánicos y químicos principalmente, dependiendo de las necesidades e intensidades de bombeo del pozo.

- Método de aire comprimido

El aire comprimido al tener mayor presión que la atmósfera se emplea para empujar el pistón, se pasa por una turbina para generar un flujo de alta velocidad. El aire suministra fuerza a las herramientas neumáticas para destapar cualquier tipo de taponamiento en el pozo que funciona como una tubería.

5.2.1. Equipo de operación y mantenimiento del pozo

Es necesario para todo tipo de operación y mantenimiento de pozos la utilización del equipo adecuado; esto garantiza nuestra seguridad y la durabilidad del equipo, herramientas y funcionamiento del pozo. Para ello es necesario cumplir a cabalidad una serie de requerimientos y especificaciones técnicas para obtener los objetivos deseados. Por ejemplo, se puede mencionar el compresor, que es el generador de energía del sistema de bombeo. Este equipo es de gran tamaño, por lo que hay que tomar en cuenta que pueda llegar a lugar de bombeo y también tomar en cuenta que se necesitan varias personas para operarlo.

5.3. Herramientas de diagnóstico

Se entenderá como herramienta de diagnóstico a toda aquella que se emplee para la supervisión y toma de decisiones en la operación y el mantenimiento del pozo.

La adecuada operación y mantenimiento de pozos depende de la adecuada interacción de las principales áreas de la cadena operativa. Como primera etapa se identifica la revisión de pozo; se genera toda aquella información de calidad, esto se realiza con personal altamente calificado y con responsabilidad. Esto garantiza la operación y durabilidad del sistema de abasteciendo de agua por medio de pozos mecánicos profundos.

Es necesario elaborar un programa o cronograma piloto para la toma de información y diagnóstico del pozo, se identifican indicadores de calidad y tiempo principalmente. Por ejemplo, medición de profundidad y temporalidad de medición.

El cronograma piloto representa la principal herramienta de diagnóstico en la operación y el mantenimiento de los pozos, su diseño y estructura organizacional debe estar a la medida de los requerimientos de acuerdo a las actividades a realizar; despliega las respectivas funciones. Se establece también una estructura de los recursos humanos necesarios para ello.

El diseño de los formatos o boletas que se usarán para obtener la información de campo para el control, el análisis y la toma de decisiones (diagnóstico). Se delimita y orienta a la obtención de información desde el subsuelo hasta la superficie, los equipos dinámicos y toda la parte del sistema de tuberías de cargue, descargue y manejo de productos.

5.3.1. Atribuciones por área para diagnóstico

Dentro del sistema de abasteciendo de agua subterránea se identifican tres principales áreas o departamentos de funcionamiento.

- Productividad
- Operación de pozos
- Mantenimiento de pozos

El área de productividad es la encargada de solicitar la toma de información de las operaciones y el mantenimiento de los pozos. Esta área, genera con software especializado, simulaciones del comportamiento del pozo para generar recomendaciones; también, elabora los documentos técnicos para las reparación y correcciones de operación. Esta área analiza toda la información de diagnóstico para generar soluciones y optimizar la operación del sistema, es el encargado de coordinar la logística de todo el sistema.

El área de operación de los pozos genera la base de datos en donde detalla la eficiencia del bombeo; genera recomendaciones básicas en medición, circulación inversa, inyección, aceites, mejoramientos de flujos y reacondicionamiento del sistema. Es el encargado de coordinar la atención de los servicios a los pozos y otros equipos del sistema. También, calcula los volúmenes para inyecciones de bombeo requeridas para el funcionamiento del mismo.

El área de mantenimiento de pozos proporciona información predicativa con base en las mediciones y el análisis que permiten detectar condiciones de fallo futuras. Respecto a la información preventiva proporcionan información sobre los cambios de aceites, filtros y otros parámetros para la operación. En la parte correctiva proporciona información sobre las partes que hay que cambiar por desgaste o fallas.

5.3.2. Información de diagnóstico

La información recopilada debe contener: tiempo de paro en horas, tiempo operando en horas; motivos de paro; producción esperada por diseño (lts/día); fecha de arranque; fecha de paro; tiempo de vida útil; tipo de unidad; metodología de bomba; diámetro de la bomba; serie; profundidad de entrada de bomba (m); nivel de fluido desde la superficie (m); sumergencia (m); carrera de la bomba en pulgadas; emboladas por minuto; eficiencia con base en la última medición; producción calculada; prueba de producción en kilogramos por centímetro por minuto; presión hidráulica descendente en Psi; presión hidráulica ascendente en Psi; varilla pulida (RPM); torque hidráulico (Lb/ft); torque varilla pulida en libras por pie; motor en revoluciones por minuto; nivel de gas del motor en porcentaje; temperaturas de motor a gas y de aceite hidráulico, entre otros.

5.3.3. Reporte de situación actual

Se analiza la situación actual, así como la causa probable de su condición y observaciones adicionales de lo que se le realizó al pozo en la inspección y supervisión operativa. Este reporte siempre se complementa con una hoja de cálculo, se estandariza tanto el formato como la captura de la información. Se programa cada cuanto se tiene que hacer, aunque lo recomendable es realizarlo diariamente, además de reportarlo a los supervisores y jefes del proyecto.

5.3.4. Comunicación vía radio

La comunicación vía radio, celular o internet es una buena práctica como herramienta de diagnóstico; la información de campo se envía en tiempo real hasta la central con los especialistas.

Figura 18. **Radios manuales para comunicación**



Fuente: *Radios manuales*. www.google.com/images. Consulta: 20 de octubre de 2019.

En la oficina central, el personal registra la información y la distribuye dependiendo del problema o asunto generado. Se debe mantener una comunicación entre los operarios del sistema y los supervisores; los radios

pueden ser de corto y largo alcance dependiendo de la ubicación del receptor y comunicador.

5.3.5. Reporte ejecutivo

La generación de un reporte ejecutivo representa una fase administrativa sobre la información recopilada. Tiene el objetivo de mantener informados a las jefaturas y al equipo de especialistas sobre las actividades diarias de la operación y el mantenimiento del pozo. Hay que definir un hora en que esto será realizado y reportado.

Es recomendable realizar los informes ejecutivos semanales y mensuales, que detalle las actividades importantes del proceso de mantenimiento, reparación de otro tipo en el sistema de abastecimiento por pozos mecánicos.

5.3.6. Base de datos

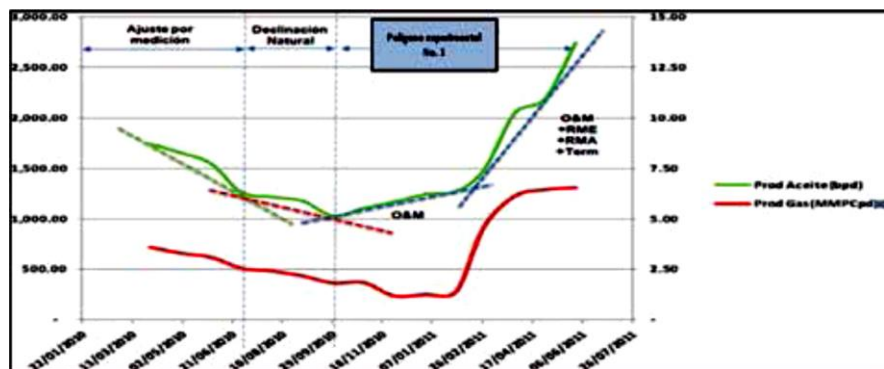
La generación de una base de datos para el análisis y la planificación es fundamental como herramienta de diagnóstico. Con esta se pueden analizar los registros históricos del pozo para determinar su comportamiento actual y pronosticar su comportamiento futuro. Consiste en dar de alta toda la información recabada en el día, se da seguimiento puntual a la operación y a la producción, se identifica en tiempo real el rendimiento del pozo. La base de datos centraliza, estructura y estandariza el proceso, ya que mediante el análisis se identifican los problemas, se encuentran soluciones y se definen actividades en el mantenimiento y la operación.

5.3.7. Plantillas gráficas del pozo

La realización de gráficos facilita el análisis de tendencias en la producción mensual del sistema de bombeo y abastecimiento de agua con pozos mecánicos profundos. Los gráficos especiales se realizan para que de forma rápida se monitoree la condición del pozo. En función de ello, se determinaron las acciones para optimizar su operación. Para estas gráficas de monitoreo se pueden utilizar diversas herramientas, por ejemplo, software técnico para facilitar la comprensión, interpretación y comunicación de la información, apoyar la toma de decisiones y optimización la producción.

Entre esas herramientas se pueden mencionar: (OFM) gerenciamiento de datos de producción; (Rodstar) diseño y optimización de sistemas de bombeo mecánico; (GLIP) programa intermitente de gas lif; (Pipesim) análisis nodal de pozos; (TWM) Total Well Management, toma de dinamómetros y niveles de fluidos; (PEEP) Petroleum Economic Evaluation Program, análisis económico de inversiones; diseño y optimización de sistemas de bombeo neumático.

Figura 19. Seguimiento a la declinación del campo, reporte diario



Fuente: JIMENEZ MARTINEZ, Héctor Ramón. *Metodología de operación y mantenimiento (O&M) de pozos, para optimizar la explotación de campos maduros*. p. 7.

5.3.8. Análisis de la información

Los estudios de ingeniería tienen como objetivo desarrollar estudios técnicos y económicos del pozo. Es necesario definir el alcance con base en los problemas identificados. Los análisis de fallas identificarán las causas de los problemas y se plantean alternativas de solución. Finalmente, se identifican las oportunidades para el mejoramiento de la producción del pozo que servirá de base para el plan estratégico del sistema.

Para fines de investigación científica, es recomendable contar con practicantes universitarios, los cuales podrán experimentar con los datos generados, realizar proyecciones y estimaciones que enriquecen la actividad productiva del sistema y ayuda a que los estudiantes adquieran su título universitario.

5.3.9. Plan estratégico

Para obtener los resultados deseados es necesario efectuar un plan estratégico y enfocarse en la sostenibilidad de la producción. Los lineamientos son: realizar un análisis FODA del sistema el cual identifica los aspectos importantes en la estrategia.

Con base en el análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), se realiza un diagnóstico. Con esto, se impulsa el desarrollo de una estrategia hacia los objetivos colectivos que prioriza cierto grado de autonomía en la toma de decisiones, el desarrollo de nuevas actividades.

5.3.10. Medición de la profundidad de los pozos

Existen varias formas para obtener la información del nivel estático del agua y la profundidad de los pozos:

- Método de la cinta eléctrica

Consiste en colocar una sonda eléctrica, que contiene un electrodo que al contacto con el agua genera conductividad eléctrica, la cual se traduce a una señal, que puede ser de luz o de sonido al cerrarse el circuito con el contacto con el agua.

Figura 20. Sonda para medir la profundidad del pozo



Fuente. Sonda. <https://www.solinst.com/espanol/productos/instrumentos-de-medicion-de-nivel/101-medidor-de-niveles-de-agua/ficha-tecnica/>. Consulta: 11 de abril de 2019.

- Método de la cinta mojada

Consiste en colocar un peso de plomo con una cuerda de acero para medir los dos pies de la parte inferior de la cuerda se marcan con yeso, antes de la medición. La parte mojada se lee y se resta de la parte que no, la diferencia es la profundidad del agua.

- Método de la línea de aire

Consiste en utilizar una tubería que permanece dentro del pozo, el tubo no permite la entrada de aire; en el extremo superior tiene un manómetro que mide la presión del aire dentro del tubo. Los cambios de nivel del agua estarán dados por la diferencia de presiones.

5.3.11. Limpieza del pozo

El mantenimiento regular es importante para que los pozos funcionen adecuadamente, es por ello que su limpieza mejorará su funcionamiento y prolongará la su vida útil del pozo. Es términos generales, es necesario limpiar el pozo antes de la prueba de bombeo, con el objetivo de garantizar su funcionamiento. La limpieza proporciona información más apropiada sobre la capacidad del pozo.

Procedimiento general para la limpieza:

- Se mide la profundidad del pozo y se compara con los registros existentes del pozo.
- Se registra en la boleta.

- Se mide el nivel estático del agua y se registra en la boleta.
- Se mide el rendimiento al vaciar el pozo, estos se pueden combinar según las circunstancias encontradas *in-situ*, es recomendable hacerlo con el medidor triangular tipo Thomson.
- Se aplica el tratamiento químico, este debe durar veinticuatro horas para que reaccione y remueva las partículas en las paredes de la camisa que obstruyen la rejilla del pozo.
- Se cepilla (de abajo hacia arriba) el pozo para remoción de las partículas que no removi6 el tratamiento químico, el cepillo debe ser de metal.
- Después de cepillado del pozo se extrae los sedimentos usando una cubeta.
- Si se usa aire comprimido se inyecta por medio del compresor con el objetivo de crear turbulencia dentro del pozo y remover las partículas y sedimentos.
- La profundidad del pozo se mide después de limpiar, se registra y compara con la profundidad inicialmente medida en la boleta.
- Si la profundidad de inicio del pozo, resulta menor a la de después de la limpieza, el procedimiento funciona adecuadamente. Si la profundidad sigue siendo mayor que la de los registros, el procedimiento de limpieza no quit6 los sedimentos depositados en el fondo, por lo que debe vaciarse nuevamente.

Figura 21. **Mantenimiento de pozo mecánico (limpieza)**



Fuente: *Mantenimiento de pozo mecánico*. masehisa.com. Consulta: 11 de abril de 2019.

5.4. Motobombas sumergibles

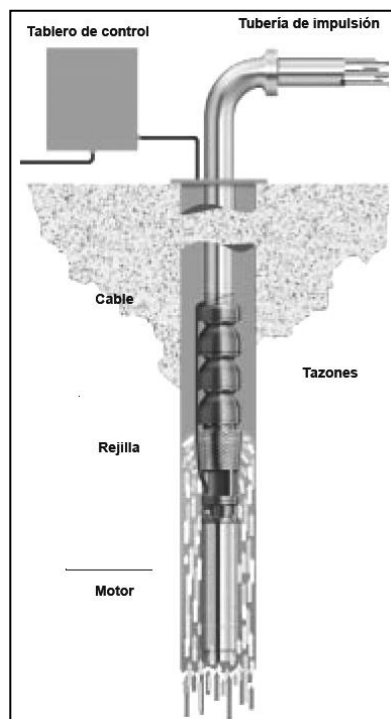
Las bombas o motobombas sumergibles cuentan con una bomba y un motor acoplados de forma compacta, de modo que funcionen sumergidos en el nivel de captación; se emplean exclusivamente en pozos profundos, donde tienen ventajas sobre las bombas de eje vertical. Las bombas sumergibles transforman la energía mecánica del impulsor en energía de flujo, lo que permite subir la altura piezométrica del flujo.

Dentro de las desventajas de estas bobas esta que la eficiencia es relativamente baja, aunque el costo de operación es elevado por su alto consumo de energía.

Otra desventaja es que no existe forma de dar mantenimiento a la bomba cuando están instalados, por lo que es necesario parar el bombeo para dar

mantenimiento, por estar sumergido. Los motores sumergibles son diseñados para velocidades elevadas de operación y no es posible realizar modificaciones durante la operación para cambiar la velocidad. Una ventaja es que la bomba sumergible sea eléctrica, así el mantenimiento es casi despreciable.

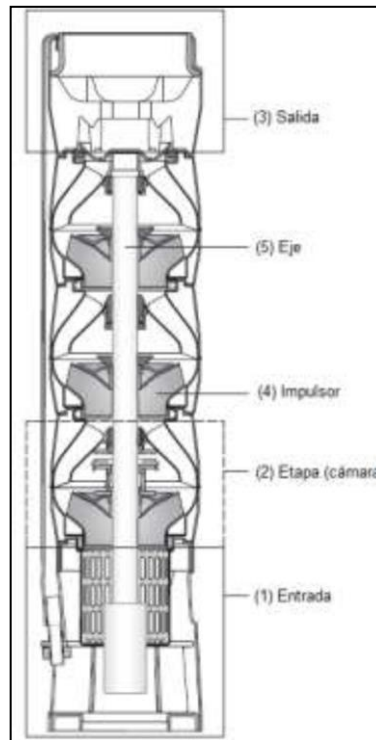
Figura 22. **Bomba sumergible**



Fuente: OPS. *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable.* p. 15.

Cada parte de la bomba tiene un impulsor; los alabes del impulsor transfieren energía al agua en velocidad y presión. Cada uno de los impulsores está fijo en el eje de la bomba, a través de una conexión.

Figura 23. **Bomba sumergible con sus partes**



Fuente: ESCOBAR RAMIREZ, Carlos Eulalio. *Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para el pozo mecánico y la planta de tratamiento de aguas residuales del Insitituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS)*. p. 26.

5.5. Tipos de bombas sumergibles

- Radial

Tiene una diferencia entre el diámetro del impulsor de entrada y el diámetro de salida. Cuando es necesaria una carga elevada, es adecuado el uso de este tipo de bomba.

- Semiaxial

Este tipo es usado para las bombas con gran caudal. Existe un anillo de estanqueidad entre la entrada del impulsor y la cámara, lo que garantiza que cualquier reflujo sea limitado.

Dependiendo del caudal bombeado y de los años de uso de la bomba, es recomendable realizar la inspección durante el mantenimiento periódico. Esta inspección tiene el objetivo de realizar el mantenimiento o reemplazar las piezas desgastadas:

- Cojinetes radiales
- Asiento de válvulas
- Anillos de desgaste
- Juntas tóricas
- Junta de empuje vertical
- Eje y los impulsores de la bomba

Es de suma importancia el cambio de todas las piezas desgastadas durante el mantenimiento, esto garantiza el rendimiento y el bajo costo de operación.

Las bombas sumergibles también son conocidas como bombas de pozo profundo. Poseen un motor eléctrico sellado que tiene un recubrimiento que lo hace resistente al agua.

5.6. Cebado

Antes de la operación y puesta en marcha de unas bombas centrífugas es necesario llenar de agua las tuberías y la carcasa para que pueda funcionar. Este procedimiento se conoce como cebado.

Si no se elimina el aire dentro de la bomba, está tendrá un rendimiento bajo. Esto se da por que la acción centrífuga desplaza los elementos densos al exterior y deja los menos densos como el aire en el centro del impulsor de la bomba.

Para arrancar las bombas que se detienen por falta de energía eléctrica se debe de seguir el siguiente procedimiento.

- Verificar cebado.
- Cerrar la válvula de compuerta que se encuentra ubicada en la tubería de descarga y está ubicada después de la válvula de retención.
- Encender la bomba y abrir lentamente la válvula para evitar la ruptura de tuberías debido al golpe de ariete.
- En algunos casos será necesario abrir algunas llaves dentro del sistema de distribución para expulsar bolsas de aire que se han formado durante la ausencia de trabajo de la bomba.

En el caso de las bombas de succión sumergidas, el cebado no tienen que ser preparado. Se ceban automáticamente porque el fluido que se bombeará se alimenta por gravedad directamente a la bomba, manteniéndolo siempre cebado.

5.7. Arranque y parada

La información recopilada con las herramientas de diagnóstico proporciona su monitoreo y control; en el caso del inicio de operación de un pozo es necesario contar con las herramientas adecuada, para registrar la fecha de arranque, la fecha de paro, el tiempo de paro, el tiempo de funcionamiento, entre otros.

5.7.1. Arrancador magnético

Controlador encargado del arranque y la parada de la bomba, para la protección de los motores. El principio de funcionamiento es el del magnetismo. Respecto a las características del equipo del pozo, el arrancador cuenta con las siguientes características: rampa de arranque de determinados segundos y paro de determinados segundos, por ejemplo 3 segundos.

5.7.2. Control de bombas sumergibles

Los motores eléctricos de capacidad superior necesitan medios de arranque controlados, para protegerlos de sobrecorrientes, arcos eléctricos y altos esfuerzos mecánicos durante el arranque, para limitar corriente momentánea que demanda el motor.

5.7.3. Periodo de bombeo

El número de horas de bombeo y el número de arranques en un día, depende del rendimiento de la fuente, el consumo de agua, la disponibilidad de energía y el costo de operación. Por razones económicas y operativas, es conveniente adoptar un periodo de bombeo de ocho horas diarias, que serán distribuidas en el horario más ventajoso. En situaciones excepcionales se adoptará un periodo mayor, pero considerando un máximo de 12 horas.

5.7.4. Cantidad de horas de operación

Se debe considerar el número de horas al día que trabajará la bomba y en que períodos. También, tienen que ser consideradas las recomendaciones del fabricante de los equipos de bombeo con respecto al número máximo de arranques por día de sus equipos. El tiempo de operación del equipo sumergible está en un promedio de 18 horas/día y en algunas ocasiones puede operar hasta 22 horas/día, según las recomendaciones del fabricante.

5.7.5. Ajustes

Los ajustes más comunes que se deben hacer, antes del arranque de los motores y bombas, son los siguientes:

- El acoplamiento bomba-motor debe estar perfectamente alineado, lo cual se comprueba al girar con la mano el eje de la bomba, si el giro es fácil la instalación es correcta.
- La conexión de las tuberías debe encontrarse en buen estado.
- Los depósitos de lubricación deben estar llenos de aceite, si los cojinetes del equipo son lubricados con este líquido; si son lubricados con grasa, deben revisarse las graseras y lubricarlas adecuadamente.
- El collarín de la caja de estopas debe estar ajustado uniforme y suavemente, de lo contrario se puede dañar el motor por recalentamiento del mismo.

- Llenar manualmente con agua la bomba y la tubería de succión. No debe producirse pérdida del líquido llenado a través de la válvula de pie, en el extremo de la tubería de succión; de lo contrario, la instalación está mal hecha y debe ser mejorada.
- El sentido de rotación de la bomba debe ser en la dirección que indica su flecha, lo cual se comprueba conectado la bomba y desconectándola rápidamente.

5.8. Paro de bombas

Se da durante el mantenimiento de los sistemas de bombeo sumergibles. Es necesario que todo el sistema se detenga, debido a que la bomba está sumergida.

Hay que tomar en cuenta que las condiciones atmosféricas pueden afectar el funcionamiento del equipo y junto a otro tipo de fallas pueden ocasionar roturas y paradas espontáneas en la operación. Tiempo de parada es el término utilizado para definir la duración que el equipo estuvo detenido; por lo cual deben ser programadas en el plan de operación y manteniendo para optimizar el sistema de bombeo.

Para unos, el mantenimiento correctivo significa la actividad de reparar después de una suspensión no prevista otros; sin embargo, consideran que es el conjunto de acciones tendientes a minimizar los paros no previstos, como será la sustitución de materiales, el rediseño de instalaciones, las modificaciones operativas, entre otros.

Todo programa de mantenimiento generará beneficios, el objetivo es no tener retrasos en la operación y el funcionamiento del sistema de bombeo.

5.9. Accesorios

Se entiende como accesorio a todo conjunto de piezas que mecanizadas, en conjunto, forman parte del sistema de bombeo.

Entre los accesorios comunes se pueden mencionar:

- Bridas
- Codos
- Tees
- Reductores
- Acoples
- Válvulas
- Empaques
- Tornillos y nicles

Recomendaciones: muy importante antes de utilizar accesorios, es revisarlos y ver si cumplen con los estándares requeridos; existen varias normas que las herramientas y los accesorios pueden cumplir y dependerá de la calidad del proyecto de abastecimiento de agua.

5.9.1. Características generales

Dentro de las características de los accesorios de los sistemas de bombeo están:

- Tipo
- Tamaño
- Aleación
- Resistencia
- Espesor
- Dimensión
 - Diámetro: es la medida de diámetro nominal mediante el cual se identifica y depende de las especificaciones técnicas necesarias.
 - Resistencia: es la capacidad de tensión en libras o kilogramos que puede soportar un accesorio en operación.
 - Aleación: conjunto de materiales del cual está construido un accesorio.
 - Espesor. es el grosor que posee la pared del accesorio de acuerdo a las normas y especificaciones establecidas.

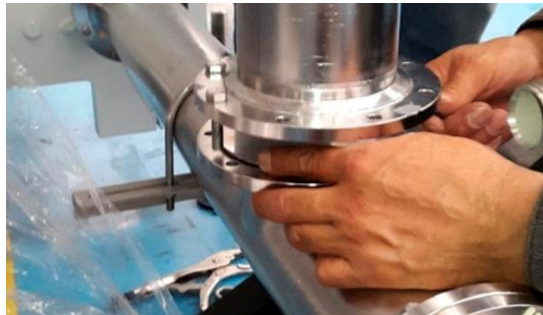
5.9.2. Bidas

Accesorio que conecta tuberías con más equipo, por ejemplo, bombas, tanques u otros accesorios.

- Tipos de bridas
 - Con cuello: es utilizada para disminuir la cantidad de soldaduras lo cual favorece a que no exista corrosión en las juntas.

- Brida para soldar.
- Brida deslizante: se desliza hacia un extremo del tubo antes de soldarse.
- Brida roscada: se instala sin soldadura.
- Brida con tubo rebordeado: viene seccionada y su borde puede girar alrededor de cuello.
- Brida ciega: se une a las tuberías mediante el uso de tornillos.
- Brida de reducción.

Figura 24. **Brida**



Fuente: *Brida*. <https://www.ms-ingenieria.com.mx/articulos-de-ingenieria/bridas-y-sus-aplicaciones-en-la-industria/>. Consulta: 10 de abril de 2019.

5.9.3. **Disco ciego**

Se utiliza en las juntas de tuberías para bloquear fluidos. Los tipos más comunes son los de plato circular con lengua o mango.

Figura 25. **Disco ciego**



Fuente: *Disco ciego*. <https://app.emaze.com/@AOIRQWTIC/tipos-de-tuberias-y-sus-accesoriospplx-copy1#5>. Consulta: 10 de abril de 2019.

5.9.4. Codos

Son accesorios que se utilizan para cambiar la dirección del fluido, en determinados grados.

Entre los tipos de codos están:

- Codos de 45
- Codos de 90

Dentro de sus características están; diámetro, ángulo, radio, espesor, aleación, junta y dimensión.

Figura 26. **Codo para tubería**



Fuente: *Codo para tubería*. <http://saleplas.net/productos/riego-o-agricultura/tramos-de-columna-para-bombas-sumergidas>. Consulta: 10 de abril de 2019.

5.9.5. Te

Se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería. Pueden ser de diámetros iguales o de reductores. Siempre al igual que los demás accesorios se caracteriza por; diámetro, espesor, aleación, junta y dimensión.

5.9.6. Reducidor

Es de forma cónica, se utiliza para disminuir el volumen del flujo a través de las tuberías. Existen varios tipos como el estándar concéntrico y el excéntrico.

Sus características son: espesor, aleación juntas y dimensión.

5.9.7. Válvula

Regula y controla el flujo regular y controlar el fluido de una tubería. Las válvulas pueden ser de varios tipos:

- Válvula de globo

Puede ser de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado.

Figura 27. **Válvula de globo**



Fuente: *Válvula de globo*. de <http://larocamadrehg.blogspot.com/2013/03/>. Consulta: 10 de abril de 2019.

- Válvula en ángulo: genera un flujo de caudal regular sin mucha turbulencia.
- Válvula de 3 vías: se emplea generalmente para mezclar fluidos. Las válvulas de 3 vías intervienen en el control de temperatura.

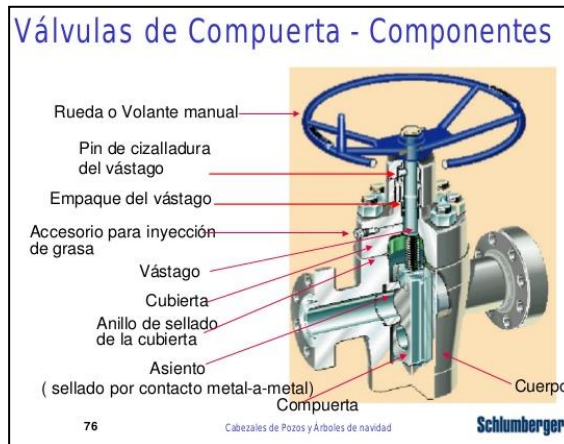
Figura 28. **Válvula de 3 vías**



Fuente: *Válvula de 3 vías*. <https://www.electromecanicamm.com.ar/producto/valvula-3-vias-genebre-bridada-aisi-316-1-1-2/2279/>. Consulta: 10 de abril de 2019.

- Válvula de jaula: tiene una válvula cilíndrica que se desliza en una jaula con agujeros diseñados para regular el caudal.
- Válvula de compuerta: efectúa un cierre con un disco vertical al flujo. Por su disposición es adecuada generalmente para el control del caudal. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo.

Figura 29. **Válvulas de compuerta**



Fuente: *Válvulas de compuerta*. <https://www.slb.com/services.aspx>. Consulta: 10 de abril de 2019.

- Válvula en Y: se usa para cierre y control. Tiene baja pérdida de carga y como válvula de control presenta una gran capacidad de caudal.
- Válvula de cierre cilíndrico excéntrico: cuenta con un cierre cilíndrico excéntrico que asienta contra un cuerpo cilíndrico. El cierre hermético se consigue con un revestimiento de goma o teflón en la cara del cuerpo donde asienta el obturador. La válvula es de bajo costo y tiene una capacidad relativamente alta; es adecuada para fluidos corrosivos y líquidos viscosos o conteniendo sólidos en suspensión.
- Válvula de bola: el cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un cierre en forma de bola o esfera. La bola tiene un corte en V, que sujeta la válvula, y gira por un servomotor exterior.

- Válvula de orificio ajustable: el cierre de esta válvula consiste en una camisa de forma cilíndrica que está perforada con dos agujeros, uno de entrada y el otro de salida. El giro del cierre tapa parcial o totalmente las entradas y salidas de la válvula controlando así el flujo.

5.9.8. Tapones

Utilizados para bloquear o impedir el paso de fluidos en un momento. Generalmente, son utilizados en líneas de tuberías con diámetros menores, pueden ser de tipo macho o hembra.

- Características de los tapones
 - Aleación: son de mezclas de galvanizado, acero al carbono, acero inoxidable, bronce, entre otros.
 - Resistencia: capacidad de resistencia de 150 libras hasta 9 000 libras.
 - Espesor: grosor de la pared del tapón.
 - Junta: puede ser de rosca o por soldadura.

Los costes de herramientas y accesorios son de suma importancia para el servicio de mantenimiento en los equipos de bombeo, estos gastos se transforman en bienes terminados con la suma de mano de obra y los costes indirectos. Dentro de las herramientas y accesorios están:

- Combustibles y lubricantes
- Radio comunicador
- Accesorios tubulares
- Cloro

5.9.9. Repuestos

Es indispensable que todo sistema de abastecimiento de agua mantenga en su bodega los repuestos que en momentos de emergencia se utilicen para trabajos mayores y menores en los equipos de bombeo, así como para los paneles eléctricos de funcionamiento. La siguiente tabla muestra un listado de algunos repuestos:

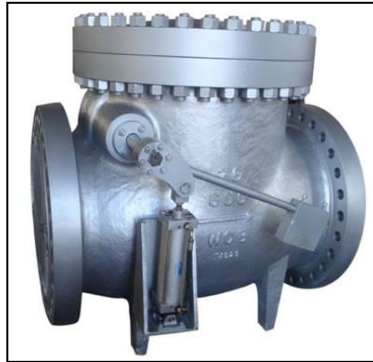
- Aceite
- Grasa entubada
- Sellos mecánicos
- Anillos de desgaste
- Cojinetes
- Empaques de prensa estopa
- Válvula de compuerta de bronce
- Cheque horizontal de bronce
- Collarín de soporte
- Niples de HG tipo presado
- Codos HG tipo pesado de 45 grados
- Unión universal de 4 pulgada
- Material de empaque y amarre
- Accesorios eléctricos
- Bomba centrífuga

- Motor de 60 hp
- Bomba de 60 hp

5.9.10. Accesorios hidráulicos de seguridad

- Válvulas de alivio: existen dos tipos dependiendo de su uso específico: válvulas de retención (*check*) y válvulas de desahogo (alivio). Son válvulas de accionamiento automático, funcionan sin controles externos y dependen para su funcionamiento de sentido de circulación o de las presiones en el sistema de tubería.
 - Válvulas *check*: está 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. Hay tres tipos básicos de válvulas de retención: válvulas de retención de columpio de elevación y de mariposa.
- Válvulas de retención del columpio: esta válvula tiene un disco de bisagra que se abre por completo con la presión en la tubería y se cierra cuando se interrumpe y empieza la circulación inversa. Hay dos diseños: uno en Y que tiene una abertura de acceso en el cuerpo para el esmerilado fácil del disco sin desmontar la válvula de la tubería y un tipo de circulación en línea recta que tiene anillos de asiento reemplazables.

Figura 30. **Válvula de columpio**



Fuente: *Válvula de columpio*. <http://es.sqvalves.com/v%C3%A1lvula-de-retenci%C3%B3n/v%C3%A1lvula-de-retenci%C3%B3n-de-columpio-con-nivel-y-contrapeso.htm>. Consulta: 10 de abril de 2019.

Recomendaciones: cuando se necesita resistencia mínima de circulación. Cuando hay cambios poco frecuentes del sentido de circulación en la tubería. Para servicio en tuberías que tienen válvulas de compuerta. Para tuberías verticales que tienen circulación ascendente.

- Válvulas de retención de elevación: es similar a la válvula de globo, excepto que el disco se eleva con la presión normal en la tubería y se cierra por gravedad y la circulación inversa.

Figura 31. **Válvula de elevación**



Fuente: *Válvula de elevación*. <http://globalautomation.com.co/valvula-de-retencion-de-elevacion-y-mariposa/>. Consulta: 10 de abril de 2019.

- Recomendaciones: cuando hay cambios frecuentes de circulación en la tubería. Para uso con válvulas de globo y angulares. Para uso cuando la caída de presión a través de la válvula no es problema.
- Válvula de retención de mariposa: tiene un disco dividido de bisagra en un eje en el centro del disco, de modo que un sello flexible sujeto al disco este a 45° con el cuerpo de la válvula, cuando esta se encuentra cerrada. Luego, el disco solo se mueve una distancia corta desde el cuerpo hacia el centro de la válvula para abrir por completo.

Figura 32. **Válvula de mariposa**



Fuente: *Válvula de mariposa*. <http://larocamadrehg.blogspot.com/2013/03/>. Consulta: 10 de abril de 2019.

- Recomendaciones: cuando se necesita resistencia mínima a la circulación en la tubería. Cuando hay cambios frecuentes en el sentido de la circulación. Para uso con las válvulas de mariposa, macho, bola, diafragma o de apriete.
- Válvulas de desahogo (alivio): es de acción automática para tener regulación automática de la presión. El uso principal de esta válvula es para servicio no comprimible y se abre con lentitud conforme aumenta la presión, para regularla.

Figura 33. **Válvula de alivio**

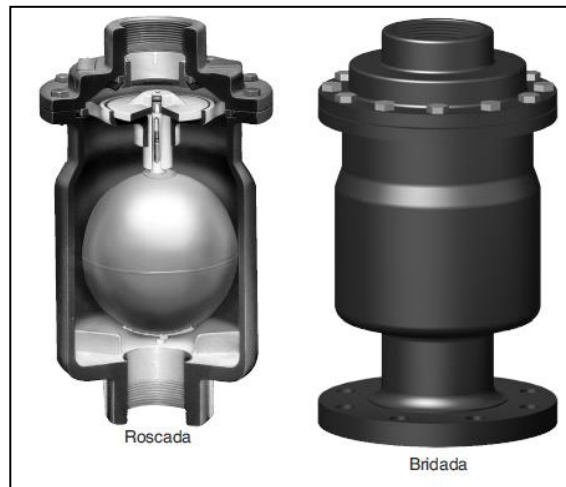


Fuente: *Válvula de alivio*. <http://larocamadrehg.blogspot.com/2013/03/>. Consulta: 10 de abril de 2019.

La válvula de seguridad es similar a la válvula de desahogo y se abre con rapidez con un 'salto' para descargar la presión excesiva ocasionada por gases o líquidos comprimibles. El tamaño de la válvula de desahogo es muy importante y se determina mediante fórmulas específicas.

- Recomendaciones: sistemas en donde se necesita una gama predeterminada de presiones.
- Válvulas de aire: eliminar el aire de adentro de una tubería sometida a presión, funciona casi igual que la válvula de alivio.

Figura 34. **Válvula de aire para pozo**



Fuente: *Válvula de aire para pozo*. <http://www.valvulasclaval.com/categorias-valvulasdeaireparaagualimpia.html>. Consulta: 10 de abril de 2019.

- Recomendaciones: tener cuidado con la interrupción total o parcial del caudal ya que forma burbujas. Genera un golpe de ariete debido a la 'explosión' de las burbujas o su desplazamiento en la red. Tiene un aumento en el consumo energético en el bombeo y puede generar vacíos en las tuberías, por lo que hay que cebar nuevamente la tubería al momento de su retoma de funcionamiento.
- Válvula de retención múltiple: es especial para evitar el golpe de ariete en instalaciones de bombeo. Tiene la ventaja de cerrar instantáneamente al anularse la velocidad del fluido, impidiendo el más mínimo retroceso.

Figura 35. **Válvula de retención múltiple**



Fuente: *Válvula de retención múltiple*. <http://ibapol.com/esp2/ret.php>. Consulta: 10 de abril de 2019.

- Recomendaciones: su funcionamiento completamente silencioso y sin vibraciones evita que se produzca golpe de ariete en la parada incontrolada de bombas; incluso con bombeos verticales, no se produce flujo invertido en la válvula de retención, y esta no produce golpe de cierre y tiene una reducción de costos derivados del ahorro en la instalación de otros dispositivos antiarriete.
- Válvula de pie: especial para asegurarse de un adecuado cebado de la bomba o electrobomba a poner en funcionamiento, asegura un cierre que impide el descebado de la bomba incluso en periodos prolongados de tiempo.

Figura 36. **Válvula de pie para pozo**



Fuente: *Válvula de pie para pozo*. <http://www.rmmcia.es/productos/grifos-y-accesorios-para-jardineria/valvula-de-pie-para-pozo>. Consulta: 10 de abril de 2019.

Existen también otros accesorios como las válvulas combinadas o de triple efecto; son una combinación de las anteriores; permiten la eliminación y admisión de grandes cantidades de aire; pueden ser automáticas o de simple efecto y son extremadamente sensibles; eliminan el aire disuelto en el agua, que se va acumulando en los puntos altos de la red.

- Carrete de desmontaje: se usa principalmente para el desmontaje de válvulas en una tubería; son de gran utilidad para facilitar el montaje y desmontaje del conjunto de elementos en instalaciones de bombeo o suministro; permite la extracción de los demás elementos: bomba, válvula de retención, válvula de seccionamiento, entre otros.

Figura 37. **Carrete de desmontaje**



Fuente: *Carrete de desmontaje*. <https://cemat.es/tuberia-de-fundicion-accsorios/carretes-de-desmontaje/>. Consulta: 10 de abril de 2019.

CONCLUSIONES

1. Las bombas son máquinas que transforman la energía mecánica, proveniente de un motor, a energía hidráulica; de forma que añaden carga a la misma para salvar mayores alturas que únicamente con la energía proporcionada al inicio del sistema.
2. Las bombas hidráulicas se pueden dividir en dos grupos: las bombas de desplazamiento positivo, y que a su vez se dividen en reciprocantes y rotatorias, en las que se encuentran las bombas de diafragma, las embolo, las de pistón, y las de rotor simple o múltiple. El otro grupo lo integran las bombas dinámicas las cuales se subdividen en centrífugas, periféricas y especiales.
3. Las bombas utilizadas en los sistemas de abastecimiento de agua desde pozos perforados como fuente, son las bombas de desplazamiento positivo; de estas se utilizan: las bombas centrífugas, tipo turbina y las sumergibles.
4. Los mecanismos de los que las bombas se componen son: la carcasa, el impulsor o impelente, los cojinetes y el eje.
5. Los parámetros de selección de bomba son los siguientes: la profundidad de pozo, el diámetro del pozo, los niveles estático y dinámico, el caudal a expulsar, las presiones de trabajo, las alturas a salvar y el punto de operación.

6. Las curvas características determinan la bomba de eje horizontal a utilizar venidas de las pérdidas del sistema al que se destinará la bomba y las características del fabricante de la bomba.
7. Para evitar la cavitación, que es la formación de burbujas debidas a la carga de succión, es necesario que la carga neta positiva de succión, que es la carga necesaria para superar la pérdida que genera la succión, disponible o NPSHd sea mayor a la requerida o NPSHr; esta última depende de las indicaciones del fabricante.
8. El golpe de ariete es una sobrepresión que se genera en el sistema debido al cierre brusco del paso del líquido que genera ondas intempestivas dentro de la tubería que da paso a la formación de burbujas; esto se evita manteniendo las velocidades de flujo entre los 2 y los 5 m/s; además de una operación correcta cerrando de forma pausada el paso de líquido, ya sea en la parada o en el arranque, o con válvulas de control.
9. Para elegir una bomba se deben tomar en cuenta las condiciones de bombeo y los criterios de selección de bombas antes mencionados; también, deben tomarse en cuentas las limitaciones físicas y espaciales, las condiciones ambientales, técnicas y operativas y el tipo de alimentación de la fuente del sistema.
10. Para las bombas sumergidas, los criterios de selección deben de tener en cuenta la profundidad del pozo, el diámetro, el caudal que se desea para abastecer el sistema y los niveles estático y dinámico.

11. Las condiciones de operación se refieren a las características físicas, técnicas y espaciales necesarias para que las bombas funcionen correctamente: las características, especificaciones y detalles técnicos del fabricante; la instalación del equipo; el funcionamiento del equipo (la puesta en marcha y paro o freno) y el control y mantenimiento del equipo durante su instalación y vida útil.
12. El líquido el cual pase por el equipo de bombeo debe poseer las propiedades de todo líquido: ser compresible; además, debe estar libre de sólidos en suspensión, preferiblemente a temperatura ambiente o una que no genere ni vapor ni hielo; de forma que se evite que formen burbujas y puedan producirse golpe de ariete o exista cavitación.
13. Las características de una bomba son: cilindrada, presión nominal, caudal teórico, rendimientos total y volumétrico.
14. Las cisternas depósitos de líquido en donde es depositado dicho líquido bombeado, ya sea de forma permanente (cisternas) o de forma temporal formando parte una estación de bombeo (pozos de bombeo y tanques).
15. Las condiciones para el suministro que se utilizan para realizar el análisis son: la población objetivo; las condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas; la fuente o las fuentes de captación; el sistema de transporte del líquido impelido (acueducto); las normas técnicas, reglamentos y leyes, y el análisis económico y financiero.
16. El mantenimiento de los pozos que sirven de suministro a un sistema de abastecimiento, se lleva a cabo con los siguientes controles: boletas de registro, monitoreo de vida útil y observación del pozo o de los pozos.

17. Los tipos de mantenimiento para pozos mecánicos profundos son: el método del pistoneo, que consiste en comprimir y aspirar el agua del pozo para generar un flujo de agua hacia el interior y exterior del pozo mediante un sistema de pistones; el método mixto, que es la combinación dos o más métodos; y el método de aire comprimido, que consiste en emplear aire comprimido para generar un flujo a alta velocidad.

18. Las áreas o departamento identificados dentro de un sistema de abastecimiento son: productividad, operación de pozos y mantenimiento de pozos.

RECOMENDACIONES

1. La implementación de sistemas de bombeo para el abastecimiento de agua es algo que es muy factible y rentable en nuestra nación, dado que las características geológicas lo favorecen. Los sistemas de abastecimiento por pozo deben hacer uso racional y eficiente del agua para que el servicio se garantice a las futuras generaciones. Conlleva, también, a la realización de estudios sobre recarga artificial de acuíferos, contaminación de acuíferos y reducción de agua subterránea para adaptarse al cambio climático.
2. Este tipo de proyectos de abastecimiento debe de contar con un buen sistema de capacitación del personal que se encargará de las operaciones; se debe, también, mantener informada a la población abastecida de las cantidades de agua suministrada. Otro aspecto importante es el mantenimiento el cual debe verificar que la calidad de los accesorios y las tuberías del sistema; además de contar con los certificados de calidad respectivos. Realizar el mantenimiento periódico del sistema garantizara su óptimo desempeño y evitará problemas con los pobladores suministrados.
3. Otro aspecto importante al momento del manteniendo de pozos mecánicos es tomar en cuenta que en se deba estar son el contacto de fuentes contaminantes, por lo que hay que tener bien identificados los diferentes focos de contaminación posibles al momento de la operación y el mantenimiento. Se debe estar lo más alejado de materia orgánica, aceites y basuras que puedan contaminar al pozo.

4. Los microorganismos, como las bacterias, virus, hongos y parásitos, pueden llegar a contaminar el agua subterránea que abastece los pozos. La principal fuente de contaminación por materia fecal de aguas residuales domésticas o de otro tipo, procedente de la población en general, animales y actividades industriales. Se debe contar con exámenes bacteriológicos cada cierto tiempo para asegurar que el agua es apta para consumo humano; los exámenes más comunes son los análisis en busca de bacilos coliformes. En el caso se detectan estos contaminantes, quiere decir que hay evidencia de que existe contaminación fecal.

5. Existe un problema de contaminación en los pozos mecánicos y es provocado por el ferrobacteria o bacteria de hierro como comúnmente se conoce. Esta bacteria es capaz de transformar el dióxido de carbono en materia orgánica y deja inservible el pozo, pues ya no es apto para el consumo humano. Generalmente, genera óxidos que se depositan en las tuberías y el agua se torna de color rojizo a negro.

6. Otro problema que puede tener un pozo es la corrosión; esto es provocado muchas veces por la ubicación del pozo, que gracias a factores climáticos puede estar más expuesto a al problema. Los lugares con mucha sal en el ambiente, como las costas, dan problemas de corrosión; por lo que es necesario que las inspecciones detecten los puntos de corrosión en las tuberías y apliquen algún agregado para evitar su deterioro. Los problemas que puede provocar la corrosión en el tiempo son fugas y peligros en la válvula, incluso puede provocar roturas en las líneas de conducción. Trascurrido mucho tiempo este problema puede potencializarse y degradas cualquier accesorio del sistema del abastecimiento por pozos mecánicos.

7. Es necesario contar con todas las medidas de protección al momento del mantenimiento, para así evitar accidentes. En algunos casos los accidentes se dan roturas de tubería, por explosión de válvulas y cortes por corrosión de tuberías. Los mecanismos de primeros auxilios deben estar establecidos para salvaguardar la vida de los trabajadores. Asimismo, se tiene que tener identificadas y señaladas las rutas de evacuación en casos de sismos y otros eventos que lo ameriten.

BIBLIOGRAFÍA

1. BLOGSPOT. *Mantenimiento de pozo*. [en línea]. <<http://larocamadrehg.blogspot.com/2013/03/>>. [Consulta: abril 2019].
2. BOTTA, Néstor. *Sistemas fijos de protección en base a agua*. Argentina: Red Proteger, 2013. 121 p.
3. CEMAT. *Carretes de desmontaje*. [en línea]. <<https://cemat.es/tuberia-de-fundicion-accsorios/carretes-de-desmontaje/>>. [Consulta: abril 2019].
4. COUN SUMALE, Jorge. Gerardo. *Sostenibilidad financiera en el uso de pozos mecanicos de agua potable en aldeas y colonias del municipio de Mixco*. Trabajo de graduación de Ing. CivilMecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 122 p.
5. EDDYPUMP. *Bombas de succi*. [en línea]. <<https://eddyump.com/es/Educaci%C3%B3n/Lo-que-necesita-saber-sobre-las-bombas-de-succi%C3%B3n-inundadas/>>. [Consulta: abril 2019].
6. EMAZE. *Tipos de tuberías*. [en línea]. <<https://app.emaze.com/@AOIRQWTIC/tipos-de-tuberas-y-sus-accesoriospplx-copy1#5>>. [Consulta: abril 2019].

7. ENCIANS, Manuel Polo. *Turbo máquinas hidráulicas*. México: Limusa, 1980. 293 p.
8. ESCOBAR RAMIREZ, Carlos. Eulalio. *Propuesta de un Programa de Mantenimiento Preventivo para el Pozo Mecánico y la Planta de Tratamiento de aguas Residuales del Insitituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS)*. Trabajo de graduación de Ingeniería Ing. CivilMecánica Industrial. Facultad de Ingeniería,. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 122 250 p.
9. Franklin Electric. *Catálogo de productos: bombas sumergibles*. España: Asociación Española de Empresas del Sector del Agua, 2016. 92 p.
10. GENEBRE. *Válvula de 3 vías*. [en línea]. <<https://www.electromecanicamm.com.ar/producto/valvula-3-vias-genebre-bridada-aisi-316-1-1-2/2279/>>. [Consulta: abril 2019].
11. Global Automation. *Válvula de retención y mariposa*. [en línea]. <<http://globalautomation.com.co/valvula-de-retencion-de-elevacion-y-mariposa/>>. [Consulta: abril 2019].
12. Gobierno Municipal de Muyuta. *Mantenimiento de pozo mecánico*. [en línea]. <<https://munimoyuta.gob.gt/2018/07/04/supervision-de-mantenimiento-de-pozo-mecanico/>>. [Consulta: abril 2019].
13. Hgoulds Water Technology. *Catálogo de bombas verticales tipo turbina*. Estados Unidos: Xylem Inc, 2012. 16 p.

14. IBAPOL. *Válvulas*. [en línea]. <<http://ibapol.com/esp2/ret.php>>. [Consulta: abril 2019].
15. JIMENEZ MARTINEZ, Héctor. Ramón. *Metodología de operación y mantenimiento (O&M) de pozos, para optimizar la explotación de campos maduros*. México: UNAM, 2016. 120 p.
16. MASEHISA. *Mantenimiento de válvula*. [en línea]. <masehisa.com>. [Consulta: abril 2019].
17. Montajes, Soluciones, Ingeniería. *Bridas*. [en línea]. <<https://www.ms-ingenieria.com.mx/articulos-de-ingenieria/bridas-y-sus-aplicaciones-en-la-industria/>>. [Consulta: abril 2019].
18. MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. 7a ed. México: Pearson Education, 2015. 630 p.
19. NICHESE. *Bombas hidráulicas*. [en línea]. <<http://sitioniche.nichese.com/bombas-hidra.html>>. [Consulta: abril 2019].
20. NOVEX. *Radio comunicadores*. [en línea]. <<https://www.novex.com.gt/producto/93059/RADIO-COMUNICADORES.html>>. [Consulta: abril 2019].
21. OPS. *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. Perú: Cosude, 2005. 123 p.
22. PAIZ CANO, Efraín. Andrés. *Diseño del programa para la adecuada operación y mantenimiento de bombas hidráulicas en hospitales*

nacionales. Trabajo de graduación de Ing. CivilMecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005.170 163 p.

23. Rm, soluciones en latón para flúidos. *Válvula de pie para pozo*. [en línea]. <<http://www.rmmcia.es/productos/grifos-y-accesorios-para-jardineria/valvula-de-pie-para-pozo>>. [Consulta: abril 2019].
24. SALEPLAS. *Bombas sumergidas*. [en línea]. <<http://saleplas.net/productos/riego-o-agricultura/tramos-de-columna-para-bombas-sumergidas>>. [Consulta: abril 2019].
25. SCHLUMBERGER. *Tubería*. [en línea]. <<https://www.slb.com/services.aspx>>. [Consulta: abril 2019].
26. SHENGQI Technology CO., LTD. *Válvula de retención*. [en línea]. <<http://es.sqvalves.com/v%C3%A1lvula-de-retenci%C3%B3n/v%C3%A1lvula-de-retenci%C3%B3n-de-columpio-con-nivel-y-con-trapeso.htm>>. [Consulta: abril 2019].
27. SOLINST. *Medidor de niveles de agua*. [en línea]. <<https://www.solinst.com/espanol/productos/instrumentos-de-medicion-de-nivel/101-medidor-de-niveles-de-agua/ficha-tecnica/>>. [Consulta: abril 2019].
28. TUBRIVALCO. *Válvulas de aire*. [en línea]. <<http://www.valvulasclaval.com/categorias-valvulasdeaireparaagualimpia.html>>. [Consulta: abril 2019].

29. VALDEZ ALDANA, Lizeth. *Selección de una bomba vertical de pozo profundo y equipo eléctrico para la extracción de agua potable en el municipio de Naucalpan*. Mexico: Instituto Politecnico Nacional, 2009. 203 p.
30. WHITE, Frank M. *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación, 2006. 644 p.
31. ZUBICARAY, Manuel. *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. México: Limusa, 2000. 290 p.

ANEXOS

Anexo 1. Pérdidas por fricción de tubería PVC en pies por cada 100 pies de tubería

Calibre Tubo	1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"		2"		2 1/2"		3"		4"	
	Pérd. Carga	Vel (ft./s)	Pérd. Carga	Vel (ft./s)	Pérd. Carga	Vel (ft./s)	Pérd. Carga	Vel (ft./s)	Pérd. Carga	Vel (ft./s)	Pérd. Carga	Vel (ft./s)	Pérd. Carga	Vel (ft./s)	Pérd. Carga	Vel (ft./s)	Pérd. Carga	Vel (ft./s)
1	1.87	1.37	0.42	0.74	0.12	0.45	0.03	0.25	0.01	0.18								
2	6.74	2.74	1.52	1.48	0.44	0.89	0.11	0.50	0.05	0.36	0.01	0.22						
3	14.29	4.11	3.21	2.23	0.93	1.34	0.23	0.75	0.10	0.54	0.03	0.33	0.01	0.23				
4	24.34	5.48	5.47	2.97	1.59	1.78	0.39	1.00	0.18	0.73	0.05	0.43	0.02	0.30				
5	36.79	6.85	8.27	3.71	2.40	2.23	0.59	1.25	0.27	0.91	0.08	0.54	0.03	0.38	0.01	0.24		
6	51.57	8.22	11.59	4.45	3.36	2.68	0.82	1.50	0.38	1.09	0.11	0.65	0.04	0.45	0.02	0.29		
7	68.61	9.59	15.43	5.19	4.47	3.12	1.09	1.75	0.50	1.27	0.14	0.76	0.06	0.53	0.02	0.34		
8	87.86	10.96	19.75	5.94	5.73	3.57	1.40	2.00	0.64	1.45	0.18	0.87	0.08	0.61	0.03	0.39		
9	109.27	12.33	24.57	6.68	7.12	4.01	1.74	2.25	0.80	1.63	0.23	0.98	0.01	0.68	0.03	0.44		
10	132.82	13.70	29.86	7.42	8.66	4.46	2.12	2.50	0.97	1.82	0.28	1.09	0.12	0.76	0.04	0.49		
11			35.63	8.16	10.33	4.91	2.53	2.75	1.16	2.00	0.33	1.20	0.14	0.83	0.05	0.53		
12			41.86	8.90	12.14	5.35	2.97	3.00	1.36	2.18	0.39	1.30	0.16	0.91	0.06	0.58		
14			55.69	10.39	16.15	6.24	3.95	3.50	1.61	2.54	0.52	1.52	0.22	1.06	0.07	0.68		
16			71.31	11.87	20.68	7.14	5.06	4.00	2.32	2.90	0.67	1.74	0.28	1.21	0.09	0.78		
18			88.69	13.36	25.72	8.03	6.30	4.50	2.89	3.27	0.83	1.96	0.34	1.36	0.12	0.87		
20			107.80	14.84	31.26	8.92	7.65	5.00	3.51	3.63	1.01	2.17	0.42	1.51	0.14	0.97	0.04	0.56
22					37.29	9.81	9.13	5.50	4.19	3.99	1.20	2.39	0.50	1.67	0.17	1.07	0.04	0.61
24					43.81	10.70	10.72	6.00	4.92	4.36	1.41	2.61	0.59	1.82	0.20	1.17	0.05	0.67
26					50.81	11.60	12.44	6.50	5.71	4.72	1.64	2.83	0.68	1.97	0.23	1.26	0.06	0.73
28					58.29	12.49	14.27	7.00	6.55	5.08	1.88	3.04	0.78	2.12	0.26	1.36	0.07	0.78
30					66.23	13.38	16.21	7.50	7.44	5.45	2.13	3.26	0.89	2.27	0.30	1.46	0.08	0.84
35							21.57	8.75	9.89	6.35	2.84	3.80	1.18	2.65	0.40	1.70	0.10	0.98
40							27.62	10.00	12.67	7.26	3.63	4.35	1.51	3.03	0.51	1.94	0.13	1.12
45							34.36	11.25	15.76	8.17	4.52	4.89	1.88	3.41	0.64	2.19	0.17	1.26
50	0.03	0.62					41.78	12.51	19.16	9.08	5.49	5.44	2.28	3.78	0.77	2.43	0.20	1.40
55	0.03	0.68					49.82	13.76	22.85	9.99	6.55	5.98	2.72	4.16	0.92	2.67	0.24	1.53
60	0.04	0.74					58.53	15.01	26.85	10.89	7.70	6.52	3.20	4.54	1.09	2.91	0.28	1.67
65	0.04	0.80							31.14	11.80	8.93	7.07	3.71	4.92	1.26	3.16	0.33	1.81
70	0.05	0.86							35.72	12.71	10.24	7.61	4.25	5.30	1.45	3.40	0.38	1.95
75	0.06	0.92							40.59	13.62	11.64	8.15	4.83	5.68	1.64	3.64	0.43	2.09
80	0.07	0.98							45.74	14.52	13.12	8.70	5.45	6.06	1.85	3.89	0.48	2.23
85	0.07	1.05							51.18	15.43	14.68	9.24	6.09	6.43	2.07	4.13	0.54	2.37
90	0.08	1.11							56.89	16.34	16.32	9.78	6.77	6.81	2.30	4.37	0.60	2.51
95	0.09	1.17							62.88	17.25	18.03	10.33	7.49	7.19	2.54	4.61	0.66	2.65
100	0.01	1.23							69.15	18.16	19.83	10.87	8.23	7.57	2.80	4.86	0.73	2.79
125	0.15	1.54	0.04	0.88					29.98	13.59	12.45	9.46	4.23	6.07	1.01	3.49		
150	0.21	1.85	0.05	1.05					42.02	16.31	17.45	11.35	5.93	7.29	1.54	4.19		
175	0.28	2.15	0.07	1.23							23.21	13.25	7.89	8.50	2.05	4.88		
200	0.36	2.46	0.09	1.41	0.03	0.89					29.72	15.14	10.01	9.71	2.62	5.58		
250	0.54	3.08	0.14	1.76	0.05	1.12					44.93	18.92	15.27	12.14	3.96	6.98		
300	0.76	3.69	0.19	2.11	0.06	1.34										5.56	8.37	
350	1.01	4.31	0.26	2.46	0.09	1.56	0.04	1.11								7.39	9.77	
400	1.29	4.92	0.33	2.81	0.11	1.79	0.05	1.28								9.47	11.16	
450	1.61	5.54	0.41	3.16	0.14	2.01	0.06	1.42										
500	1.95	6.15	0.50	3.51	0.17	2.23	0.07	1.58										
750	4.14	9.23	1.06	5.27	0.35	3.35	0.15	2.37										
1000	7.05	12.31	1.80	7.03	0.60	4.47	0.26	3.16										
1250			2.73	8.78	0.91	5.58	0.39	3.95										
1500			3.82	10.54	1.27	6.70	0.55	4.74										
2000					2.16	8.94	0.93	6.32										
2500					3.27	11.17	1.41	7.89										
3000					4.58	13.40	1.97	9.47										
3500							2.62	11.05										
4000							3.36	12.63										

Fuente: Franklin Electric. *Manual de ingeniería para bombas industriales y de irrigación*. p. 3.

Anexo 2. Pérdidas por fricción agua en pies por 100 pies de tubo de acero

GPM	Calibre Tubo 1/2"			Calibre Tubo 3/4"			Calibre Tubo 1"			Calibre Tubo 1-1/4"			Calibre Tubo 1-1/2"		
	Calibre real 0.622			Calibre real 0.824			Calibre real 1.049			Calibre real 1.315			Calibre real 1.615		
	Fricción	Vel (ft/seg)	Carga Vel (ft)	Fricción	Vel (ft/seg)	Carga Vel (ft)	Fricción	Vel (ft/seg)	Carga Vel (ft)	Fricción	Vel (ft/seg)	Carga Vel (ft)	Fricción	Vel (ft/seg)	Carga Vel (ft)
1	2.099	1.056	0.017	0.534	0.602	0.006	0.165	0.371	0.002	0.043	0.215	0.001	0.021	0.158	0.000
2	7.577	2.112	0.069	1.929	1.203	0.023	0.596	0.742	0.009	0.157	0.429	0.003	0.074	0.315	0.002
3	16.056	3.168	0.156	4.087	1.805	0.051	1.263	1.114	0.019	0.332	0.644	0.006	0.157	0.473	0.003
4	27.354	4.223	0.277	6.962	2.407	0.090	2.151	1.485	0.034	0.568	0.858	0.011	0.268	0.630	0.006
5	41.352	5.279	0.433	10.525	3.008	0.141	3.252	1.856	0.054	0.856	1.073	0.018	0.404	0.788	0.001
6	57.961	6.335	0.624	14.753	3.610	0.203	4.558	2.227	0.077	1.200	1.287	0.026	0.567	0.946	0.014
7	77.112	7.391	0.849	19.628	4.211	0.276	6.064	2.599	0.105	1.597	1.502	0.035	0.754	1.103	0.019
8	98.747	8.447	1.109	25.134	4.813	0.360	7.765	2.970	0.137	2.045	1.716	0.046	0.966	1.261	0.025
9	122.817	9.503	1.404	31.261	5.415	0.456	9.657	3.341	0.173	2.543	1.931	0.058	1.201	1.418	0.031
10	149.289	10.559	1.733	37.997	6.016	0.563	11.738	3.712	0.214	3.091	2.145	0.072	1.460	1.576	0.039
11	178.099	11.615	2.097	45.332	6.618	0.681	14.004	4.083	0.259	3.688	2.360	0.087	1.742	1.734	0.047
12	209.241	12.670	2.495	53.259	7.220	0.810	16.453	4.455	0.308	4.333	2.574	0.103	2.047	1.891	0.056
13	242.675	13.726	2.928	61.769	7.821	0.951	19.082	4.826	0.362	5.025	2.789	0.121	2.374	2.049	0.065
14	278.376	14.782	3.396	70.858	8.423	1.103	21.899	5.197	0.420	5.764	3.003	0.140	2.723	2.206	0.076
15	316.317	15.838	3.899	80.513	9.025	1.266	24.873	5.568	0.482	6.550	3.218	0.161	3.094	2.364	0.087
16				90.735	9.626	1.440	28.031	5.940	0.548	7.381	3.432	0.183	3.487	2.521	0.099
17				101.517	10.228	1.626	31.362	6.311	0.619	8.258	3.647	0.207	3.901	2.679	0.112
18				112.852	10.829	1.823	34.863	6.682	0.694	9.181	3.861	0.232	4.337	2.837	0.125
19				124.738	11.431	2.031	38.535	7.053	0.773	10.148	4.076	0.258	4.793	2.994	0.139
20				137.168	12.033	2.250	42.375	7.425	0.857	11.159	4.290	0.286	5.271	3.152	0.154
21				150.140	12.634	2.481	46.383	7.796	0.945	12.214	4.505	0.315	5.769	3.309	0.170
22				163.649	13.236	2.723	50.556	8.167	1.037	13.313	4.719	0.346	6.288	3.467	0.187
23				177.691	13.838	2.976	54.894	8.538	1.133	14.455	4.934	0.378	6.828	3.625	0.204
24				192.263	14.439	3.241	59.396	8.909	1.234	15.641	5.148	0.412	7.388	3.782	0.222
25				207.363	15.041	3.516	64.061	9.281	1.339	16.869	5.363	0.447	7.968	3.940	0.241
26				222.985	15.643	3.803	68.887	9.652	1.448	18.140	5.577	0.483	8.569	4.097	0.261
27				239.128	16.244	4.101	73.874	10.023	1.561	19.453	5.792	0.521	9.189	4.255	0.281
28				255.789	16.846	4.411	79.021	10.394	1.679	20.809	6.006	0.561	9.829	4.413	0.303
29				272.965	17.448	4.731	84.327	10.766	1.801	22.206	6.221	0.601	10.489	4.570	0.325
30				290.652	18.049	5.063	89.791	11.137	1.928	23.645	6.435	0.644	11.169	4.728	0.347
32							101.191	11.879	2.193	26.647	6.864	0.732	12.587	5.043	0.395
34							113.215	12.622	2.476	29.813	7.293	0.827	14.082	5.368	0.446
36							125.857	13.364	2.776	33.142	7.722	0.927	15.655	5.673	0.500
38							139.112	14.107	3.093	36.633	8.151	1.033	17.304	5.989	0.557
40							152.975	14.849	3.427	40.283	8.580	1.144	19.028	6.304	0.618
42							167.442	15.592	3.778	44.093	9.009	1.261	20.827	6.619	0.681
44							182.507	16.334	4.147	48.060	9.438	1.384	22.701	6.934	0.747
46							198.168	17.076	4.532	52.184	9.867	1.513	24.649	7.249	0.817
48							214.420	17.819	4.935	56.463	10.296	1.648	26.671	7.564	0.889
50							231.259	18.561	5.355	60.898	10.725	1.788	28.765	7.880	0.965
55							275.904	20.417	6.470	72.654	11.708	2.163	34.319	8.668	1.168
60							324.147	22.274	7.711	85.358	12.870	2.574	40.319	9.456	1.390
65							375.943	24.130	9.049	98.997	13.943	3.021	46.762	10.244	1.631
70							431.249	25.986	10.495	113.561	15.015	3.504	53.641	11.032	1.891
75							490.027	27.842	12.048	129.039	16.088	4.023	60.952	11.820	2.171
80							552.241	29.698	13.708	145.422	17.160	4.577	68.691	12.607	2.470
85							617.860	31.554	15.475	162.701	18.233	5.167	76.853	13.395	2.789
90							686.852	33.410	17.340	180.860	19.305	5.793	85.435	14.183	3.127
95							759.190	35.267	19.331	199.918	20.378	6.454	94.433	14.971	3.484
100							834.846	37.123	21.419	219.840	21.450	7.151	103.843	15.759	3.860
110										262.281	23.595	8.653	123.890	17.335	4.671
120										308.142	25.740	10.298	145.553	18.911	5.559
130										357.380	27.885	12.086	168.811	20.487	6.524
140										409.955	30.030	14.016	193.645	22.063	7.566
150										465.831	32.175	16.090	220.039	23.639	8.685
160													247.975	25.215	9.882
170													277.440	26.791	11.156
180													308.420	28.367	12.507
190													340.902	29.943	13.935
200													374.874	31.519	15.440

Fuente: Franklin Electric. *Manual de ingeniería para bombas industriales y de irrigación*. p. 5.