



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

**MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE, Y MANUAL  
PARA EL LABORATORIO DEL CURSO DE MÁQUINAS  
HIDRÁULICAS, DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA,  
FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC.**

**Armando Osberto Velásquez Godínez**  
Asesorado por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE, Y MANUAL  
PARA EL LABORATORIO DEL CURSO DE MÁQUINAS  
HIDRÁULICAS, DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA,  
FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

ARMANDO OSBERTO VELÁSQUEZ GODÍNEZ  
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejia
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE, Y MANUAL PARA EL LABORATORIO DEL CURSO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS, DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 26 de febrero de 2007.

Armando Osberto Velásquez Godínez

Guatemala 29 de Agosto 2008

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

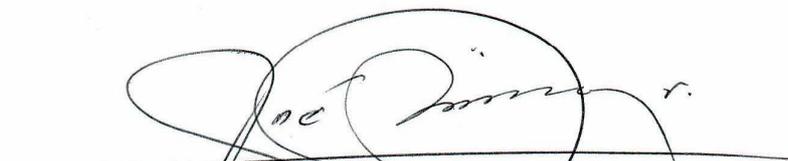
Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted, para infórmale que he llevado a cabo la revisión del trabajo de Graduación del estudiante. **Armando Osberto Velásquez Godinez**. Con No. De Carné 84-11295. trabajo que lleva el título **“MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y MANUAL PARA EL LABORATORIO DEL CURSO DE MAQUINAS HIDRAULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA FACULTAD DE INGENIERIA, USAC.”**

Después de haber realizado todas las correcciones necesarias el trabajo cumple con los requisitos exigidos por la facultad de Ingeniería por lo que doy mi aprobación para que pueda continuar con los trámites correspondientes.

Agradeciendo su atención me suscribo de usted

Atentamente,



**Ing. José Ismael Veliz Padilla**  
**Asesor de Trabajo de Graduación**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 17 de octubre de 2008  
REF.EPS. DOC.940.10.08.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **ARMANDO OSBERTO VELÁSQUEZ GODÍNEZ** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 8411295, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y MANUAL PARA EL LABORATORIO DEL CURSO DE MAQUINAS HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Edwin Estuardo Sastreño Zepeda  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
FFSZ./ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 17 de octubre de 2008

REF.EPS. DOC.940.10.08

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y MANUAL PARA EL LABORATORIO DEL CURSO DE MAQUINAS HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **ARMANDO OSBERTO VELÁSQUEZ GODÍNEZ** quien fue debidamente asesorado por el Ingeniero José Ismael Véliz Padilla y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

A atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Inga. Norma Ileana de la Cruz de Barrano

Directora Unidad de EPS

DIRECCION

Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

Facultad de Ingeniería

NISZ/ra

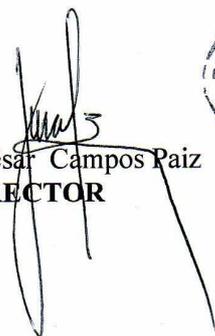
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la Directora de la Unidad del Ejercicio Profesional Supervisado, al trabajo de graduación MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y MANUAL PARA EL LABORATORIO DEL CURSO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC, del estudiante ARMANDO OSBERTO VELÁSQUEZ GODÍNEZ, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, octubre de 2008.

/behdei

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.377.08

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE, Y MANUAL PARA EL LABORATORIO DEL CURSO DE MÁQUINAS HIRÁULICAS, DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC,** presentado por el estudiante universitario **Armando Osberto Velásquez Godínez,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, Noviembre de 2008

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A**

- DIOS** Luz divina que ha iluminado el sendero de mi vida, y permitió que culminara este trabajo, dándome sabiduría, memoria y entendimiento.
- MIS PADRES** **Antonia Florencia Godínez (D.E.P.) y Efraín Alberto Velásquez (D.E.P.)**  
Quienes en alianza con Dios me dieron el Don de la vida, y desde la mansión celestial ven con alegría y gozo este triunfo. Sea mi éxito una oración a su memoria.
- MI ESPOSA** **Carmen Marizol Velásquez López**  
Por ser parte de mi vida, ayuda mutua e incondicional que Dios me brindó, este laurel también es tuyo, te amo.
- MIS HIJOS** **Gabriel Armando y Daniel Fernando Velásquez**  
Por ser mi motivación y fortaleza, que este galardón sea una cátedra en su vida, que cuando se traza una meta se debe alcanzar sin importar las pruebas del camino. Aunque muchas veces no lo expreso, los amo entrañablemente. Ustedes son el motivo de mi existencia;
- MI HERMANO** **Gumercindo Velásquez Godínez**  
Con quién compartimos momentos alegres de nuestras vidas, gracias por ser más que mi hermano y por brindarme tu hombro para que me apoye, especialmente en los momentos más difíciles que he vivido. Eres mi mejor amigo. Dios te bendiga.

**MIS ABUELITOS** **Gregoria Velásquez, Clemente Godínez, Julia González y Rosendo Velásquez (D.E.P.)**

Una plegaria en su memoria

**MIS SUEGROS** **Eva López de Velásquez y Delfino Velásquez**

Quienes desde sus oraciones y con palabras de aliento me apoyaron para alcanzar este triunfo, infinitamente gracias.

**MIS TÍOS** **Virgilio y Raymunda, Ezequiel y Carlota, Gilberto y Rosa, Udine y Sofía, Efraín y Clara, Calixto, Juan y Olga.**

Por el cariño que me han brindado, y aunque lejos, siempre estuvieron pendiente de la culminación de mi carrera, que Dios los bendiga.

**MIS PRIMOS** Por los momentos compartidos en los cuales encontraba fuerza para seguir adelante.

**MIS CUÑADAS Y CUÑADOS** Por brindarme su amistad sincera, la que ha consolidado nuestra convivencia fraterna.

**MIS SOBRINOS** Para que mi experiencia sea una exhortación en su vida. Y alcanzar la meta se necesita esfuerzo y al final se obtiene el éxito.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** Alma Máter que me abrió sus puertas; gracias porque en ella forjé mis conocimientos, los cuales pondré al servicio de mi prójimo.

### **AGRADECIMIENTOS A:**

**ING. ISMAEL VÉLIZ** Por su acertada asesoría y revisión de este trabajo de graduación.

**ING. EDWIN SARCEÑO** Por brindarme incondicionalmente su tiempo en la supervisión de este proyecto.

**ING. CÉSAR GODÍNEZ** Por su asistencia en la implementación de este trabajo.

**SR. FREDY ORDOÑEZ** Por su generosa colaboración para hacer realidad este proyecto.

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA USAC.** Por brindarme la oportunidad de desarrollar mi E.P.S. En especial al Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma e Ing. Walter Castellanos.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XIII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XVII</b>
<b>1. FASE DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Tipos de equipos de bombeo utilizados en la explotación del recurso hídrico</b>	<b>1</b>
1.1.1 Electros sumergibles, para pozos profundos	1
1.1.2 Sumergibles de turbina, para pozos profundos	2
1.1.2.1 Efectos de pérdida por fricción	2
1.1.2.2 Elementos de una turbina	3
1.1.2.3 Columna	3
1.1.2.4 Criterio para selección de columna	3
1.1.2.5 Dimensionamiento del colador cónico	4
1.1.3 Eléctricos, arranque y de protección	7
<b>1.2 Instalación</b>	<b>16</b>
1.2.1 Maquinaria, equipo y herramienta a utilizar	17
1.2.1.1 Maquinaria	17
1.2.1.2 Equipo	18
1.2.1.3 Herramienta	19
1.2.2 Determinación de la potencia del equipo mecánico Electro-sumergible	24
1.2.2.1 Mediante gráficas	24
1.2.2.2 Mediante el cálculo por medio de la fórmula	25

1.2.3	Selección del cable eléctrico sumergible	26
1.2.4	Selección de tubería de succión	30
1.2.5	Características del material de empalme	31
1.2.6	Especificaciones de los empalmes de cables eléctricos	33
1.2.7	Funda de enfriamiento o llamada también camisa de enfriamiento para el motor	35
1.2.8	Línea de aire con su manómetro o piezómetro	36
1.2.9	Lista para verificar la instalación de la bomba sumergible	36
1.2.9.1	Mecánica	36
1.2.9.2	Eléctrica	37
1.2.9.3	Instalación	37
<b>1.3</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>39</b>
1.3.1	Diagnóstico de fallas en el equipo de bombeo	39
1.3.2	Profundización del equipo sumergible mediante la instalación de más columna de tubería	42
1.3.3	El panel de arranque y de protección	43
1.3.4	Revisión constante del cable eléctrico	43
1.3.5	Tipos de mantenimiento	43
1.3.5.1	Preventivo	43
1.3.5.2	Correctivo	44
1.3.5.3	Predictivo	44
1.3.6	Orden de trabajo	44
1.3.7	Fichas de control del equipo	44
1.3.8	Lubricantes a utilizar	47
<b>1.4</b>	<b>Operación</b>	<b>47</b>
1.4.1	Propiedades hidráulicas y eléctricas	47
1.4.2	Monitoreo de amperaje	47

1.4.3	Monitoreo del caudal obtenido	48
1.4.4	Monitoreo de niveles	49
1.4.5	Relación que existe entre estas propiedades	50
<b>2.</b>	<b>FASE TÉCNICO-PROFESIONAL</b>	<b>51</b>
<b>2.1</b>	<b>Montaje del equipo de laboratorio</b>	<b>51</b>
2.1.1	Se realizó la obra civil	51
2.1.2	Montaje de equipo hidráulico y eléctrico	52
2.1.3	Arranque y pruebas	54
<b>2.2</b>	<b>Prácticas de laboratorio</b>	<b>54</b>
2.2.1	Diseño del perfil estratigráfico	54
2.2.2	Diseño del equipo mecánico-electro-sumergible	56
2.2.3	Cálculo y forma de empalme de los cables eléctricos	56
2.2.4	Mediciones de propiedades eléctricas	59
2.2.5	Monitoreo de niveles estático y dinámico	59
2.2.6	Aforos	62
2.2.7	Visitas	65
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>69</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>73</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Bomba sumergible	1
2. Bomba sumergible de turbina	2
3. Conjunto motor y bomba	4
4. Panel de arranque eléctrico	7
5. Flipón eléctrico	8
6. Arrancador magnético	9
7. Térmico o calentador	10
8. Protector de fases	10
9. Supresor de picos o pararrayos	11
10 Sensor de voltaje	12
11. Maquinaria utilizada en el mantenimiento de equipos sumergibles y pozos de agua	18
12Multímetro eléctrico	18
13.Equipo de seguridad personal	19
14.Llave de tubo	22
15.Herramienta manual	22
16 Elevador de tubería.	23
17.Gancho para elevar tubería	24
18.Curva de bomba	25
19.Cable eléctrico trefilar tipo jakcet plano	30
20.Esquema de continuidad	31
21.Cinta eléctrica	33

22. Forma de empalmar los cables	34
23. Funda de enfriamiento	35
24. Manómetro	36
25. Curva deterioro de afluencia del pozo	39
26. Curva de cambio de nivel de agua	40
27. Curva de reducción de diámetro de tubería.	41
28. Curva de desgaste de la bomba	41
29. Curva de incrustaciones	42
30. Orden de trabajo	45
31. Ficha histórica de mantenimiento	46
32. Ensamble de equipo motor y bomba	47
33. Multímetro monitoreando amperaje	48
34. Sonda eléctrica	50
35. Depósito para almacenamiento de agua	51
36. Conjunto motor- bomba	52
37. Arrancador y flipón eléctrico de la bomba sumergible	52
38. Forma de instalar la bomba	54
39. Perfil de pozo mecánico	55
40. Empalme de cable, utilizando conectores de bronce	56
41. Empalme de cable, utilizando hule vulcanizado, cinta No. 23	57
42. Empalme de cable, utilizando cinta eléctrica súper scotch No. 33	57
43. Proceso de empalmar los cables	58
44. Comportamiento de los niveles dentro del pozo	59
45. Método de aforar el pozo	63

## TABLAS

I. Cálculo de longitud de cable eléctrico monofásico	27
II. Cálculo de longitud de dos y tres alambres	28
III. Cálculo de longitud de cable para motores trifásicos	29
IV. Rango de descarga en galones por minuto	63



## GLOSARIO

<b>Acuífero</b>	Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.
<b>AISI</b>	Instituto Americano del Hierro y Acero.
<b>Amperaje</b>	Dimensional utilizada para medir la potencia que utiliza un equipo eléctrico al estar en operación.
<b>Ademe</b>	Tubo generalmente metálico o de policloruro de vinilo (PVC), de diámetro y espesor definido, liso o ranurado, cuya función es evitar el derrumbe o el colapso de las paredes del pozo que afecten la estructura integral del mismo; en su porción ranurada, permite el flujo del agua hacia los elementos mecánicos de impulsión de la bomba.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para Prueba de Materiales.
<b>Carga dinámica total</b>	Conocida como presión total, es la sumatoria de las pérdidas totales más la carga estática por vencer, regularmente está expresada en pies o su equivalente en metros de columna.

<b>Eficiencia</b>	Se habla como eficiencia de un equipo de bombeo a la relación entre la potencia de salida y de entrada, basada en la carga, caudal y hp totales.
<b>Impulsor</b>	Son los elementos giratorios en forma de hélice, que realizan el trabajo de convertir la energía mecánica del motor en energía hidráulica.
<b>HP</b>	(Horse power) Es una denominación de potencia, es decir Caballos de fuerza, un 1 Hp equivale a 746 watts.
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
<b>ISO</b>	Organización Internacional para la Estandarización.
<b>Mantenimiento de pozos</b>	Conjunto de actividades cuyo objetivo es mantener la eficiencia de la captación dentro de un intervalo aceptable, y que prolongue la vida útil de los pozos.
<b>Megger</b>	Equipos de prueba eléctricos y de medición para aplicaciones de energía eléctrica.
<b>Nema</b>	Asociación de los Fabricantes Eléctrica nacional.
<b>NPSH</b>	Carga neta positiva de succión.
<b>Pozo para extracción de Agua</b>	Obra de ingeniería en la que se utilizan maquinarias y herramientas mecánicas para su construcción, y que permite extraer agua del subsuelo.

<b>Presión</b>	Es la dimensional utilizada para definir la fuerza que ejerce un fluido sobre una superficie. Utilizada para definir columna de agua y puede ser expresada en pie de columna o libra sobre pulgada cuadrada.
<b>Presión atmosférica</b>	Es la energía de presión que el aire contenido en la atmósfera ejerce sobre la tierra y se mide en libra por pulgada cuadrada, o pulgadas de mercurio. Una Atmósfera equivale a 14.7 libras sobre pulgada cuadrada (PSI.)
<b>Presión estática total</b>	Conocida como carga estática, es la distancia vertical al que se localiza el punto de descarga, ya sea por arriba o por debajo de un punto de referencia o plano de comparación.
<b>Rehabilitación de pozos</b>	Conjunto de trabajos que se ejecutan en un pozo, sin incrementar la profundidad, encaminados a corregir deficiencias en el funcionamiento del mismo y cuya finalidad es mejorar el caudal de explotación respecto a la condición inicial que se registraba antes de los trabajos, prolongar su vida útil, mejorar la calidad del agua o la combinación de estos objetivos en un caso ideal.
<b>Rejilla</b>	Ademe con aberturas de forma, tamaño y espaciamiento diseñados en función de las características granulométricas del acuífero, para permitir el paso del agua al interior del pozo.

<b>Transmisividad</b>	Caudal que se filtra por el área dada por el espesor total del acuífero y un ancho unitario, bajo un gradiente unitario a temperatura de 20°C.
<b>UL 778</b>	Norma de Laboratorios de subscriptores 778.
<b>Voltaje</b>	Dimensional utilizada para medir el diferencial de potencia entre las líneas eléctricas de alimentación

## RESUMEN

En el presente trabajo, se desarrolló el montaje de un equipo de bombeo sumergible para agua, así mismo se describe los dos grandes grupos de bombas utilizadas para la explotación del recurso hídrico, las características y especificaciones.

Además se detalla los componentes del equipo eléctrico de arranque, tanto el que soporta la carga eléctrica, considerados como circuitos de fuerza, y los elementos eléctricos considerados de protección directa. Hay otros elementos eléctricos que no son de protección directa y que tampoco se consideran dentro del circuito de fuerza, sino entra en lo que se conoce como circuito de control.

Otro aspecto necesario descrito es la maquinaria y herramienta que se utiliza para realizar el mantenimiento a los equipos de bombeo sumergible, y por lo consiguiente a los pozos mecánicos. Sin descuidar el equipo de protección humano.

Así mismo, se menciona las formas de diseñar el equipo de bombeo sumergible para agua, en el cual se incluye: la determinación de la potencia, la selección del cable eléctrico, sus especificaciones y longitud, la forma de realizar los empalmes de los cables, las características y formas que estos llevan, y por último las instalaciones de válvulas de protección hidráulica.

A la vez se señala que la operación debe de ser controlada eléctrica e hidráulicamente, por medio del multitester y sondas eléctricas, que permiten verificar el rango permisible del monitoreo de amperaje, niveles de agua y

abatimiento, de manera que el funcionamiento del equipo de bombeo sumergible sea eficiente.

Y por último en la segunda parte se concluye con la ejecución del proyecto del laboratorio, realizando las pruebas de arranque y funcionamiento.

## OBJETIVOS

### ➤ **General**

Montar un equipo de bombeo sumergible para el laboratorio del curso de máquinas hidráulicas, con la finalidad de proporcionar orientación técnico-profesional a los estudiantes de Ingeniería mecánica.

### ➤ **Específicos**

1. Que conozca las diferencias que existen entre los equipos electrosumergibles para pozos profundos.
2. Que pueda seleccionar el equipo adecuado, de acuerdo a las condiciones y características del campo.
3. Que tenga conocimiento del proceso que se sigue en la perforación de un pozo mecánico para el aprovechamiento del agua.
4. Que se de cuenta de la importancia que tiene el mantenimiento preventivo y predictivo en los sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos.



## INTRODUCCIÓN

La selección de la bomba adecuada para cualquier aplicación entre la multitud de estilos, tipos y tamaños puede ser difícil para el usuario. El mejor método es hacer investigaciones preliminares, llegar a decisiones básicas y selecciones preliminares y analizar la aplicación con el proveedor de la bomba. La clave para hacer la selección correcta de la bomba radica en el conocimiento del sistema en que trabajará la bomba.

El ingeniero que especifica una bomba, puede hacer una selección errónea por no haber investigado los requisitos totales del sistema, ni determinar cuál debe ser el rendimiento de la bomba. Además, cuando la responsabilidad de la elección de la bomba está en manos del representante del proveedor, puede serle difícil o imposible determinar los requisitos totales de la operación.

Por ello, la primera regla para la selección de la bomba es el conocimiento completo del sistema



## 1. FASE DE INVESTIGACIÓN

**1.1. Tipos de equipos de bombeo utilizados en la explotación del recurso hídrico**

### 1.1.1 Electros-sumergibles, para pozos profundos

Es aquella en que la bomba y su motor impulsor operan sumergidos en el líquido que está siendo bombeado. Una bomba sumergible es una bomba centrífuga de varias etapas con un motor eléctrico debajo del extremo de la bomba.

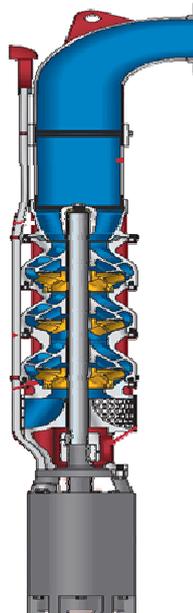
**Figura 1. Bomba sumergible**



### 1.1.2 Sumergibles de turbina, para pozos profundos.

Bomba compuesta al igual que la sumergible por un conjunto de etapas o tazones que al girar a un determinado número de revoluciones impulsa el agua hacia la superficie, con la diferencia que la fuerza motriz para que giren se transmite por medio de un eje vertical desde la superficie conectado a un cabezal de engranes o motor vertical.

**Figura 2. Bomba sumergible de turbina**



#### 1.1.2.1 Efectos de pérdida por fricción

Al frotar dos superficies crea una fricción, lo cual sucede cuando el agua corre por las tuberías, estas pérdidas varían de acuerdo a:

- a) El tamaño, tipo y longitud de la tubería.
- b) Las condiciones de las tuberías y los aditamentos integrados al sistema.
- c) El volumen y velocidad del flujo.

### **1.1.2.2 Elementos de una turbina**

- a) Bomba vertical o turbina propiamente
- b) Columna(ejes, arañas y acoples)
  - o Columna superior
  - o Columna inferior
- c) Colador cónico
- d) Cabezal de descarga
- e) Cabezal de engranes(ángulo recto)
- f) Eje de cabezal
- g) Eje de transmisión o eje cardan
- h) Motor vertical o motor horizontal (Diesel)

### **1.1.2.3 Columna**

- a) Los ejes de las columnas deben ser de acero al carbón ASTM A108 con acoples acero inoxidable en tramos de 10' para 1800 rpm y en tramos de 5' para velocidades de 2200 rpm o más.
- b) Las arañas no deben tener un espaciamiento mayor de 10' para velocidades de 1800 rpm y no más de 5' para velocidades de 2200 rpm o más.

### **1.1.2.4 Criterio para selección de columna**

- a) La selección de la columna debe hacerse de tal forma que las pérdidas por fricción de la tubería no excedan de 5' por cada 100' de columna.
- b) De ser posible la columna debe ser seleccionada del tal manera que la velocidad del fluido dentro de la columna no sea mas de 5 pies/segundo.

### 1.1.2.5 Dimensionamiento del colador cónico

La selección de colador cónico debe obedecer a proveer un área de succión por lo menos cuatro veces el área de la columna.

Partes del equipo sumergible.

#### **Bomba**

- Cabeza de descarga: acero inoxidable 303 fundido con precisión para una resistencia y durabilidad superiores. Fundida en el circuito para la línea de seguridad.
- Adaptador del motor: acero inoxidable 303 fundido con precisión es extremadamente rígido para obtener un alineamiento exacto del extremo del líquido con el motor. Espacio suficiente para retirar las tuercas de montaje del motor con una llave de boca regular. (Véase figura 3)

**Figura 3. Conjunto motor bomba**



- Tazones: de acero inoxidable para mayor resistencia y mejores propiedades anti-abrasivas.
- Válvula de retención: válvula de retención incorporada, construida de acero inoxidable y compresión baja, cumple con las normas de la Administración de Alimentos y Fármacos (F.D.A), con caucho buena para una excelente resistencia a la abrasión y un funcionamiento silencioso y eficiente.
- Carcasa de acero inoxidable: el acero inoxidable pulido es atractivo y durable hasta en el agua más corrosiva.
- Diseño de eje hexagonal: ejes de seis lados para un accionamiento positivo del impulsor.
- Acoplamiento del eje: al descubierto para facilitar el alineamiento en el campo con el eje del motor y para verificar la rotación de la bomba.
- Cojinetes superiores e intermedios de uretano: diseño acanalado para permitir el paso libre de abrasivos y ofrecer una excelente resistencia al daño causado por la arena.

### **Motor eléctrico**

- Construcción de acero inoxidable resistente a la corrosión en motores hasta 1.5 KW, carcasa de acero inoxidable con campanas de extremo de hierro gris niquelado en motores de más de 1,5 KW.
- Los motores monofásicos de hasta 4 KW están equipados con un protector contra sobre tensiones transitorias incorporado.
- Eje estriado de acero inoxidable. Devanados de sellado hermético.
- Conjunto reemplazable de conductores del motor.
- Reconocido por la norma UL 778.
- Dimensiones de montaje NEMA.
- Se requiere una caja de control con las unidades monofásicas trifilares.

- Las unidades trifásicas requieren un arrancador magnético con protección de tres circuitos derivados. El arrancador magnético y los calentadores se deben ordenar en forma separada.

### **Características**

- Con suministro eléctrico para un funcionamiento continuo.  
Todas las capacidades nominales están dentro de los límites de trabajo del motor, en la forma recomendada por el fabricante del motor. La bomba puede operarse en forma continua sin dañar el motor.
- Se le puede dar servicio en el campo.  
La bomba se puede reacondicionar en el campo a una condición como nueva con herramientas comunes y partes de repuesto de fácil disponibilidad.
- Construcción resistente a la arena.  
Probada en el campo durante casi cuatro décadas, con diseño de espacio libre de la cara e impulsores flotantes que ofrecen una configuración extremadamente resistente a la abrasión.
- Partes metálicas de acero inoxidable.  
Los tipos AISI 302, 303 y 304 son resistentes a la corrosión, no son tóxicos y no permiten la infiltración.
- Partes no metálicas que cumplen con las normas de la Administración de Alimentos y Fármacos (F.D.A.).  
Los impulsores, difusores y cubos de cojinetes están contruidos de un compuesto diseñado lleno con vidrio. Este material es resistente a la corrosión y no es tóxico.

### 1.1.3 Eléctricos, arranque y de protección

Controles de arranque básicos para una bomba sumergible.

**Figura 4. Panel de arranque eléctrico**



Para el diseño de los controles de arranque de una bomba sumergible es necesario pensar en dos conceptos de circuito:

#### - **Circuito de fuerza**

Esta compuesto por los siguientes elementos eléctricos que soportan la carga eléctrica en el momento de arranque del equipo.

El flipón: es el elemento de protección contra cortocircuito, los hay también termo-magnético. No es una protección directa del motor, sino mas bien del circuito de alimentación o cableado.

**Figura 5. Flipón eléctrico**

Bornes de entrada



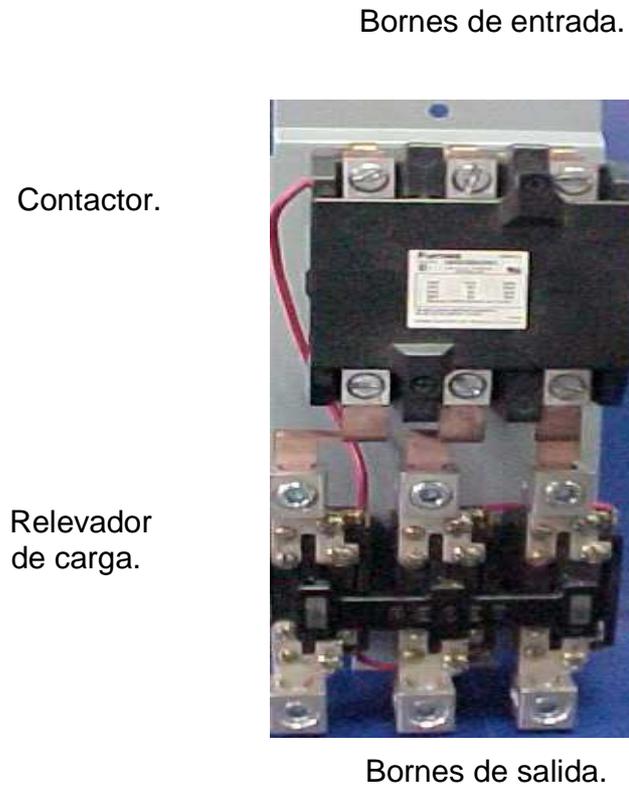
Bornes de salida

- Otro elemento eléctrico indispensable en este circuito llamado de Fuerza, es el denominado Arrancador Magnético.

Está compuesto de 2 partes:

- o El contactor: es la parte donde está la bobina y los contactos o platinos que se abren o cierran cuando se aplica la tensión o voltaje. (Véase figura 6)
- o El Relevador de Sobre Carga: es la parte que protege el motor por sobre carga de corriente (altos amperajes). Este debe ser siempre tipo disparo rápido clase 10. Lo hay de tipo térmico e inductivo. (Véase figura 6)

**Figura 6. Arrancador magnético**



Si al térmico se le incorpora un elemento ajustado al parámetro de la corriente consumida, se conoce comúnmente como térmico o calentador.

- El Térmico o Calentador: funciona a manera que una resistencia térmica se calienta al paso de la corriente y provoca dilatación, la cual activa el bimetálico del relevador de sobrecarga. (Véase figura 7)

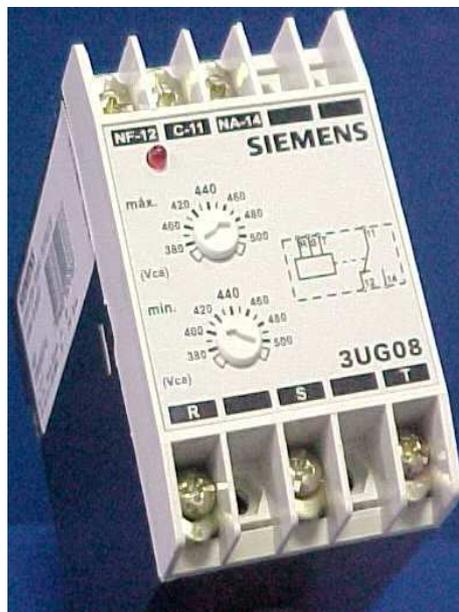
**Figura 7. Térmico o calentador**



- El Protector de Fase: es un monitor que controla el nivel de voltaje de entrada, la pérdida de fase o cambio de fase y desbalance.

**Figura 8. Protector de fases**

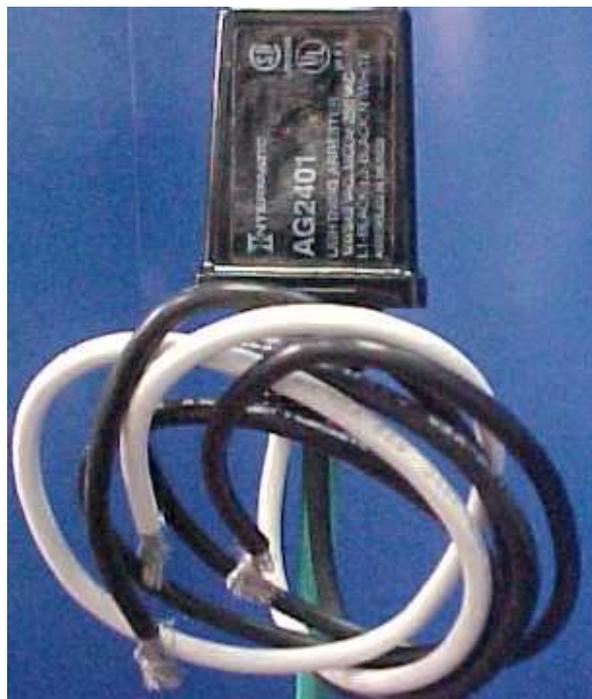
Contactos de salida



Contactos de entrada.

Cualquiera de las condiciones que registre abre, el contacto de paso de energía hacia la bobina del contactor para abrir también los contactos de éste, con lo que provoca que el voltaje hacia el motor se interrumpa. No puede faltar también la protección contra descargas eléctricas o picos de voltaje provocados por tormentas atmosféricas o desbalance en las líneas principales de alimentación. (Véase figura 9)

**Figura 9. Supresor de picos**



- Aplicación del supresor de picos.  
Protección contra picos de voltaje ocasionados por descargas atmosféricas y por variaciones derivadas de la fuente de generación. La conexión a una buena tierra es necesaria.  
Importante: no brinda protección si la descarga cae cerca, o sobre el equipo.

- **Circuito de protección.**

Las características del SubMonitor le proporcionan las siguientes protecciones avanzadas para motores sumergibles.(Véase figura 10)

**Figura 10. Sensor de voltaje**



- El sub-monitor opera en todo el rango de voltajes en motores trifásicos: 200 a 575 Voltios, 50/60 Hz

- Opera en motores con una corriente de factor de servicio desde 3 hasta 359 Amperes. No requiere transformadores de corriente externos ni adicionales.
- Protege los motores y bombas de: sobrecargas de corriente, cargas bajas de corriente, alto voltaje, bajo voltaje, corrientes desbalanceadas, arranques falsos e inversión de fases.
- Opera con un motor sumergible equipado con Sensor-Subtrol para proporcionar al motor protección contra el sobrecalentamiento.
- Monitorea y muestra los voltajes y corrientes de las tres fases y el estado de la bomba.
- Cuando ocurre una falla, muestra las condiciones y el tipo de la falla.
- Registra y muestra el historial de hasta 502 eventos de disparo de protección por falla, además de registrar los cambios a los parámetros programables.
- Registra el tiempo total de operación de la bomba.
- Cuenta con una unidad de pantalla separable que puede montarse en el frente de un panel para poder ver el estado de operación del motor.
- Incluye la opción de bloqueo por contraseña para evitar manipulaciones en el equipo.
- Montaje fácil en riel DIN u opción empotrable.
- Unidad totalmente integrada, los transformadores de corriente están incorporados.

### **Programación Simple**

El SubMonitor ha sido preprogramado en fábrica con ajustes predeterminados para motores y bombas sumergibles. El ajuste es tan simple como establecer los siguientes valores del motor: voltaje, frecuencia y amperaje máximo FS (Factor de Servicio).

Pueden seleccionarse opciones adicionales de programación si se desea personalizar las características y niveles de protección. Todo el ajuste de programación puede hacerse antes de instalar la unidad en el campo, esto se logra conectando una fuente monofásica de 230 voltios entre las entradas de voltaje L1 y L3 del SubMonitor e introduciendo los datos del motor y otras opciones.

- La condición de pérdida de fase es un caso severo de desbalance de corriente. Fallas de desbalance de corriente reportadas por el SubMonitor son debidas a una pérdida de fase cuando la corriente en una línea de alimentación del motor es muy pequeña, o cuando la función de desbalance de corriente ha sido desactivada.

Hay otros elementos eléctricos que no son de protección directa y que tampoco se consideran dentro del circuito de fuerza. Sin más bien entra en lo que se conoce como circuito de control.

Por ejemplo:

- Control de Nivel para vaciado o llenado de tanque.
- Timer de control de funcionamiento por tiempo.
- Selectores o botoneras de arranque (□tara – stop).
- Relé de demora para el arranque.
- Alternadores.
- Luces indicadores de marcha o falla.
- Automáticos de control (Flip-on de bajo amperaje que protege bobinas o desconectan el circuito de control)

El interruptor termo magnético protege al conductor de la instalación de sobre cargas y cortocircuitos.

El interruptor diferencial protege a las personas de posibles electrocuciones y protege a la instalación de daños causados por fugas de corriente eléctrica.

## **Pararrayos**

Se denominan, en general, pararrayos a los dispositivos destinados a descargar las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas, por maniobras o por otras causas que, en otro caso, se descargarían sobre los aisladores o perforando el aislamiento, ocasionando interrupciones en el sistema eléctrico y, en muchos casos, desperfectos en los generadores, transformadores, etc.

Para que su funcionamiento sea eficaz, los pararrayos han de estar permanentemente conectados a las líneas pero solamente han de entrar en funcionamiento cuando la tensión alcance un valor conveniente y superior, naturalmente, a la tensión de servicio. Es decir, que pararrayos actúa a la manera de una válvula de seguridad.

Como en las primeras instalaciones en que se emplearon estos dispositivos, su misión fundamental era limitar las sobretensiones de origen atmosférico, recibieron el nombre de pararrayos. Posteriormente' amplió su misión, utilizándose también para proteger las instalaciones contra las sobretensiones de origen interno. Por eso, parece mas adecuada la denominación de *descargadores de sobretensión* aunque nosotros hemos conservado la denominación clásica de pararrayos, porque nos parece más intuitiva. En lo sucesivo, utilizaremos indistintamente ambas denominaciones y el lector debe saber que nos referimos al mismo dispositivo.

## **Guarda nivel**

El electro nivel se usa para proteger bombas sumergibles por debajo nivel de succión, los electrodos deben estar dentro de un tubo o manguera no conductora para proteger que los electrodos no hagan contacto accidental con el ademe metálico del pozo, lo que daría una falsa detección del nivel.

Pero introducir los electrodos dentro del tubo o manguera, la resistencia eléctrica de la columna de agua puede aumentar drásticamente debido a las siguientes causas:

- Al reducir el área de la columna de agua la resistencia aumenta.
- Al aumentar la distancia entre electrodos la resistencia aumenta.

Entonces el guarda nivel puede llegar a que no tenga la suficiente sensibilidad para detectar el nivel de la columna de agua.

## **1.2 Instalación**

### **Lista de verificación de la instalación**

- Anote la información de la bomba y del motor y otros datos solicitados en la portada de este manual.
- Inspeccione todos los componentes para detectar daños de envío; notifique los daños de inmediato al distribuidor.
- Verifique la correspondencia de los caballos de fuerza del motor y de la bomba.
- Haga corresponder la tensión y fase de la fuente de alimentación con las especificaciones de control y del motor.
- Seleccione un lugar sombreado y seco en el cual montar los controles.
- Las conexiones de todos los empalmes sumergidos y subterráneos deben ser impermeables.
- Sujete la bomba en la cabeza de descarga cuando instale tubo roscado o un accesorio adaptador ya que la mayoría de las bombas tienen roscas de mano izquierda que se aflojarán si sujeta la bomba de cualquier otra parte.
- Revise todas las conexiones de plomería para verificar que estén ajustadas y selladas con cinta de teflón.
- Verifique que la clasificación de presión del tubo sea más alta que la presión de paro de la bomba.

- Instale una válvula de alivio de presión en todo sistema capaz de crear más de 75 psi.
- Sitúe el interruptor por caída de presión a menos de 4 pies del tanque de presión para evitar el chasquido del interruptor.
- Ajuste la precarga del tanque 2 psi por debajo de la presión de conexión del sistema, por ejemplo 28 en un sistema de 30/50.
- Instale la bomba 10 pies más arriba del fondo del pozo para mantenerla lejos de los sedimentos y residuos.
- Verifique que el suministro eléctrico principal esté desconectado y apagado antes de cablear los componentes.
- El cableado debe ser realizado por técnicos calificados únicamente.
- El cableado y la puesta a tierra deben cumplir con los códigos nacionales y locales.
- Restrinja el flujo con una válvula de bola o de globo, 1/3 abierta, antes de arrancar la bomba por primera vez.
- Abra un grifo o válvula de descarga durante la puesta en marcha para evitar que entre agua sucia al tanque.
- Encienda el cortacircuito principal o el desconectado.
- Active/desactive varias veces para verificar el funcionamiento correcto del interruptor.
- Verifique los amperios y anote los datos en la portada de este manual.
- Entregue el manual al propietario en el sitio de la obra.

## **1.2.1 Maquinaria, equipo y herramienta a utilizar**

### **1.2.1.1 Maquinaria:**

Grúa. Aparato de elevación de funcionamiento discontinuo destinado a elevar cargas suspendidas de un gancho o de cualquier otro accesorio de aprehensión.

**Figura 11. Grúa que se utiliza para la instalación o extracción de bombas sumergibles**



**1.2.1.2 Equipo:**

Se utiliza dispositivos para monitorear voltajes, amperajes así como equipo de protección de seguridad (Guantes, Cascos, etc(véase figuras 12 y 13))

**Figura 12. Multímetro eléctrico**



**Figura 13. Equipo de seguridad personal**



### **1.2.1.3 Herramienta**

A continuación se desarrollan normas generales a la hora de utilizar una herramienta manual:

Elección correcta de herramientas

- Las herramientas de mano deben ser de material de buena calidad, especialmente las de choque, que deben ser de acero cuidadosamente seccionado, fuertes para soportar golpes sin mellarse o formar rebordes en las cabezas, pero no tan duro como para astillarse o romperse.
- Los mangos deben ser de madera dura, lisos y sin astillas o bordes agudos. Deben estar perfectamente colocados.
- La herramienta debe tener forma, peso y dimensiones adecuadas al trabajo a realizar y no deben utilizarse para fines para los que no han sido diseñadas.

- Las herramientas no deben presentar ninguno de estos defectos:
- Cabezas aplastadas, con fisuras o rebabas.
- Mangos rajados o recubiertos con alambre.
- Filos mellados o mal afilados.
- Cuando se trabaje en zonas con riesgos especiales con gases inflamables, líquidos volátiles, etc., la elección de la herramienta debe estar basada en el material con el que está fabricada que no de lugar a chispas por percusión.
- En trabajos eléctricos se debe utilizar herramientas con aislamiento adecuado.

### **Mantenimiento**

- El perfecto estado de las herramientas requiere una revisión periódica por parte de personal especializado. Este control puede realizarse mediante control centralizado o bien mediante supervisión a cargo de jefes de grupo o equipo.
- Las herramientas deben mantenerse bien limpias y afiladas y las articulaciones engrasadas para evitar su oxidación.

### **Almacenamiento**

- El almacenamiento debe hacerse de tal forma que su colocación sea correcta, que la falta de alguna de ellas sea fácilmente comprobada, que estén protegidas contra su deterioro por choques o caídas y tenga acceso fácil sin riesgo de cortes con el filo de sus partes cortantes.
- Las personas que trabajan en máquinas deben disponer de armarios o estantes para colocar y guardar las herramientas que usan.
- Se debe evitar dejarlas en el suelo, en zonas de paso o en lugares elevados como escaleras de mano ya que pueden ocasionar lesiones al caer sobre alguna persona.

- Las herramientas cortantes o con puntas agudas se deben guardar previstas de protectores de cuero o metálicos para evitar lesiones por contacto accidental.

### **Transporte**

- Para efectuar el transporte se deben utilizar cajas especiales, bolsas o cinturones de porta- herramientas según las condiciones de trabajo y los últimos empleados.
- No se deben transportar herramientas que puedan obstaculizar el empleo de las manos cuando se trabaje en escaleras, andamios, estructuras, etc. En estos casos se deben colocar en cajas o sacos.

Las herramientas utilizadas en esta actividad están:

- Llave de tubo de mordaza y de cadena, éstas se utilizan para aflojar y apretar la columna de tubos que conducen el agua desde la bomba sumergible hasta el almacenamiento del agua o red de distribución. (Véase figura 14)

**Figura 14. Llave de tubo**



- Alicates, pinzas, corta alambres, etc.,  
Esta herramienta sirven para manipular el material de empalme, que sujeta el cable eléctrico sumergible y cable del porta electrodo, que conduce la energía eléctrica desde el tablero de control eléctrico hasta el motor sumergible. (Véase figura 15)

**Figura 15. Herramienta manual**



- Elevador, es el elemento que sostiene la columna de tubos cuando se acopla e instala un siguiente tubo.

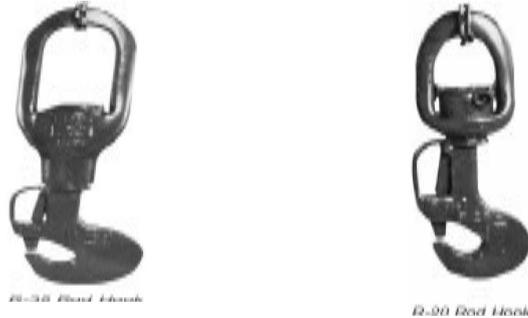
Elevadores de tubería y varillas. De carga frontal o lateral (puerta frontal o lateral). Capacidades de carga de 35 a 100 toneladas.

**Figura 16. Elevador de tubería**



- Gancho para Grúa.  
Aplicaciones de perforación y servicio de pozos brazos o Enlaces para Grúa ("links"). Capacidad de carga: 150 toneladas. Longitudes: 3 pies a 10 pies (aprox. 1m a 3 m)

**Figura 17. Gancho para elevar tubería**



### **1.2.2 Determinación de la potencia del equipo mecánico electro sumergible**

Este cálculo se puede determinar de dos formas:

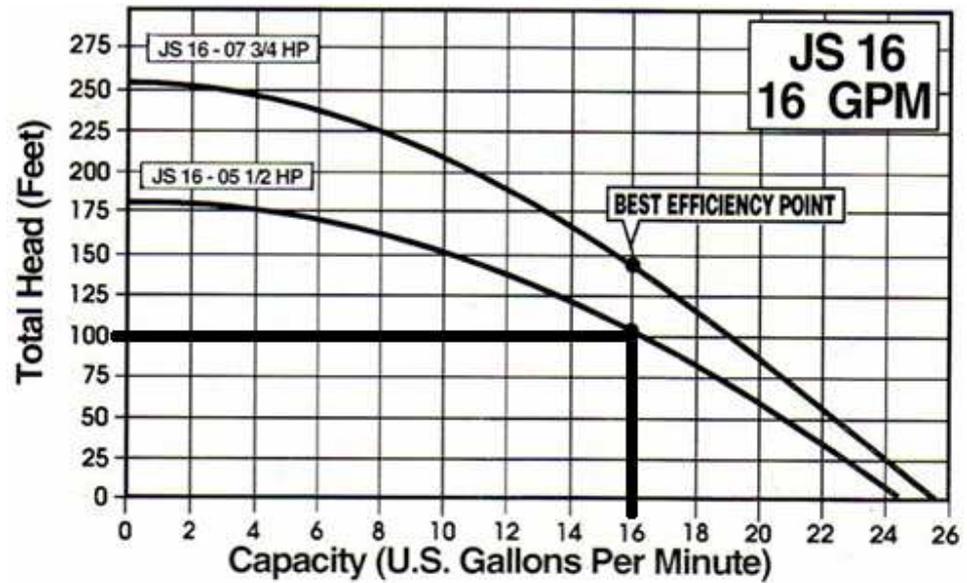
#### **1.2.2.1 Mediante gráficas**

Conociendo la carga dinámica total y el caudal deseado. Por ejemplo: deseamos conocer el caballaje de una bomba con una carga dinámica total de 100 pies y según pruebas de bombeo el caudal del pozo se mantiene estable para una explotación de 16 galones por minuto.

Primer paso: hacemos coincidir la CDT. De 100 pies y 16 GPM., de caudal. (Véase figura 18)

Segundo paso: obtenemos según intersección que necesitamos un bomba de ½ HP modelo JS 16 GPM. Según curva de la bomba.

Figura 18. Curva de bomba



### 1.2.2.2 Mediante el cálculo por medio de la fórmula

$$P = \frac{\text{caudal} \times \text{altura} \times \text{densidad}}{\text{eficiencia}} = \frac{Q \cdot H \cdot \delta}{\eta \cdot 75}$$

Por ejemplo:

Determinar la potencia para un sistema de bombeo cuya altura a vencer es de 100 pies, el caudal de bombeo es de 16 GPM. La eficiencia es de 70% considere las pérdidas en el sistema en un 15 % de la altura a vencer.

Datos:

H= 100 pies = 30.48 m.

H dinámica = 15 pies = 4.57 m.

Eficiencia = 70 %

Q bombeo = 16 GPM.

Altura total = H + H dinámica = 30.48 + 4.57 = 35.05 m.

16 GPM = 0.001009 m<sup>3</sup>/seg.

$$P = \frac{\text{caudal x altura x densidad}}{\text{eficiencia}}$$

Sustituyendo datos.

$$P = \frac{35.05 \text{ m} \times 0.001009 \text{ m}^3/\text{seg} \times 1000\text{Kg}/\text{m}^3}{75 \times 0.70}$$

P=0.66 HP, como este caballaje no es comercial, utilizamos

P=0.5 HP

y con los datos de caballaje y caudal revisamos la curva de la bomba que nos cumple estos requerimientos.

### 1.2.3 Selección del cable eléctrico sumergible

Las longitudes que no tienen asteriscos, llenan los requisitos del Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos, ya sea para conductores individuales o para cables probados a 60°C.

Las longitudes marcadas con asteriscos, llenan el código Eléctrico Nacional únicamente para cables de conductores individuales de 60°C en agua o en aire, pero no entubado. Esta tabla está basada en alambre de cobre. Si se usa alambre de aluminio, éste debe ser de dos tamaños más grandes. Ejemplo: si la tabla requiere alambre de cobre No. 12 entonces se debe de usar alambre de aluminio No.10.

Las cajas de control monofásicas pueden ser conectadas en cualquier punto del total de longitud del cable.

**Tabla I. Cálculo de longitud de cable eléctrico monofásico**  
**LARGO MÁXIMO DEL CABLE DEL MOTOR MONOFÁSICO**  
**(Del motor a la entrada de servicio) (2)**

Clasificación del motor		Tamaño del alambre de cobre (1)								
Voltios	Caballos de fuerza	14	12	10	8	6	4	2	0	00
115	$\frac{1}{3}$	130	210	340	540	840	1300	1960	2910	3540
	$\frac{1}{2}$	100	160	250	390	620	960	1460	2160	2630
230	$\frac{1}{3}$	550	880	1390	2190	3400	5250	7960	11770	
	$\frac{1}{2}$	400	650	1020	1610	2510	3880	5880	8720	
	$\frac{3}{4}$	300	480	760	1200	1870	2890	4370	6470	7870
	1	250	400	630	990	1540	2380	3610	5360	6520
	1.5	190	310	480	770	1200	1870	2850	4280	5240
	2	150	250	390	620	970	1530	2360	3620	4480
	3	120*	190	300	470	750	1190	1850	2890	3610
	5	0	0	180*	280	450	710	1110	1740	2170
	7.5	0	0	0	200*	310	490	750	1140	1410
	10	0	0	0	0	250*	390	600	930	1160
15	0	0	0	0	170*	270*	430	660	820	

- Esta tabla se basa en alambre de cobre. Debe ser dos tamaños más grandes si se utiliza alambre de aluminio. Ejemplo: Cuando la tabla indica alambre de cobre #12, utilizaría alambre de aluminio #10.
- Las cajas de control monofásicas pueden conectarse en cualquier punto del largo total del cable.

Los largos de cable indicados se calculan a base de una caída de potencial de 5%. Si se requiere una caída de potencial de 3%, multiplique los largos indicados por 0.6 para obtener los largos máximos.

**Tabla II. Cálculo de longitud eléctrica de dos o tres alambres**

**Cable de Dos o Tres Alambres, 60 HZ**

**(De Fuente de Energía al motor - La Longitud Máxima en Pies)**

Relación del Motor		Tamaño del Cable (AWG) Gobre												
Voltios	HP	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000
115	1/3	130	210	340	540	840	1300	1610	1960	2390	2910	3540	4210	5060
	1/2	100	160	250	390	620	960	1190	1460	1780	2160	2630	3140	3770
230	1/3	550	880	1390	2190	3400	5250	6520	7960	9690	11770			
	1/2	400	650	1020	1610	2510	3880	4810	5880	7170	8720			
	3/4	300	480	760	1200	1870	2890	3580	4370	5330	6470	7870		
	1	250	400	630	990	1540	2380	2960	3610	4410	5360	6520		
	1 1/2	190	310	480	770	1200	1870	2320	2850	3500	4280	5240		
	2	150	250	390	620	970	1530	1910	2360	2930	3620	4480		
	3	120*	190	300	470	750	1190	1490	1850	2320	2890	3610		
	5	0	0	180*	280	450	710	890	1110	1390	1740	2170	2680	
	7 1/2	0	0	0	200*	310	490	610	750	930	1140	1410	1720	
	10	0	0	0	0	250*	390	490	600	750	930	1160	1430	1760
	15	0	0	0	0	170*	270*	340	430	530	660	820	1020	1260

1 Pie = .3048 Metros

Tabla III. Cálculo de longitud de cable para motores trifásicos

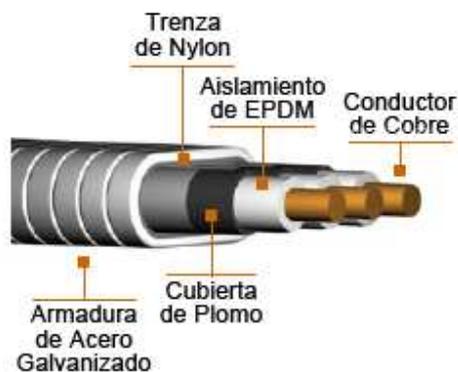
**Cable Trifásico de 60 Hz (Interruptor al Motor) Máxima Longitud en Pies**

Capacidad del Motor		(AWG) Tamaño del Cable de Cobre																		
Voltaje	HP	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
200V 60 Hz Trifásico Tres Alambres	1/2	710	1140	1800	2840	4420														
	3/4	510	810	1280	2030	3160														
	1	430	690	1080	1710	2670	4140	5140												
	1 1/2	310	500	790	1260	1960	3050	3780												
	2	240	390	610	970	1520	2360	2940	3610	4430	5420									
	3	180	290	470	740	1160	1810	2250	2760	3390	4130									
	5	110*	170	280	440	690	1080	1350	1660	2040	2490	3050	3670	4440	5030					
	7 1/2	0	0	200	310	490	770	960	1180	1450	1770	2170	2600	3150	3560					
	10	0	0	0	230*	370	570	720	880	1090	1330	1640	1970	2390	2720	3100	3480	3800	4420	
	15	0	0	0	160*	250*	390	490	600	740	910	1110	1340	1630	1850	2100	2350	2570	2980	
	20	0	0	0	0	190*	300*	380	460	570	700	860	1050	1270	1440	1650	1850	2020	2360	
	25	0	0	0	0	0	240*	300*	370*	460	570	700	840	1030	1170	1330	1500	1640	1900	
	30	0	0	0	0	0	250*	310*	380*	470	580	700	850	970	1110	1250	1360	1590		
230V 60 Hz Trifásico Tres Alambres	1/2	930	1490	2350	3700	5760	8910													
	3/4	670	1080	1700	2580	4190	6490	8060	9860											
	1	560	910	1430	2260	3520	5460	6780	8290											
	1 1/2	420	670	1060	1670	2610	4050	5030	6160	7530	9170									
	2	320	510	810	1280	2010	3130	3890	4770	5860	7170	8780								
	3	240	390	620	990	1540	2400	2980	3660	4480	5470	6690	8020	9680						
	5	140*	230	370	590	920	1430	1790	2190	2690	3290	4030	4850	5870	6650	7560	8460	9220		
	7 1/2	0	160*	260	420	650	1020	1270	1560	1920	2340	2870	3440	4160	4710	5340	5970	6500	7510	
	10	0	0	190*	310	490	760	950	1170	1440	1760	2160	2610	3160	3590	4100	4600	5020		
	15	0	0	0	210*	330	520	650	800	980	1200	1470	1780	2150	2440	2780	3110	3400		
	20	0	0	0	0	250*	400	500	610	760	930	1140	1380	1680	1910	2180	2450	2680		
	25	0	0	0	0	0	320*	400	500	610	750	920	1120	1360	1540	1760	1980	2160		
	30	0	0	0	0	0	260*	330*	410*	510	620	760	930	1130	1280	1470	1650	1800		
460V 60 Hz Trifásico Tres Alambres	1/2	3770	6020	9460																
	3/4	2730	4350	6850																
	1	2300	3670	5770	9070															
	1 1/2	1700	2710	4270	6730															
	2	1300	2070	3270	5150	8050														
	3	1000	1600	2520	3970	6200														
	5	590	950	1500	2360	3700	5750													
	7 1/2	420	680	1070	1690	2640	4100	5100	6260	7680										
	10	310	500	790	1250	1960	3050	3800	4680	5750	7050									
	15	0	340*	540	850	1340	2090	2600	3200	3930	4810	5900	7100							
	20	0	0	410*	650	1030	1610	2000	2470	3040	3730	4580	5530							
	25	0	0	0	530*	830	1300	1620	1990	2450	3010	3700	4470	5430						
	30	0	0	0	430*	680	1070	1330	1640	2030	2490	3060	3700	4500	5130	5860				
40	0	0	0	0	500*	790	980	1210	1490	1830	2250	2710	3290	3730	4250					
50	0	0	0	0	0	640*	800	980	1210	1480	1810	2190	2650	3010	3420	3830	4180			
60	0	0	0	0	0	540*	670*	830*	1020	1250	1540	1850	2240	2540	2890	3240	3540			
75	0	0	0	0	0	0	0	680*	840*	1030	1260	1520	1850	2100	2400	2700	2950			
100	0	0	0	0	0	0	0	0	620*	760*	940*	1130	1380	1560	1790	2010	2190			
125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	740*	890*	1000*	1220	1390	1560	1700	1960			
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	760*	920*	1050*	1190*	1340	1460	1690			
175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	810*	930*	1060*	1190*	1300	1510				
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	810*	920*	1030*	1130*	1310				

- Especificaciones del cable: 5 kV, 450°F cable para bombas electrosumergibles plano, disponible en construcción redonda según se requiera (Véase figura 19)
- Conductor de cobre blando sólido.
- Aislamiento: EPDM (Etileno, Propileno, Dieno y Monómero) 450°F.

- Cubierta de plomo aleación "E".
- Armadura cinta de acero galvanizado.
- Tubo capilar acero inoxidable 3/8" O.D. x 0.049" espesor de pared (Opcional)
- **Aplicación** para el suministro de energía eléctrica a las bombas sumergibles en pozos petroleros.
- Normas aplicables: ASTM standards B1, B189/ICEA S-68-516.

**Figura 19. Cable eléctrico trifilar tipo jacket plano**



#### 1.2.4 Selección de tubería de succión

La tubería de descarga de la bomba debe dimensionarse para producir un funcionamiento eficiente de la bomba. Utilice las Tablas de pérdida por fricción para calcular la carga dinámica total empleando tubos de tamaños diferentes.

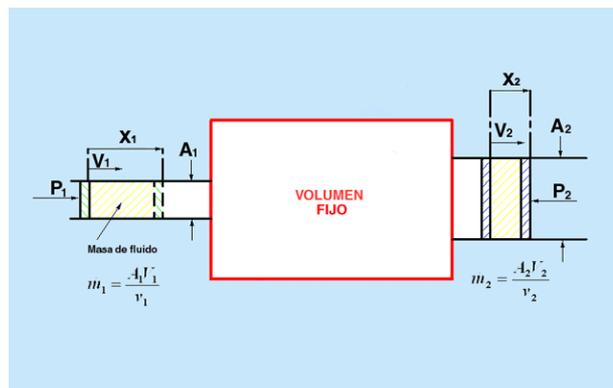
Como regla práctica, utilice 1 pulg., para hasta 10 gpm. 1¼ pulg. Para hasta 30 gpm. 1½ pulg., para hasta 45 gpm y 2 pulg., para hasta 80 gpm. En el caso de secciones largas de tubería es mejor aumentar el tamaño de la tubería.

Algunas bombas son capaces de producir presiones de descarga muy altas; por lo tanto, seleccione el tubo que corresponda. Consulte con su proveedor de tubería para determinar el mejor tipo para cada instalación.

Otra manera de calcular las pérdidas es por medio de la ecuación de continuidad o conservación de masa, que es una herramienta muy útil para el análisis de fluidos que fluyen a través de tubos o ductos con diámetro variable. En estos casos, la velocidad del flujo cambia debido a que el área transversal varía de una sección del ducto a otra.

Si se considera un fluido con un flujo estable través de un volumen fijo como un tanque con una entrada y una salida, la razón con la cual el fluido entra en el volumen debe ser igual a la razón con la que el fluido sale del volumen para que se cumpla el principio fundamental de conservación de masa. (Véase figura 20)

**Figura 20. Esquema de continuidad**



### 1.2.5 Características del material de empalme

El empalme es la unión entre dos conductores realizada para garantizar la continuidad del fluido eléctrico. Realizar un empalme seguro significa recurrir a dispositivos capaces de evitar recalentamientos.

Principal característica: para empalmar dos conductores es importante utilizar los dispositivos adecuados. Éstos son aquellos que aprietan entre sí los hilos o cables por medio de un tornillo o los que alojan en un cuerpo metálico los extremos desnudos de los conductores sujetos por atornillado o soldadura y luego recubrirlos con cinta aislante.

Cintas aislantes vinílicas de alta actuación. (Véase figura 21)

Especificaciones de cinta aislante número 33

- Material PVC
- Espesor 0.18mm (7 mils)
- Rigidez dieléctrica 56.50kV/mm
- Elongación 250%
- Temperatura de operación: -18°C a 105°C
- Retardante a la llama
- Resistente a la abrasión, humedad, ácidos, álcalis, radiación ultravioleta, etc.
- Cumple con las normas ASTM D-3005, UL 510 y CSA

**Características:**

- Rigidez dieléctrica 31.50kV/mm.
- Cinta de EPR, para baja y media tensión auto-fundente.
- Espesor 0.76mm (30mils)
- Elongación 1000%
- Temperatura de operación 90°C
- Temperatura de emergencia 130°C
- Resistente al ozono
- Con separador de capas.
- Como parte de empalmes de media tensión cumple con la norma IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) 404
- Compatible con todo tipo de aislamiento de cables de energía de media tensión

### **Aplicaciones:**

- En general como protección contra ambientes agresivos Aislación primaria en conexiones o empalmes de cables y conductores hasta 69kV
- Aislación primaria en la confección de conos de alivio hasta 35kV
- Sello contra la humedad de conexiones eléctricas
- Aislación de barrasa
- Sello de extremos de cables de alta tensión.

**Figura 21. Cinta eléctrica de PVC**



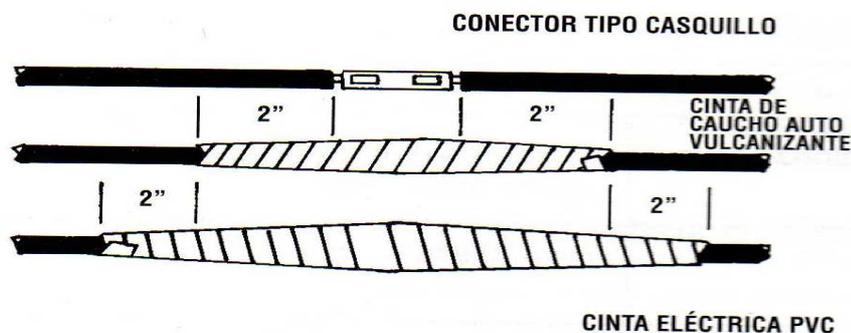
### **1.2.6 Especificaciones de los empalmes de cables eléctricos**

Cuando el cable de bajada debe ser conectado a los cables del motor, es necesario que su conexión sea impermeable. Esta conexión o empalme se puede hacer con materiales comunes comerciales disponibles, como tipo de resina, o usando cintas eléctricas impermeables, estas con máxima precaución. (Véase figura 22)

- La conexión con la cinta se debe de hacerse en la siguiente forma:
- Corte el forro que cubre el conductor solo lo suficientemente necesario para poder usar conectores tipo tubito (casquillo) sujetado a presión de cobre, uno sobre cada conductos. Si el diámetro de este es menor que el forro que cubre el cable, cúbralo con cinta de caucho aislante tipo auto vulcanizante, hasta igualar el diámetro.
  - Cubra cada unión de los cables individuales con dos capas de cinta de caucho aislante Scotch #23 de electricidad: la primera capa debe extenderse más de 2" de las puntas de los cables; la segunda capa se extiende más de 2" de la primera capa. Asegúrese que queden bien apretados y lo más hermético que se pueda.
  - Cubra la cinta aislante de caucho con cinta eléctrica marca scotch Scotch #33 o su equivalente usando dos capas como se describió en la sección anterior y haciendo que cada capa se extienda 2" más que la anterior.

En el caso de un cable con 3 conductores forrados con una cinta, cubra cada conductor separadamente como se describió, escalonado cada conductor con fin de mantener el diámetro del empalme más o menos igual que el cable. El espesor total de la cinta debe ser más o menos igual que el espesor del aislamiento

**Figura 22. Forma de empalmar los cables**

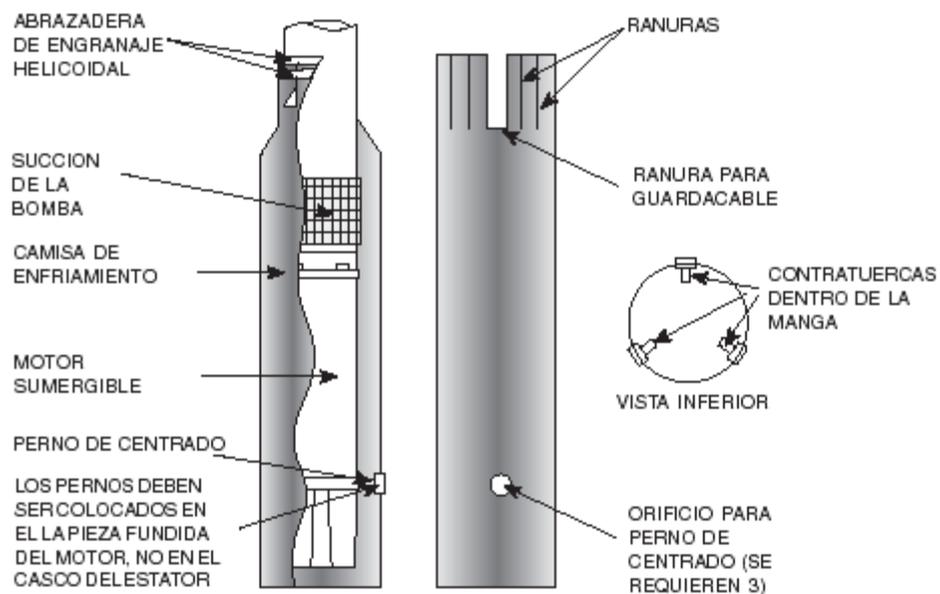


### 1.2.7 Funda de enfriamiento o camisa de enfriamiento para el motor

Si el flujo es menor que el especificado o viene por arriba de la succión de la bomba, entonces se debe usar una camisa de enfriamiento. Siempre se requiere de una camisa de enfriamiento en un manto abierto de agua. Un ejemplo de construcción de la camisa de enfriamiento.

Aplicación: un motor y bomba de 6" con capacidad de 60 GPM se instalará en un pozo de 10". Esta unidad requiere de 90 GPM para cumplir con el enfriamiento adecuado del motor. Es necesario se instale una camisa de 8" de diámetro o menor para satisfacer los requisitos. . (Véase figura 23).

Figura 23. Funda de enfriamiento



### 1.2.8 Línea de aire con su manómetro o piezómetro

Manómetro de presión:

Utilizar un manómetro preferentemente con indicación de aguja, para detectar presencia de golpes de ariete. (Véase figura 24)

**Figura 24. Manómetro**



En pozos con gran variabilidad de entrada de agua se recomienda instalación de sensores de nivel para evitar que el equipo pueda operar en seco, lo cual dañaría inmediatamente la bomba y el motor.

Válvulas de retención (Check): debe instalarse una a la salida de la bomba o a máximo 6 metros de distancia. La no instalación o defecto de estas válvulas, pueden provocar choques hidráulicos que pueden dañar el motor.

### 1.2.9 Lista para verificar la instalación de la bomba sumergible

Esta lista de revisión propone asistir en hacer una instalación confiable de equipo sumergible.

#### 1.2.9.1 Mecánica

- Verifique que los parámetros del motor correspondan con los de la bomba.
- Revise de que la extensión del motor no esté dañada.
- Ensamble el motor a la bomba siguiendo las instrucciones del fabricante. Verifique que el eje del conjunto gire libremente.

- Al colocar el fleje guarda cable sobre la extensión del motor procure no dañar ésta con roturas o pellizcos. Dicha precaución debe guardarse durante la instalación de la bomba con el cable de alimentación eléctrica.
- Revise el aislamiento de la extensión del motor (antes de unirla a el cable umbilical) utilizando un megger, midiendo de cada alambre a el cuerpo (carcasa) del motor. Estas lecturas deben ser un mínimo de 200 megohmios por fase.

#### **1.2.9.2 Eléctrica**

- Verifique que el voltaje de la fuente de energía el KVA del transformador (es) cumpla con los requisitos del motor.
- Revise que los fusibles, el interruptor del circuito y protección de sobrecarga sean adecuados para el motor según las recomendaciones del Manual de Instalación del fabricante.
- Utilice el pararrayos adecuado en cada instalación. Estos deben ser propiamente conectados a el cuerpo del motor usando un calibre de cable adecuado para proveer la conexión a tierra.
- Debe usarse un cable sumergible diseñado con la capacidad de manejar el amperaje desarrollado por el motor sin recalentamiento en agua o aire. Debe ser uno que cumpla con reglas locales. No debe usarse cable de menor calibre que el recomendado por el fabricante del motor.

#### **1.2.9.3 Instalación**

- Debe usarse una camisa inductora de flujo cuando el motor está localizado en el pozo debajo de las ranuras o perforaciones del entubado, dentro de las mismas, o cuando éste se instala en río, lago, u otro cuerpo de agua expando.

- Depende la capacidad de la bomba y profundidad de operación, para determinar el número de válvulas de retención que debe usarse. La más profunda, debe estar por debajo del nivel dinámico mas bajo.
- Para asegurar que la bomba cuente con una succión neta positiva (NPSH) requerida, ésta debe estar colocada debajo del nivel estático más profundo.
- Debe revisarse la resistencia del aislamiento del cable periódicamente durante la instalación con un megger de 500 ó 1000 voltios corriente directa. La resistencia puede disminuir gradualmente al ser el cable introducido en el agua del pozo. Una bajada o caída brusca en la resistencia de éste indicaría posible daño en el mismo o en la unión del motor. Las medidas de resistencia deben coincidir con la indicada en el manual del fabricante.
- Tome lecturas de resistencia del cable (asegure los alambres del cable estén libres de humedad) usando un megger de 500 a 1000 voltios CD. Lecturas deben coincidir con las indicadas en el manual del fabricante. (Lectura debe tomarse entre cada alambre y tierra.)
- Consígase un mayor equilibrio entre las tres fases del motor (amperaje). Motores trifásicos deben tener un amperaje balanceado entre fases, y no exceder de un 5% de desbalance. Mayores diferenciales causarían recalentamiento del motor, vibraciones y disparo de protección de sobre carga.
- Verifique que el poner en marcha, apagar u operar el equipo no cause exceso de vibración o golpes hidráulicos.
- Después de 15 minutos de operación, verifique el gasto de la bomba, la energía suplida, nivel dinámico del pozo y otras especificaciones estén estabilizadas según requisito.
- Verifique que ciclaje de encendidos no exceda el número recomendado por el fabricante.

### 1.3 Mantenimiento

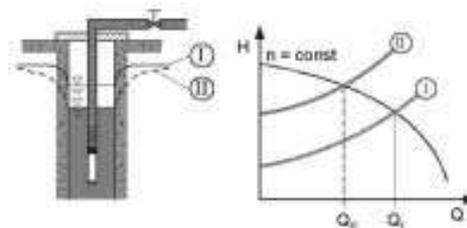
Es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones.

#### 1.3.1 Diagnóstico de fallas en el equipo de bombeo

Asumiendo que la selección original de la bomba era correcta, la baja eficiencia es a menudo la consecuencia de un cambio en el punto de operación de la bomba. Las causas más frecuentes son:

- Deterioro de la distancia de afluencia del pozo: en otras palabras, las propiedades filtrantes del pozo han cambiado. Los poros del empaque o capa de gravilla filtrante se tapan y el nivel de agua en el pozo ha bajado desde que se midió por primera vez. La altura requerida aumenta y el punto de operación se mueve a la izquierda en la curva característica de la bomba.

Figura 25. Curva de deterioro de afluencia del pozo

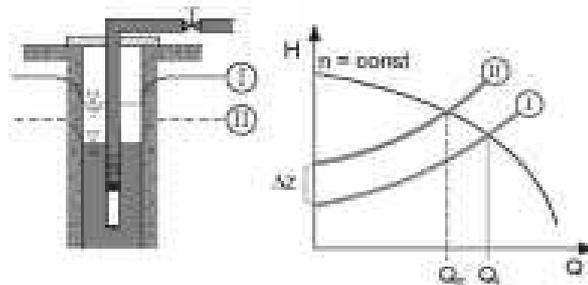


- Cambio en el nivel de las aguas subterráneas: el nivel de las aguas subterráneas puede aumentar o disminuir en el tiempo. Un mayor nivel en las aguas subterráneas puede deberse a una reducción en la

extracción de agua subterránea en la vecindad del pozo, mientras que una disminución del nivel puede deberse a una menor permeabilidad del suelo o mas aún por una disminución intencional del nivel de agua subterránea con el propósito de la construcción de un edificio.

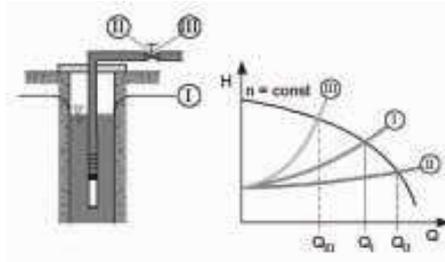
El punto de operación se mueve a la izquierda en la curva característica de la bomba, cuando la altura requerida aumenta y el caudal disminuye.

**Figura 26. Curva de cambio de nivel de agua**



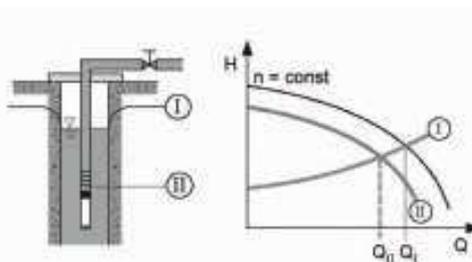
- Reducción de diámetro de la tubería: las actividades de construcción pueden alterar la sección de paso libre de la tubería y alturas. El resultado en los efectos de estrangulación causará que el caudal aumente o disminuya.

**Figura 27. Curva de reducción de diámetro de tubería**



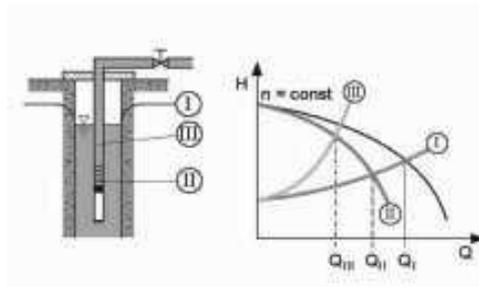
- Desgaste de la bomba: si la bomba es responsable de la baja eficiencia, la razón más probable es desgaste. Esto normalmente se puede reconocer en los anillos de desgaste, los cuales pueden ser gradualmente desgastados por la arena contenida en el fluido bombeado. Eventualmente se produce una recirculación entre los lados de descarga y succión. Como en el caso de control de velocidad, la curva característica de la bomba baja.

**Figura 28. Curva de desgaste de la bomba**



- Incrustación: otra causa potencial de pérdida de eficiencia es la llamada incrustación, es decir, la acumulación de óxido de hierro, calcio o magnesio en la superficie interior. La curva Q-H de la bomba aumenta su inclinación, pero la presión a caudal cero es la misma que cuando la bomba estaba nueva. Este fenómeno es claramente distinguible del efecto de desgaste mencionado anteriormente. La incrustación puede ocurrir en la bomba, tubería o ambos.

**Figura 29. Curva de incrustaciones**



### **1.3.2 Profundización del equipo sumergible mediante la instalación de más columna de tubería**

Los niveles de agua de los acuíferos han estado descendiendo, lo que ha dado como resultado el que varios pozos se queden sin un nivel de agua adecuado para seguir produciendo.

Evaluando la ubicación y los acuíferos relacionados, es posible efectuar una profundización del pozo. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que el diámetro de profundización debe ser menor que el diámetro del encamisado actual. Esto puede ser un factor limitante para el equipo de bombeo sumergible, y por lo tanto, puede afectar el caudal del mismo.

Para hacer una profundización, primero se hace una prueba de verticalidad y alineación del pozo, y luego, el proceso es similar al proceso de perforación.

La profundización puede ser la solución al problema de baja de niveles de agua en aquellos lugares en los que el manto acuífero está a una profundidad accesible a la profundización, y el ahorro económico puede llegar a ser significativo.

### **1.3.3 El panel de arranque y de protección**

Con el fin de conservar en buen estado funcional los interruptores, contactores, y en general todos los elementos que integran un tablero, se realiza el servicio de mantenimiento preventivo el cual consiste en la revisión física, limpieza general, reapriete de conexiones, así como pruebas mecánicas y eléctricas.

Lo anterior se realiza utilizando el equipo de seguridad y herramienta adecuada, así como el medidor de resistencia a tierra.

Cabe mencionar que durante la ejecución del servicio se cumplen las condiciones de seguridad establecidas en la norma NOM-029-STPS - Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas en los Centros de Trabajo.

### **1.3.4 Revisión constante del cable eléctrico**

Esta actividad consiste en examinar los cables eléctricos visibles que existe entre el brocal del pozo y panel eléctrico de control, tanto el sumergible, el cable porta electrodo y el cable que aterriza al encamisado del pozo.

### **1.3.5 Tipos de mantenimiento**

De acuerdo con sus formas de intervención, el mantenimiento se puede clasificar en diversas maneras, siendo una de las más aceptadas la siguiente:

#### **1.3.5.1 Preventivo**

Este tipo de actividades se realiza a base de rutinas programadas, las cuales predicen una falla por terminar la vida útil de un equipo eléctrico, motor o bomba, de acuerdo a indicaciones del manual del fabricante.

#### **1.3.5.2 Correctivo**

Serie de actividades que se realiza cuando falla un equipo eléctrico, motor, bomba o elemento mecánico hidráulico y hay que repararlo ó cambiarlo.

#### **1.3.5.3 Predictivo**

Se basa en análisis de síntomas de desgaste o evaluaciones estadísticas de uno o más elementos mecánicos, que determinen el punto exacto de su sustitución, esta tarea se realiza sin detener la actividad del equipo.

#### **1.3.6 Orden de trabajo**

Este formato registra los datos que identifican al cliente, personal técnico de la empresa, datos preliminares del equipo a trabajar y resultados preliminares del mantenimiento. (Véase figura 30)

#### **1.3.7 Fichas de control del equipo sumergible**

En este formato de mantenimiento, se registra los datos que identifican al equipo de protección eléctrica, equipo de bombeo hidráulico y los mantenimientos realizados al mismo, detallando el mantenimiento. (Véase figura 31)

**Figura 30. Orden de trabajo**

ORDEN DE TRABAJO.

No.

Lugar y fecha: \_\_\_\_\_

Nombre del cliente: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_ Tel: \_\_\_\_\_

Trabajos a efectuarse: \_\_\_\_\_

Nombre del técnico: \_\_\_\_\_

Diámetro del pozo: \_\_\_\_\_ Profundidad del pozo: \_\_\_\_\_

Nivel estático: \_\_\_\_\_ Nivel Dinámico: \_\_\_\_\_

Tipo de bomba: \_\_\_\_\_ Colocación de la bomba: \_\_\_\_\_

Modelo de la bomba: \_\_\_\_\_ HP. de la bomba: \_\_\_\_\_

Voltaje: \_\_\_\_\_ Amperaje: \_\_\_\_\_

No. serie motor: \_\_\_\_\_ Fases: \_\_\_\_\_

Materiales utilizados

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Autorizado por.

\_\_\_\_\_  
Recibí conforme

\_\_\_\_\_  
Vo. Bo. Supervisor

**Figura 31. Ficha histórica de mantenimiento**

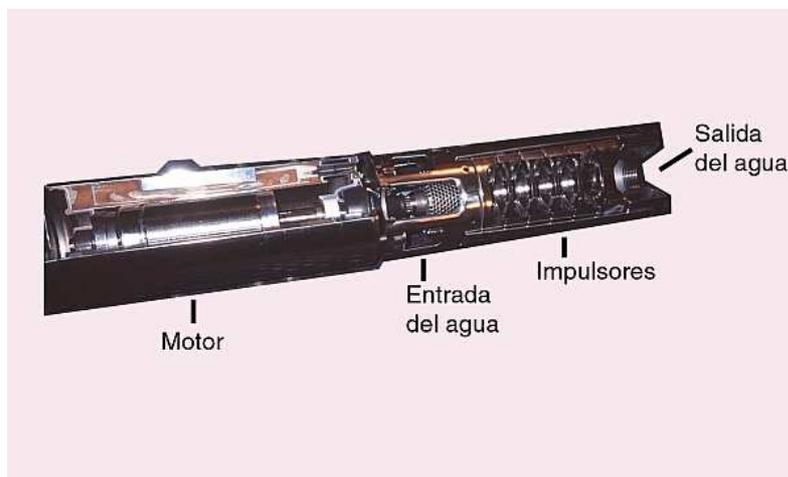
Ficha de  
Mantenimiento

Identificación			
Pozo No.		Ubicación	
Diámetro		Empresa perforadora.	
Producción		Profundidad	
No. De Banco de transformadores		No. Contador de energía eléctrica	
No. Transformadores		No. De poste.	
Voltaje		Fases	
<u>Equipo sumergible instalado en el pozo.</u>			
<u>Motor</u>			
Tipo		Marca	
Serie		Número de motor	
Modelo		Fases	
Hp.		RPM	
Voltaje		Frecuencia	
Amperaje		Factor de Servicio	
No. de cable		Fecha	
<u>Bomba</u>			
Tipo		Marca	
Modelo		Número de Serie	
Hp.		RPM	
Número de etapas.		Diámetro columna	
Profundidad de instalación.		Fecha	
<u>Protección eléctrica</u>			
Flipon		Contactador	
Guarda nivel		Caja de cuchillas	
Pararrayos		Guarda motor	
Botonera			
<u>Accesorios</u>			
Profundidad cheques		Profundidad electrodos	
Profundidad de cable		Profundidad línea de aire	
Piezómetro			
Observaciones:			
f: Responsable/ Nombre			

### 1.3.8 Lubricantes a utilizar

Todas las bombas sumergibles están selladas y tiene el aceite de lubricación contenido para evitar contaminación del agua. Otras bombas utilizan el agua misma como lubricante. (Véase figura 32) Estas bombas no deben operarse en seco porque sufren sobrecalentamiento y por lo consiguiente desgaste.

**Figura 32. Ensamble del equipo motor y bomba**



## 1.4 operación

### 1.4.1 Propiedades hidráulicas y eléctricas.

Las propiedades hidráulicas involucradas en la operación están: la densidad, el caudal y el volumen.

### 1.4.2 Monitoreo de amperaje

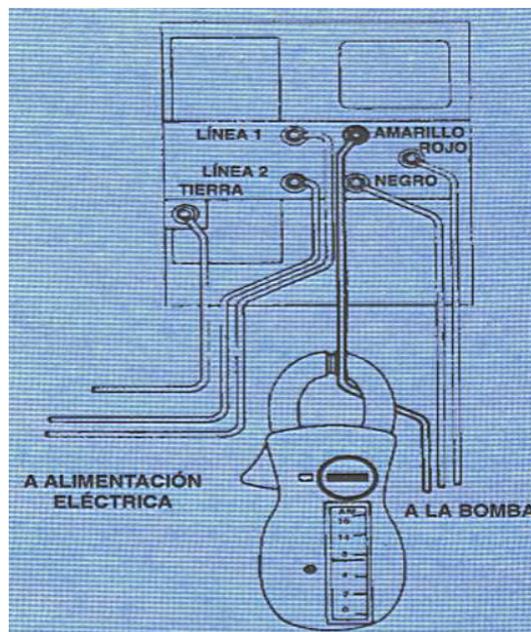
El amperímetro mide flujo de corriente, el motor debe estar en funcionamiento para obtener una lectura. (Véase figura 33)

Forma de uso:

- Tire del alambre a medir apartándolo de los otros cables.

- Ajuste el amperímetro a la escala más alta.
- Coloque las tenazas del amperímetro alrededor del alambre.
- Cambie la escala del amperímetro de acuerdo a la lectura registrada.
- Compare la lectura con el dato de la placa del motor

**Figura 33. Multímetro monitoreando amperaje**



#### 1.4.3 Monitoreo del caudal obtenido

El monitoreo de un pozo profundo involucra la determinación de los parámetros que definen las condiciones de operación de la bomba:

- El flujo,  $Q$  (m<sup>3</sup>/h)
- La altura,  $H$  (m)
- La potencia consumida,  $P$  (kw)

Este monitoreo se realiza volumetricamente, este consiste en llenar un recipiente tomando el tiempo de llenado, luego se divide el volumen de agua en galones dentro del tiempo en minutos de llenado y obtenemos gal/min, que es el caudal de producción del pozo.

#### **1.4.4 Monitoreo de niveles**

- Nivel Estático (NE)

Es la distancia vertical que existe entre el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando el equipo se encuentra estático; se mide en metros (m) a través de una sonda eléctrica.

- Nivel Dinámico (ND)

Es la distancia vertical que existe entre el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando el equipo se encuentra en operación; se mide en metros (m) a través de una sonda eléctrica.

Esta actividad se desarrolla con la finalidad de mantener el control de los niveles de agua (estático y dinámico) en los pozos y a la vez proteger el funcionamiento del equipo de bombeo sumergible.

La forma de realizar este monitoreo es por medio de carretes medidores de nivel. (Véase figura 34)

Desarrollados para aguas subterráneas, pozos, y tanques de almacenamiento.

Realizan verificaciones rápidas y exactas de nivel, temperatura, conductividad e interfase con productos sobrenadantes

Todos disponen de Ajuste de Sensibilidad, Alarmas (luminosa y sonora), Compartimiento para la Batería y Freno.

PORTATIL, Modelo 101

Longitudes desde 15 m hasta 750 m.

Cinta plana de alta resistencia química y mecánica.

Graduaciones cada 1 mm. Disponible con Certificado de trazabilidad opcionales: medidores de temperatura.

**Figura 34. Sonda eléctrica**



#### **1.4.5 Relación que existe entre estas propiedades**

La relación más notable entre las propiedades eléctricas e hidráulica, es que cuando disminuye el amperaje el caudal de producción del pozo sufre alteraciones, por lo que son importantes los monitoreos tanto de amperaje y caudal.

## 2. FASE TÉCNICO-PROFESIONAL

### 2.1 Montaje del equipo de Laboratorio

#### 2.1.1 realización de obra civil

La obra civil se fundamentó en simular un pozo mecánico de agua, consistente en instalar un depósito plástico de forma cilíndrica, con un diámetro de 0.60 mt., y una altura 1.05 mt., y con capacidad almacenamiento de 296 litros equivalente a 78 galones de agua. (Véase figura 35). En este recipiente se instaló el equipo sumergible para bombeo de agua.

Figura 35. Depósito para almacenamiento de agua



### 2.1.2 Montaje de equipo hidráulico y eléctrico

Descripción del equipo hidráulico y eléctrico instalado. (Véase figuras 36 y 37)

Figura 36. Conjunto motor-bomba



Figura 37. Arrancador y flipón electrico



1. motor y bomba sumergible marca Grundfos de  $\frac{3}{4}$  de hp, 230 voltios.
2. tubería hierro galvanizado de  $\frac{3}{4}$ " X 8" de largo, simulando la columna de un pozo.
3. Coplas hierro galvanizado de  $\frac{3}{4}$ " rosca corrida
4. Collarín.
5. Sello Sanitario.
6. Válvula de cheque vertical.
7. Cable sumergible plano tipo trifilar jaquet Número 3X12.
8. Cable para electrodo calibre No. 12
9. Electrodo de bronce.
10. Tablero eléctrico:
  - a. Flipón
  - b. Guarda nivel
  - c. Contactor.
  - d. Protector de fases

El proceso de instalación consistió en simular una torre de mantenimiento de un equipo sumergible, y se procedió a instalar el equipo sumergible del laboratorio, consistente en una bomba sumergible marca grundfos de  $\frac{3}{4}$  Hp., con su respectivo motor, tubería de descarga de  $\frac{3}{4}$ " hg., de 30 cm., de largo, un cheque vertical instalado a la mitad de la tubería de descarga, como lo recomienda el manual del fabricante del motor, cable sumergible plano tipo jaquet 3X12, cable para electrodo con los respectivos electrodos.

Dicha instalación se realizó por medio de su respectivo elevador y un cable acerado simulando un mantenimiento real. (Véase figura 38)

**Figura 38. Forma de instalar la bomba**



### **2.1.3 Arranque y pruebas**

El motor antes de conectarse a las líneas de voltaje debe conectarse a tierra con un cable correctamente dimensionado, y este, a una adecuada toma de tierra. La instalación de un cable de tierra es imprescindible para un correcto funcionamiento y eficacia de las protecciones de los controles y supresores de picos.

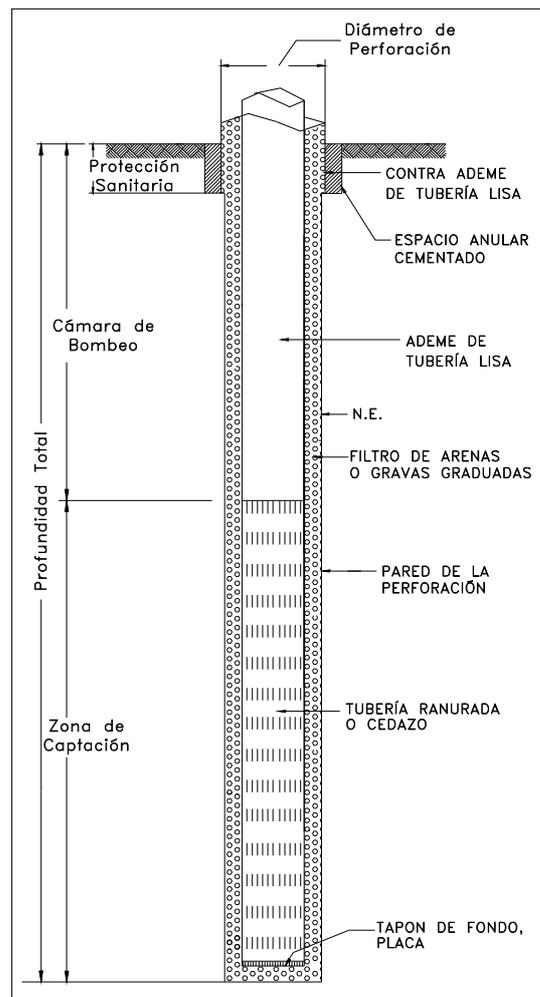
## **2.2 Prácticas de laboratorio**

### **2.2.1 Diseño del perfil estratigráfico**

El diseño del perfil del pozo se realiza al finalizar la perforación, teniendo en cuenta las muestras del suelo (estratigráficas) de perforación y el registro eléctrico; de éste último se obtiene la potenciabilidad y resistividad del pozo. Cuando se habla de potenciabilidad es cuando existe un mayor potencial de agua, que unido a las muestras estratigráficas se opta por colocar en esta región

rejilla de fábrica para optimizar la captación del agua dentro del pozo mecánico y por el contrario cuando se habla de resistividad, es porque existe permeabilidad, en esta área existe muy poca agua y es aquí donde van colocados los tubos lisos, lugar donde de preferencia se debe instalar la bomba, con la finalidad de evitar derrumbes dentro del pozo. Después del diseño del encamisado del pozo, se procede a seleccionar e instalar dicha tubería, siguiendo normas ASTM. (Véase figura 39)

**Figura 39. Perfil de pozo mecánico**



### **2.2.2 Diseño del equipo mecánico-electro-sumergible**

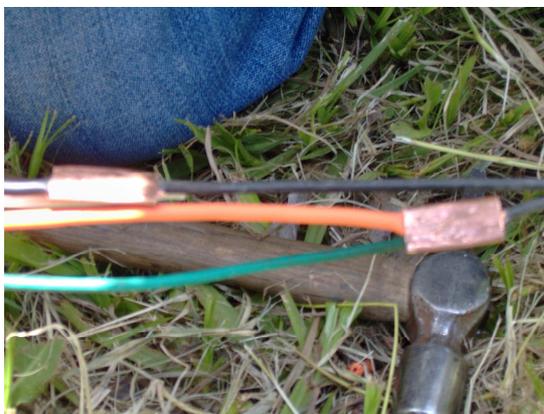
Al finalizar el entubado o encamisado del pozo, se inicia el proceso de limpieza y desarrollo, el cual consiste en evacuar el residuo de fluido de perforación que quedó dentro del pozo, mediante el la actividad de cubeteo, cepillado y pistoneo. Al finalizar esta etapa de limpieza, se realiza el desarrollo del pozo, consistente en bombear agua del pozo hacia el exterior durante un periodo no menor de 36 horas, de esta manera se determina el nivel dinámico del pozo o nivel de bombeo y la capacidad de producción del pozo.

Con los datos anteriormente obtenidos (nivel dinámico y producción), altura máxima a donde hay que llevar el caudal y las pérdidas por fricción dentro de la tubería (CDT), se procede a calcular la potencia de la bomba por medio de gráficas o mediante la fórmula de potencia, como se describió en los numerales 1.2.2 y 1.2.2.1 del capítulo 1 de este informe.

### **2.2.3 Cálculo y forma de empalme de los cables eléctricos**

La conexión o empalme se realizaron utilizando cinta eléctrica impermeable de PVC, cinta vulcanizada y conectores de cobre.

**Figura 40. Empalme de cable, utilizando conectores de cobre**



**Figura 41. Empalme de cable, utilizando cinta de hule vulcanizado**



**Figura 42. Empalme de cable, utilizando cinta eléctrica de PVC**

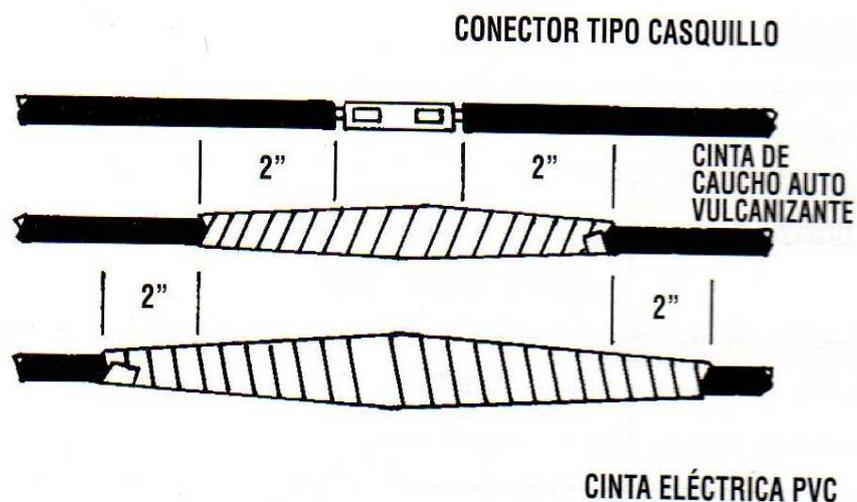


La conexión con la cinta eléctrica se realizó de la siguiente forma:

- Se cortó el forro que cubre el conductor lo suficientemente para poder usar conectores tipo tubito (casquillo) sujetado a presión de cobre, uno para cada conductor.
- Posteriormente se cubrió cada unión de los cables individuales con dos capas de cinta de hule vulcanizado: la primera capa se extendió más de dos pulgadas de las puntas de los cables; la segunda capa se extendió más de dos pulgadas de la primera capa. Asegúrese que queden bien apretados y lo más hermético que se pueda.
- Y finalmente se cubrió con cinta aislante de PVC o su equivalente usando dos capas como se describió en el anterior punto y haciendo que cada capa se extienda dos pulgadas más que la anterior.

En el cada empalme, se aisló de una forma escalonada, con el fin de mantener el diámetro del empalme más o menos igual que el cable.

**Figura 43. Proceso de empalmar los cables**



#### 2.2.4 Mediciones de propiedades eléctricas.

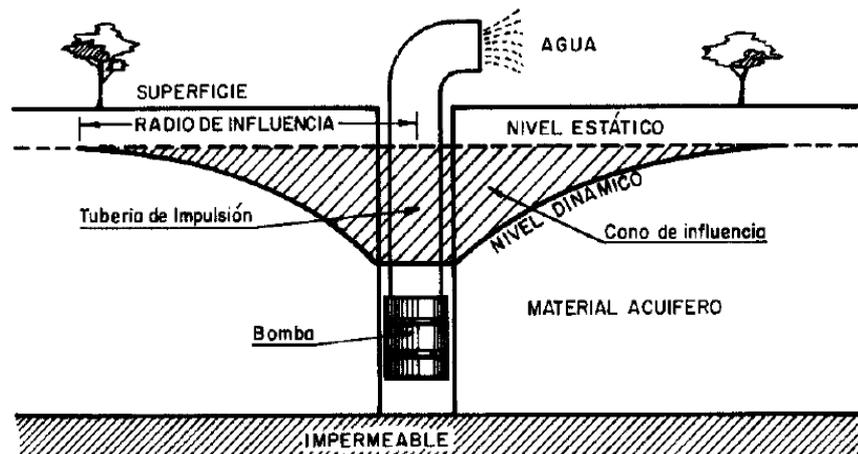
Antes de hacer las pruebas iniciales de arranque del equipo sumergible hay que tomar en cuenta la intensidad de voltaje, conexión de una buena tierra, revisar la continuidad eléctrica del motor y amperaje cuando ya esté en funcionamiento el equipo sumergible.

#### 2.2.5 Monitoreo de niveles estático y dinámico

##### Nivel estático

Es la distancia comprendida desde la superficie del terreno hasta la profundidad de saturación de agua, cuando no esta sujeto a ningún tipo de extracción de agua por acción de algún tipo de dispositivo manual o mecánico.

Figura 44. Comportamiento de los niveles de agua dentro del pozo



### **Nivel dinámico o nivel de bombeo**

Es la distancia que existe desde la superficie del terreno hasta la profundidad de saturación de agua, cuando está en funcionamiento algún dispositivo de extracción de agua. (Véase figura 44)

Nivel dinámico:

Para realizar las mediciones de los niveles, se debe tener en cuenta:

- Suspender la extracción del agua subterránea en un tiempo no menor a 24 horas, antes de la medición del nivel estático, con el propósito de obtener una información que sea válida para la investigación.
- Este registro se deberá realizar en periodos anuales y en forma continua.

### **Registro del nivel estático**

- **Tiempo** de no extracción de agua subterránea: se deberá escribir el tiempo en horas y minutos durante el cual el pozo profundo estuvo en reposo, es el mismo tiempo en el cual no se puso a producir el pozo.
- **Nivel de referencia:** toda medida de registro realizada dentro del pozo, deberá efectuarse siempre a partir de un mismo punto de referencia, (boca del pozo, Nivel del piso, Placa de nivelación tipográfica del IGAC, etc). Si se toma el nivel del piso como punto de referencia para el registro del nivel estático para el año 2008, a partir de este mismo punto se deberá registrar nuevamente la medida para el año de 2009 y así sucesivamente.
- **Fecha de registro:** corresponde a la fecha al día, mes y año en el cual se realiza el registro del nivel.
- **Registro único:** para medición de niveles estático y dinámico.

- **Hora de registro:** corresponde a la hora en la cual se realiza la primera medición del nivel estático. Recuerde que el pozo profundo debe estar en periodo de no-explotación para el registro de esta lectura.
- **Profundidad:** corresponde a la profundidad a la cual se encuentra el agua en la hora determinada y bajo las condiciones del pozo en periodo de no-explotación.

### **Registro del nivel dinámico.**

Una vez registrado el nivel estático se pondrá en explotación o funcionamiento el pozo profundo a un caudal fijo para realizar el registro del nivel dinámico.

- **Nivel de referencia:** corresponde al nivel a partir del cual se realiza la medición.
- **Caudal de extracción:** se deberá escribir el caudal al cual es explotado el pozo profundo en el momento de las mediciones del nivel dinámico, este caudal se registra en litros por segundo y se podrá identificar en el sistema de medición o a través de un aforo.
- **Fecha de registro:** se deberá escribir la fecha en la cual se realiza el registro del nivel dinámico.
- **Hora de registro:** se deberá escribir la hora en la cual se realiza el registro del nivel dinámico.
- **Profundidad:** se deberá escribir la profundidad exacta a la cual se encuentra el nivel dinámico registrado en la hora específica.
- **Tiempo total de bombeo:** se deberá indicar en horas y minutos, el tiempo total del periodo de explotación de agua subterránea en el cual se realizaron registros de la profundidad del nivel dinámico del agua subterránea.

- **Observaciones:** se deberá incluir las dificultades que se tuvieron para el registro de los niveles o las condiciones climáticas (sol, llovizna, lluvia, etc.) presente durante el periodo de no explotación al igual que durante el periodo de explotación del agua subterránea.

La medición del nivel estático, se realiza con la finalidad de determinar la recuperación del pozo, mientras que el nivel dinámico para saber el comportamiento del pozo.

#### **2.2.6 Aforos.**

El aforo de los pozos de agua subterránea tienen por finalidad conocer el caudal de explotación de un pozo y las características hidráulicas de los acuíferos, entre las cuales están la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento de los mismos, además a través de ellos se puede determinar la disponibilidad del agua del subsuelo, la calidad del agua subterránea, las características y eficiencia de funcionamiento de los elementos del pozo, la utilidad y eficiencia de uso del agua extraída. Como también es fácil y práctico determinar si un acuífero es sobreexplotado o no.

Es la medición del caudal de una vertiente de agua.

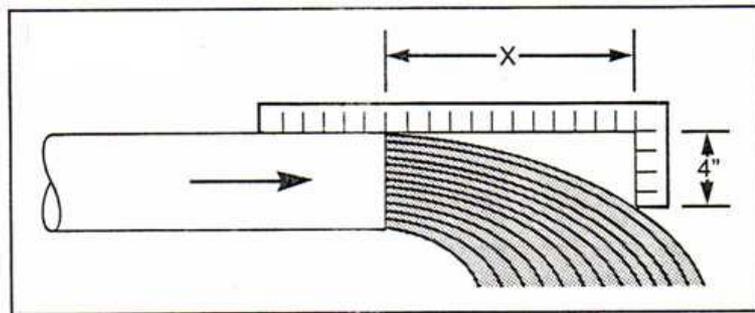
##### **Método de cálculo:**

- Volumétrico: este consiste en llenar con agua procedente del pozo mecánico un recipiente con volumen determinado, tomando el tiempo de llenado, de esta manera se divide la cantidad de agua del recipiente dentro del tiempo de llenado, para obtener el caudal.
- Método horizontal de descarga abierta: este consiste en utilizar una regla en “L” similar a la que se muestra en la figura 45.

Con el flujo de agua abierto, coloque la parte larga de la regla en “L” por encima del tubo. Coloque la “L” para que el extremo corto de cuatro

pulgadas apenas toque el chorro de agua conforme éste desciende. Anote la distancia horizontal "X" desde este punto hasta la entrada del tubo de descarga. Con el valor de "X" y el diámetro interno nominal del tubo.

**Figura 45. Método de aforar el pozo**



**Tabla IV. Rango de descarga en galones por minuto**

Rango de Descarga en Galones Por Minuto (GPM) para Sistemas de Alta Capacidad

Dist. Horiz. (X) Pulg.	Tamaño Nominal del Tubo (en pulg.)										
	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	4	5	6	8	
Rango de Flujo en Galones Por Minuto (GPM)											
4	5.7	9.8	13.3	22.0	31	48	83				
5	7.1	12.2	16.6	27.5	39	61	104	163			
6	8.5	14.7	20.0	33.0	47	73	125	195	285		
7	10.0	17.1	23.2	38.5	55	85	146	228	334	380	
8	11.3	19.6	26.5	44.0	62	97	166	260	380	665	
9	12.8	22.0	29.8	49.5	70	110	187	293	430	750	
10	14.2	24.5	33.2	55.5	78	122	208	326	476	830	
11	15.6	27.0	36.5	60.5	86	134	229	360	525	915	
12	17.0	29.0	40.0	66.0	94	146	250	390	570	1000	
13	18.5	31.5	43.0	71.5	102	158	270	425	620	1080	
14	20.0	34.0	46.5	77.0	109	170	292	456	670	1160	
15	21.3	36.3	50.0	82.5	117	183	312	490	710	1250	
16	22.7	39.0	53.0	88.0	125	196	334	520	760	1330	
17		41.5	56.5	93.0	133	207	355	550	810	1410	
18			60.0	99.0	144	220	375	590	860	1500	
19				100.0	148	232	395	620	910	1580	
20					156	244	415	650	950	1660	
21						256	435	685	1000	1750	

### Medición del caudal

El caudal obtenido en el pozo principal se determina normalmente haciendo pasar el flujo por una restricción, para la cual se conoce la curva de calibración. En los manuales de hidráulica hay abundancia de descripciones y calibraciones de este tipo de dispositivos. En caso de no poder contarse con dispositivos semejantes, puede utilizarse un recipiente tipo volumétrico consistente en un tonel de 54 galones, o 5 galones previamente medido en el que se calculará el tiempo de llenado del mismo.

En las pruebas a caudal constante es importante medirlo periódicamente y ajustarlo en caso necesario. La frecuencia de medición y ajuste del caudal durante una prueba depende de la bomba, el pozo, el acuífero y las características de la energía disponible. No obstante, es recomendable que durante la primera hora de bombeo el caudal se mida por lo menos 3 veces, y se ajuste en caso necesario, ya que en ese espacio de tiempo es cuando más rápidamente crece el abatimiento y por consiguiente la carga de bombeo.

A partir de la primera hora de bombeo, deberá medirse y ajustarse con intervalos de 10 minutos a 20 minutos coincidiendo con alguno de los momentos en que se realicen observaciones del nivel. En todos los casos se tendrán los cuidados necesarios para mantener el caudal dentro del rango deseado, y no debe permitirse que varíe por encima de - 10%, ya que mayores variaciones producirían aberraciones en los abatimientos que son muy difíciles de tratar en el momento en que vayan a analizarse los datos tomados durante la prueba.

Debe tomarse nota de cualquier cosa que pueda resultar de interés posteriormente, cuando los datos de la prueba vayan a ser analizados. Cuando la prueba requiera cambios en el caudal, como en las pruebas con abatimiento escalonado, la descarga de la bomba debe

poder regularse por una válvula de cuña para ajustarse rápida y fácilmente a los distintos caudales programados.

### **2.2.7 Visitas**

Se debe visitar lugares como:

Empresas dedicadas a la venta de equipos hidráulicos especialmente bombas sumergibles.

Empresas que perforan pozos mecánicos de agua.

Instituciones como Empagua, Municipalidades como Mixco, Villa Nueva y lugares donde el abastecimiento sea por pozos mecánicos de agua.



## CONCLUSIONES

1. El diseño del perfil de un pozo mecánico de agua, se elabora teniendo en cuenta las muestras estratigráficas de perforación, que permiten determinar la tubería de revestimiento dentro del pozo.
2. Para calcular la potencia del conjunto motor-bomba sumergible de un pozo mecánico de agua, es necesario contar con las características hidráulicas del pozo, como el diámetro, profundidad, caudal y carga dinámica total.
3. Por seguridad de las personas que se involucran en la instalación o mantenimiento correctivo del equipo de bombeo sumergible, se deben seguir las normas de seguridad.
4. Instalado el equipo bomba-motor sumergible, se procede a realizar las pruebas de arranque, verificando las características eléctricas y niveles, indicadores que nos permiten conocer el estado de funcionamiento del equipo sumergible.
5. En el proceso de instalación del equipo sumergible, los cables que alimentan de energía eléctrica deben empalmarse desde el panel de arranque hasta el motor sumergible.
6. El montaje del equipo electro-sumergible se debe realizar en forma profesional, para evitar deslizamiento del equipo que provocaría pérdidas económicas y hasta muertes humanas.

7. En la instalación final del equipo sumergible, verificar que la rejilla de la bomba, quede instalada en tubo liso de revestimiento del pozo.
8. Para el funcionamiento del equipo sumergible de turbina, se debe seguir las especificaciones del fabricante, ello permite un resultado óptimo en el funcionamiento.
9. Con la implementación de este equipo sumergible máquinas hidráulicas al laboratorio; los estudiantes de la Facultad de Ingeniería, tendrán una herramienta más para conocer en la práctica la solución de problemas hidráulicos.

## RECOMENDACIONES

1. Las características requeridas para montar la tubería de revestimiento que se instalará en el pozo, deberá cumplir con las normas ASTM, cédula 40, tanto en tubos lisos como de rejilla o canastilla.
2. Para realizar el cálculo de potencia del motor es conveniente contar con: el nivel dinámico del pozo, la carga dinámica total a la que estará sometido el equipo de bombeo, el caudal a explotar, eficiencia de la bomba, así como las curvas de rendimiento del equipo que se instalará dentro del pozo.
3. Antes de realizar un mantenimiento correctivo al equipo sumergible, se debe desconectar la alimentación de energía eléctrica, revisar que las válvulas de cheque o compuerta estén en buenas condiciones y maniobrarlas de acuerdo a su conveniencia.
4. Durante el arranque y el funcionamiento del equipo bomba motor sumergible, es necesario realizar mediciones periódicas de amperaje, nivel dinámico del pozo y la producción del mismo (aforo o prueba de bombeo).
5. Los empalmes deben realizarse con conectores de cobre o fundición, cinta vulcanizada y cinta eléctrica, de manera que cada aplicación de cinta se prolongue dos pulgadas por lado.

6. Para el montaje del equipo sumergible, utilizar maquinaria específica y apropiada para la instalación del equipo de bombeo sumergible (grúa), herramienta adecuada y personal capacitado.
7. Para la instalación exacta del equipo sumergible, utilizar el perfil estratigráfico del pozo.
8. Una buena práctica de Ingeniería es no sobrepasar la velocidad de operación de una bomba de turbina entre un rango de 1750 2200 rpm. Sobrepasar esta velocidad puede provocar que el eje opere con un alto movimiento armónico, lo cual causa desgaste excesivo en la bomba.
9. Que el equipo hidráulico instalado en el laboratorio de Máquinas Hidráulicas, sea implementado constantemente con equipo de protección eléctrica, según los cambios tecnológicos futuros.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Crespo, A. Mecánica de Fluidos. Sección de publicaciones, ETS Ingenieros Industriales, UPM, Madrid, 2002.
2. Denton D. Keith. [Seguridad Industrial](#). Mc Graw-Hill. 1984. [México](#).
3. Fairbanks Morse. Vertical Pumps, Kansas City.
4. Franklin Electric. Motores Sumergibles, Aplicación, Instalación y Manual de Mantenimiento. Bluffon, Indiana 46714.
5. Grundfos Stainless Steel Pumps, For Groundwater applications.
6. Hernández, J., y Crespo, A.: Problemas de mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, Cuadernos de la UNED, n.o 161, 1996.
7. Hernández Krahe, J. M.: Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, UDD 5.a y 6.a, UNED, 1976.
8. National Pump Company. LLC.
9. Simonds, Grimaldi. La [Seguridad Industrial](#) Su [Administración](#). Alfaomoga [México](#) 1985.
10. White, F.M. Mecánica de Fluidos, McGraw-Hill, 1988.
11. Zubicaray, Manuel Viejo. Bombas, Teoría, diseño y aplicaciones.

## 12. Referencias electrónicas

- [www.accessmylibrary.com](http://www.accessmylibrary.com), consultada 29/06/2008
- [www.aguas.igme.es](http://www.aguas.igme.es), consultada 07/07/2008
- [www.aguastenerife.org](http://www.aguastenerife.org), consultada 03/07/2008
- [www.ahsud.com](http://www.ahsud.com), consultada 09/07/2008
- [www.amtce.com.mx](http://www.amtce.com.mx), consultada 22/08/2008
- [www.aprchile.cl](http://www.aprchile.cl), consultada 05/08/2008
- [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es), consultada 23/08/2008
- [www.mantenimiento/mundial.com](http://www.mantenimiento/mundial.com), consultada 14/05/2008
- [www.mantenimientos.htm](http://www.mantenimientos.htm), consultada 03/07/2008
- [www.monografias.com/hidrometria](http://www.monografias.com/hidrometria), consultada 13/07/2008
- [www.unesco.org.uy](http://www.unesco.org.uy), consultada 25/08/2008

## ANEXOS

Fórmula de potencia.

$$HP = \frac{CDT \times GPM}{3960 \times Eff}$$
$$P = \frac{\text{caudal} \times \text{altura} \times \text{densidad}}{\text{eficiencia}}$$

donde:

CDT = Carga dinámica total.

GPM = Galones por minuto.

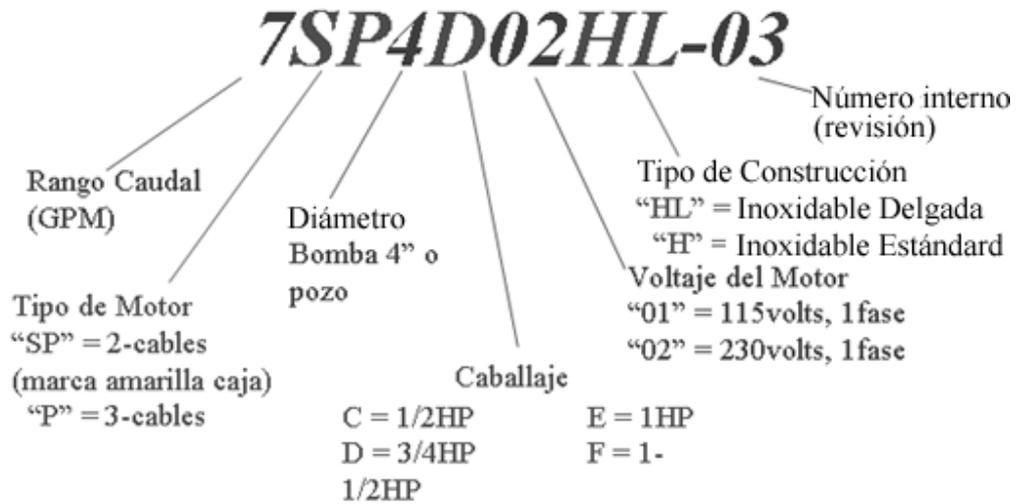
Eff. = Eficiencia (especificada por el fabricante de la bomba).

HP = Caballos de fuerza.

Unidades de medición.

- 1 Galón por minuto = 3.785 Litros
- 1 Psi (Libra/pulgada cuadrada) = 2.31 Pies de columna de agua
- 1 Metro cúbico = 1000 Litros
- 1 Metro cúbico = 264.20 Galones
- 1 Metro = 3.281 Pies
- La densidad del agua para nuestro cálculo es de 1000 Kg./m<sup>3</sup>

Cómo leer los números de modelos de las bombas.



Fuente: Manual Goulds Pumps ITT Industries.