



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

**DISEÑO, INSTALACIÓN, ENERGIZACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE EQUIPO
ELECTROMECAÁNICO, APLICANDO EQUIPO SUBMONITOR, EN POZOS PROFUNDOS**

José María Mijangos Rivas

Asesorado por el Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
e Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, marzo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO, INSTALACIÓN, ENERGIZACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE EQUIPO
ELECTROMECAÁNICO, APLICANDO EQUIPO SUBMONITOR, EN POZOS PROFUNDOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ MARÍA MIJANGOS RIVAS

ASESORADO POR EL ING. GUSTAVO BENIGNO OROZCO GODÍNEZ
E ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO, INSTALACIÓN, ENERGIZACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE EQUIPO ELECTROMECAÁNICO, APLICANDO EQUIPO SUBMONITOR, EN POZOS PROFUNDOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 5 de agosto de 2013.



José María Mijangos Rivas

Guatemala 1 de octubre de 2013

Ingeniero
Romeo Neftalí López Orozco
Coordinador del Área de Electrotecnia
Escuela Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
USAC

Señor Coordinador:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la revisión final de trabajo de graduación titulado, **DISEÑO, INSTALACIÓN, ENERGIZACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE EQUIPO ELECTROMECAÁNICO, APLICANDO EQUIPO SUBMONITOR, EN POZOS PROFUNDOS**. Presentado por el estudiante **José María Mijangos Rivas** carne **200714535**.

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

Finalmente considero importante resaltar la utilidad que el trabajo tendrá como apoyo a los estudiantes de la carrera de ingeniería Mecánica y Mecánica Eléctrica en el curso de Máquinas hidráulicas y en la carrera de ingeniería Civil en el área hidráulica.

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

Atentamente:



Ing. José Ismael Véliz Padilla
Collegiado No. 3646
Catedrático Maquinas hidráulicas

José Ismael Véliz Padilla
INGENIERO MECÁNICO
COL. 3646

Guatemala, 20 de noviembre de 2013.

Ingeniero

Romeo Neftalí López Orozco

Coordinador del Área de Electrotecnia

Escuela Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería

USAC.

Ingeniero López:

De acuerdo con la designación efectuada por la Dirección de Escuela, me permito informarle que he procedido a asesorar el Trabajo de Graduación titulado: DISEÑO, INSTALACION, ENERGIZACION Y PUESTA EN OPERACION DE EQUIPO ELECTROMECHANICO, APLICANDO EQUIPO SUBMONITOR, EN POZOS PROFUNDOS, desarrollado por el estudiante JOSE MARIA MIJANGOS RIVAS, carne 2007-14535 y, encontrándolo satisfactorio en su contenido y resultados, me permito dar aprobación al mismo, remitiéndolo a esa Coordinación para el tramite pertinente, en el entendido que el Autor y este Asesor somos responsables del contenido y conclusiones del Trabajo.

Agradeciendo la atención a la presente, me es grato suscribirme, deseándole éxitos en sus labores cotidianas.

Atentamente,



Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez.

Colegiado 1,879

ASESOR

ING. GUSTAVO B. OROZCO
COLEGIADO 1879



Ref. EIME 06 2014
Guatemala, 29 de enero 2014.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: DISEÑO, INSTALACIÓN, ENERGIZACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE EQUIPO ELECTROMECAÁNICO, APLICANDO EQUIPO SUBMONITOR, EN POZOS PROFUNDOS, del estudiante José María Mijangos Rivas, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Romeo Neftalí López Orozco
Coordinador Área Electrotécnica



SRO



REF. EIME 06. 2014.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JOSÉ MARÍA MIJANGOS RIVAS titulado: DISEÑO, INSTALACIÓN, ENERGIZACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE EQUIPO ELECTROMECAÁNICO, APLICANDO EQUIPO SUBMONITOR, EN POZOS PROFUNDOS, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 13 DE FEBRERO 2014.



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 Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO, INSTALACIÓN, ENERGIZACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE EQUIPO ELECTROMECÁNICO, APLICANDO EQUIPO SUBMONITOR, EN POZOS PROFUNDOS,** presentado por el estudiante universitario: **José María Mijangos Rivas,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, marzo de 2014



ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres	Efraín Mijangos Dávila y Elva Rivas Galán, por su apoyo en cada momento de mi formación como profesional.
Mis hermanos	Julio, Silvia, Jorge, Juan Carlos, Diego, Valentín, Alejandra, Andrés y Mónica Mijangos Rivas, por apoyarme en todo momento.
Mis sobrinos	Rocío, Diego Mijangos Domínguez, Elva, Juan Carlos, Raquel Mijangos Muñoz, por ser elementos de alegría en cada día de mi vida.
Mi familia en general	Respetuosamente.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por haberme guiado en la ascensión de un escalón más de la sabiduría.
San Judas Tadeo	Por estar siempre conmigo en todo momento, en causas difíciles y por lograr las metas propuestas.
Mis padres	Efraín Mijangos y Elva Rivas Galán, por haber sido el apoyo humano más importante en mi formación.
Mis hermanos	Julio, Silvia, Jorge, Juan Carlos, Diego, Valentín, Alejandra, Andrés y Mónica Mijangos Rivas por su colaboración en la elaboración de este trabajo.
Ingenieros	Gustavo Orozco y José Ismael Véliz, por su asesoría en el desarrollo del presente trabajo, mi más sincero agradecimiento.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa que me brindo los conocimientos para alcanzar el triunfo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Acuíferos	1
1.2. Tipos de acuíferos	1
1.2.1. Acuífero libre.....	2
1.2.2. Acuífero confinado.....	2
1.2.3. Acuífero semiconfinado	3
1.2.4. Acuífero colgado.....	3
1.3. Aguas subterráneas	3
1.4. Exploración del agua subterránea	4
1.5. Tipos de pozos	5
1.5.1. Pozos superficiales.....	5
1.5.2. Pozos profundos.....	5
1.5.3. Pozos artesianos	6
1.6. Método de mantenimiento a pozos profundos	6
1.6.1. Método del pistoneo	6
1.6.2. Método mixto	7
1.6.3. Uso de aire comprimido.....	7
1.7. Vida útil económica de un pozo.....	7
1.8. Razones de baja producción en los pozos	8

1.9.	Determinación de la capacidad del pozo.....	8
1.10.	Equipo de operación	9
2.	INSTALACIÓN MOTOR Y BOMBA HIDRÁULICA PARA POZO PROFUNDO	11
2.1.	Motor sumergible	11
2.2.	Equipo mecánico.....	14
2.2.1.	Bomba hidráulica para pozo profundo.....	14
2.2.2.	Línea de descarga	26
2.3.	Equipo motriz auxiliar	30
2.4.	Cálculo de cable para motor sumergible	33
2.5.	Condiciones de instalación.....	36
2.6.	Herramienta y equipo para la instalación	46
2.7.	Identificación asistencia y soporte técnico	47
2.8.	Asistencia técnica y mantenimiento	47
2.8.1.	Mantenimiento.....	47
2.8.1.1.	Preventivo	48
2.8.1.2.	Correctivo	48
2.8.1.3.	Predictivo.....	48
2.9.	Fallos y posibles causas de recuperación.....	49
3.	PROCEDIMIENTO TÉCNICO.....	53
3.1.	Métodos para medir la profundidad de los pozos.....	53
3.1.1.	Método de la cinta eléctrica.....	53
3.1.2.	Método de la cinta mojada	54
3.1.3.	Método de la línea de aire	55
3.2.	Limpieza del pozo con aire comprimido	58
3.2.1.	Equipo a utilizarse para mantenimiento por aire comprimido.....	60

3.2.2.	Equipo de seguridad durante la limpieza	61
3.3.	Seguridad de abastecimiento de agua durante la prueba	62
3.4.	Preparación de la prueba de bombeo	63
3.5.	Prueba de bombeo	64
3.5.1.	Primera prueba	64
3.5.2.	Segunda prueba	66
3.5.3.	Tercera prueba	66
3.6.	Recuperación	67
4.	ENERGIZACIÓN EN LA INSTALACION DE BOMBEO	69
4.1.	Descripción del equipo eléctrico	69
4.2.	Subestación eléctrica	70
4.3.	Panel de arranque	74
4.3.1.	Panel monofásico.	74
4.3.2.	Panel trifásico	79
4.4.	Interruptores	80
4.5.	Protección al equipo	82
4.5.1.	Sobrecarga	82
4.5.2.	Cortocircuito.....	82
4.5.3.	Rayos	83
4.5.4.	Agotamiento del pozo	83
4.5.5.	Guardanivel	83
4.6.	Diagrama operacional de los mencionados.....	85
4.7.	Submonitor	88
4.7.1.	Instalación.....	90
4.7.2.	Programación y opciones programables	92
4.7.3.	Guía para detección y solución de fallas	96
4.8.	Arrancadores en rampa	97
4.9.	Equipo de medición utilizado	100

5.	DISEÑO Y CÁLCULO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO- HIDRÁULICO Y APLICACIÓN DEL EQUIPO SUBMONITOR, PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ALDEA LOURDES ZONA 24 GUATEMALA	101
5.1.	Ubicación geográfica del pozo	101
5.2.	Características litológicas del pozo	102
5.3.	Características de perforación	104
5.4.	Cálculo de bomba y motor sumergible	105
5.5.	Condiciones de instalaciones eléctricas.....	120
5.6.	Comparación submonitor vs elementos de protección anterior	120
5.7.	Ventajas y desventajas de utilización del submonitor	122
5.8.	Control mejorado en cuanto al manejo del equipo	123
5.9.	Comparacion de economía entre submonitor y proteccion antigua	124
5.10.	Vida útil económica de un pozo	127
5.11.	Mantenimiento al pozo	127
	CONCLUSIONES.....	129
	RECOMENDACIONES	131
	BIBLIOGRAFÍA.....	133
	APÉNDICES.....	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Motor eléctrico sumergible	13
2.	Bombas para pozo profundo	17
3.	Cálculo de la altura de elevación total.....	18
4.	Información necesaria para cálculo de una bomba para pozo profundo	19
5.	Determinación de la región de cavitación.....	26
6.	Línea de descarga para pozos.....	30
7.	Motor de combustión interna, utilizado para accionar el generador	32
8.	Control de líquido del motor sumergible.....	37
9.	Unión bomba y motor.....	38
10.	Ligar el cable al motor.....	40
11.	Distancia de empalme entre conductores	43
12.	Camisa de enfriamiento para motor sumergible.....	45
13.	Medición con cinta eléctrica	54
14.	Localización de los niveles estático y dinámico	57
15.	Subestación eléctrica tipo rural en poste.....	72
16.	Diagrama unifilar de una pequeña subestación	73
17.	Diagrama de conexión de panel de arranque para motor de 3 HP sumergible.....	75
18.	Diagrama de conexión de panel de arranque para motor de 5 HP sumergible.....	76
19.	Diagrama de conexión de panel de arranque para motor de 10 HP sumergible.....	77

20.	Diagrama de conexión de panel de arranque para motor de 15 HP sumergible	78
21.	Diagrama básico de una instalación de un motor trifásico sumergible	80
22.	Interruptor termomagnético.....	82
23.	Conexiones y forma de operar la protección por sobrecarga	85
24.	Fusibles y diagrama de conexión.....	86
25.	Apartarrayo básico utilizado en paneles en pozos profundos	87
26.	Diagrama de conexión y de control del submonitor	88
27.	Submonitor	94
28.	Diagrama de conexión y de control del submonitor	95
29.	Conexión por autotransformador utilizado en arranque suave para pozo profundo	99
30.	Localización del pozo aldea Lourdes	102
31.	Perfil litológico del pozo aldea Lourdes.....	103
32.	Características para diseño de equipo sumergible	104
33.	Curva bomba marca Apec-pump 35 galones.....	105
34.	Cálculo de bomba	106
35.	Máxima eficiencia de la bomba seleccionada	107
36.	Características de la bomba propuesta	107
37.	Cálculo de CDT.....	109
38.	Capacidad del transformador.....	114
39.	Gráfica comparación del submonitor con los dispositivos antiguos	121
40.	Dimensiones del submonitor.....	123

TABLAS

I.	Fallas en motores sumergibles	51
II.	Guía para detección y solución de fallas	96

III.	Perdidas por fricción de accesorios dado en pies	109
IV.	Cantidad de accesorios con su respectiva perdida por friccion.....	110
V.	Condiciones de programacion de submonitor	118
VI.	Costo de equipo	124
VII.	Costo de dispositivos eléctricos antiguos.....	125
VIII.	Cronograma de instalación	126

GLOSARIO

Abatimiento	Diferencia entre el nivel estático y dinámico en el pozo. El nivel del agua al bombear varía según el rendimiento del mismo.
Acidez	Exceso de iones de hidrógeno en el agua para el consumo humano.
Amperaje	Dimensional utilizada para medir la corriente eléctrica producida por un equipo eléctrico al estar en operación.
Camisa	Tubería metálica que sirve para proteger las paredes de los pozos de extracción de agua subterránea.
Carga dinámica total	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.
Caudal específico	Caudal recomendable que debe explotarse del acuífero sin peligro de agotarlo.

Cinta eléctrica	Cinta métrica que sirve para medir la profundidad y el nivel del agua dentro de un pozo.
Cono Imhoff	Utensilio en forma de cono que sirve para medir el contenido de arena en el agua.
Corrosión	Fenómeno que afecta en gran parte el funcionamiento y la durabilidad de un pozo, disminuyendo la vida útil de los componentes del mismo, tales como rejillas y equipo de bombeo.
Eficiencia	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 caballos de fuerza (<i>Horse power</i>) totales.
HP	(<i>Horse power</i>), Denominación de potencia mecánica, es decir, caballos de fuerza, un 1 Hp equivale a 746 watts.
Impulsor	Elementos giratorios en forma de hélice que realizan el trabajo de convertir la energía mecánica del motor en energía hidráulica.
Incrustación	Fenómeno químico presente en el agua debido a la presencia de algunos minerales que afectan y disminuyen el rendimiento y eficiencia de la estructura de un pozo.

<i>In situ</i>	Realizar cualquier actividad en el sitio de trabajo.
Medidor tipo Thompson	Utensilio que sirve para controlar el caudal y regular la válvula al rendimiento deseado.
Nivel estático	Punto máximo al que llega el nivel del agua en un pozo.
Nivel dinámico	Nivel del agua hasta donde se puede explotar el caudal máximo que rinde el pozo.
NPSH	Carga neta positiva de succión a la cabeza.
Pérdida de carga	Pérdida de la presión en la tubería afectada, principalmente, por la rugosidad, velocidad de descarga y diámetro de la tubería.
Presión	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.
Sedimento	Materia que se deposita en el fondo del pozo debido a que tiene mayor peso específico que el del agua.
Sello sanitario	Relleno de concreto hidráulico que se aplica en las paredes del pozo para evitar la infiltración de aguas contaminadas

Voltaje

Dimensional utilizada para medir el diferencial de potencia.

RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño, instalación, energización, protección y puesta en operación de un equipo electromecánico sumergible. Se detallan las generalidades de los pozos, asimismo, la información sobre qué es un acuífero, sus tipos y la clasificación de los pozos.

Se hace una descripción sobre los temas que caracterizan a la bomba hidráulica sumergible, motor eléctrico sumergible y su respectiva instalación. Además, el cálculo para determinar la capacidad de la bomba, como del motor y el cable utilizado para alimentarlo, desde el panel hasta la profundidad del equipo sumergible.

Es importante conocer el procedimiento técnico que caracteriza al pozo, el cual consiste en medir su profundidad, la limpieza realizada en los más profundos y pasos a seguir durante la prueba de bombeo.

Asimismo, se describe el equipo eléctrico desde una pequeña subestación que alimenta al equipo sumergible, los tipos de paneles monofásico y trifásico y los elementos que conforman al panel eléctrico. Específicamente, se detalla en su totalidad el equipo submonitor desde sus componentes hasta su programación, además de la descripción breve de arrancadores en rampa y equipos de medición utilizados.

Por último, se realiza el diseño, instalación y puesta en operación del equipo electromecánico-hidráulico, aplicando el equipo submonitor al pozo de la aldea Lourdes, zona 24, Guatemala, en el cual se pueden observar los

resultados obtenidos en cuanto al funcionamiento del equipo, la reducción de fallas, el rendimiento del pozo, el cronograma de ejecución y el costo de mantenimiento.

OBJETIVOS

General

Diseñar e implementar un equipo que cumpla con las características necesarias para la extracción de agua en un pozo profundo con la máxima protección, mediante la aplicación del equipo submonitor, brindando una larga vida útil de operación del equipo electromecánico-hidráulico.

Específicos

1. Presentar las generalidades de acuíferos y de pozos.
2. Conocer la instalación de motor y bomba hidráulica sumergible para pozo profundo.
3. Mostrar un procedimiento que caracteriza un pozo, exponiendo métodos para determinar la profundidad del pozo.
4. Presentar los diferentes paneles eléctricos tanto monofásico como trifásico utilizados en sistemas eléctricos de bombeo para equipo sumergible.
5. Presentar un diseño y cálculo de un equipo sumergible que abastezca del vital líquido a la aldea Lourdes, zona 24 de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, el conocimiento de la explotación de las aguas subterráneas se hace cada vez más importante debido a la escasez de fuentes superficiales, por consiguiente, es necesario su estudio desde la explotación hasta su mantenimiento. En el país se aplican algunos métodos para la extracción del agua subterránea, entre ellos se pueden mencionar: la turbina hidráulica, el equipo sumergible de manera manual, pero en el presente estudio el enfoque será el equipo sumergible, es decir, que puede utilizarse a altas profundidades comparadas con las otras mencionadas. Al equipo sumergible se le implementará un dispositivo inteligente llamado submonitor, elemento que mejora y controla la operación de trabajo del equipo electromecánico-hidráulico.

Por lo anteriormente descrito y con los avances de la tecnología, es posible proponer el diseño, instalación y puesta en operación de equipo electromecánico, aplicando equipo submonitor en pozos profundos y que al aplicar el submonitor pueda lograrse una mejor protección y el mantenimiento eficaz del equipo electromecánico-hidráulico.

Asimismo, este estudio comprende las especificaciones técnicas y condiciones generales para ejecutar los trabajos de instalación, energización, puesta en marcha y mantenimientos de limpieza, así como, la realización de las pruebas de bombeo como parte de desarrollo de los mismos.

1. GENERALIDADES

1.1. Acuíferos

Estratos o formaciones geológicas que permiten la circulación del agua por sus poros o grietas. Dentro de estas formaciones se pueden encontrar materiales muy variados como: gravas de río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa y algunas formaciones volcánicas. Los acuíferos cumplen dos funciones importantes: almacenar agua y conducirla. El movimiento del agua a través de un acuífero no se realiza necesariamente en forma idéntica en toda su extensión, ya que ello depende de las propiedades y características que este presente.

La propiedad de los acuíferos de contener y conducir agua está gobernada por varios factores como: la porosidad, permeabilidad, transmisibilidad, producción específica, coeficiente de almacenamiento, entre otros.

El conocimiento de estas características permite hacer una evaluación de la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro de agotarlo.

1.2. Tipos de acuíferos

La clasificación de los acuíferos depende de determinados factores. De ese modo pueden clasificarse según los materiales litológicos que los constituyan o el factor de la presión hidrostática del agua encerrada en los

mismos, lo que se traduce en circunstancias prácticas de gran utilidad para establecer la captación de esas aguas.

1.2.1. Acuífero libre

Es la formación en la cual existe una superficie libre de agua encerrada en ella y que se encuentra a presión atmosférica. La superficie del agua será el nivel freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no, aunque es importante notar que no debe tener ningún material impermeable por encima.

Al perforar pozos que atraviesen este tipo de acuíferos, total o parcialmente, el agua alcanza un nivel que sería el mismo que tendría dentro de la formación geológica, es decir que la presión en el acuífero es igual a la presión atmosférica. Las elevaciones en la mesa de agua dependen principalmente de cambios de volumen del agua almacenada.

1.2.2. Acuífero confinado

El agua que contiene este tipo de acuífero está sometida a cierta presión superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica saturándola totalmente.

Dichos poros están sellados por materiales impermeables que no permiten que el agua ascienda hasta igualar la presión a la atmosférica.

Al perforar pozos que atraviesen el límite superior del material que constituye el acuífero, se observará que el nivel del agua asciende muy rápido hasta que se estabiliza en el nivel piezométrico. Podrán darse pozos surgentes si el nivel del agua queda por encima del nivel topográfico y pozos artesianos si

el nivel se estabiliza por debajo de la cota de terreno. En este tipo de acuífero los cambios de elevación dependen primordialmente de las presiones, más que de cambios en volúmenes almacenados.

1.2.3. Acuífero semiconfinado

Este tipo de acuíferos constituye una variedad de los confinados y se caracterizan por tener la parte superior e inferior sellada por materiales que no son totalmente impermeables.

El material que los forma permite una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal.

1.2.4. Acuífero colgado

En este tipo de acuífero algunas veces se da una capa de material más o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda atrapada en esta capa para formar un lentejón que normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada más próxima.

1.3. Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas constituyen parte del ciclo hidrológico y son aguas que por percolación se mantienen en movimiento a través de estratos geológicos capaces de contenerlas y de permitir su circulación.

El uso de las aguas subterráneas aumentará en los próximos años, tanto por las necesidades que impone la concentración demográfica, como por la expansión económica y por sus relativas ventajas sobre las aguas superficiales.

La situación de la exploración es todavía crítica debido a la visión inmediatista del uso del recurso, a la falta de control y carencia de mecanismos legales y normativos. En estas condiciones, los acuíferos, en diferentes áreas del continente, están sujetos a impactos por la exagerada explotación de los pozos y la ocupación no planificada del suelo, todo lo que pone en riesgo la calidad natural de las aguas subterráneas.

1.4. Exploración del agua subterránea

Una de las primeras etapas para obtener información sobre las aguas subterráneas es la exploración de las condiciones geológicas que puede presentarse en la zona de interés.

Existen ciertas características con que se puede detectar la presencia de agua subterránea, ya que esta se encuentra con mayor probabilidad en los valles con espesa vegetación. Además, la vegetación que se localiza en las zonas áridas indica la presencia de agua que se nutre a poca profundidad. En las partes altas, el agua puede aflorar en las superficies en forma de manantiales, pantanos, ríos y lagos o encontrarse en forma subterránea. La localización más exacta se hace mediante estudios hidrológicos, que relacionan las formaciones geológicas con el ciclo hidrológico.

Por medio del análisis geológico de rocas es posible definir sus características y las condiciones de transmisión de agua. Entre los diversos tipos de roca pueden encontrarse grava, arena, rocas volcánicas fracturadas, areniscos fracturados y las calizas fracturadas; sin embargo, estas solo constituyen una parte de las rocas que forman la corteza terrestre y tienen relación con el agua subterránea.

1.5. Tipos de pozos

Los pozos son estructuras que sirven para extraer el agua subterránea que se encuentra contenida entre dos o más capas de suelos impermeables. En la parte superior se construye una plataforma de concreto que servirá de base para la sujeción del equipo de bombeo. En la parte inferior va el revestimiento, el cual refuerza la excavación para evitar derrumbes de material. El revestimiento está hecho con tubos o encamisado de acero u otro material adecuado; usualmente se construyen de diámetros que van de cuatro a veinticuatro pulgadas (4" a 24").

Existen algunos tipos de pozos, según la utilidad y necesidad de cada uno de ellos.

1.5.1. Pozos superficiales

Son pozos ordinarios que se encuentran a menos de 50 pies de profundidad y suelen construirse de concreto armado o ladrillo, si al excavar los suelos están muy sueltos, y de piezas metálicas cuando los suelos son muy rocosos, el diámetro del pozo varía en función del caudal demandado.

1.5.2. Pozos profundos

Son pozos donde es necesario excavar más de 50 pies de profundidad para captar las aguas subterráneas. Los pozos profundos se constituyen empleando tubos de acero perforado y para construirlos se emplean métodos de rotación, percusión y mixtos.

1.5.3. Pozos artesianos

Es un tipo de pozo perforado hasta un punto, generalmente a gran profundidad, en el que la presión del agua es grande. Al perforar el acuífero, el agua sale por presión hasta la superficie, en cuyo caso se habla de pozo artesiano surgente. En general, la elevada presión del agua en el pozo proviene del hecho de que se trate de un acuífero inclinado o confinado entre capas impermeables.

1.6. Métodos de mantenimiento a pozos profundos

Existen diversos métodos de mantenimiento de pozos, algunos con mejores resultados que otros; ya que el fin es restablecer total o parcialmente el caudal específico, a continuación se mencionan algunos de ellos.

1.6.1. Método del pistoneo

Este método consiste en comprimir y aspirar el agua en el pozo para producir un enérgico flujo de agua hacia adentro y hacia fuera del acuífero a través de la rejilla y forzar al material más fino del acuífero a entrar en el pozo.

Al bajar el pistón, el efecto de empuje se amortigua, el agua escapa hacia la parte superior a través de este; cuando el pistón asciende, la lámina de goma asienta sobre su cara superior y la succión es más intensa que el empuje, evacuándose de manera continua el material fino y no forzarlo hacia el exterior en cada descenso.

1.6.2. Método mixto

Consiste en la combinación de métodos variados como los mecánicos, químicos, entre otros, que se han venido perfeccionando a través de la práctica y la experimentación. Indudablemente se utilizan de acuerdo a las necesidades y en búsqueda de la eficacia y productividad del pozo.

1.6.3. Uso de aire comprimido

La presión del aire comprimido es superior a la de la atmósfera. Puede emplearse para empujar un pistón en una perforadora neumática.

Puede hacerse pasar por una pequeña turbina de aire para mover un eje en los instrumentos odontológicos o expandirse a través de una tobera para producir un chorro de alta velocidad como en una pistola para pintar.

El aire comprimido suministra fuerza a las herramientas llamadas neumáticas, como perforadoras, martillos, remachadoras o taladros de roca y se utiliza para destapar cualquier tipo de tubería que se encuentra taponada por algún material.

1.7. Vida útil económica de un pozo

El concepto de vida útil es relativo y dependerá del período calculado para amortizar el capital invertido en la construcción del pozo. Es importante conocer el comportamiento de un pozo, periódicamente deben revisarse los caudales bombeados, potencia consumida de la bomba y el régimen de bombeo. La observación del pozo servirá para garantizar su funcionamiento, siempre y

cuando los registros realizados sean bien interpretados, ya que de ello dependerá conocer su comportamiento y por ende su durabilidad.

1.8. Razones de baja producción en los pozos

Existen varias causas por las que el caudal inicial del pozo disminuye su rendimiento, a continuación se mencionan algunas de ellas.

- La sedimentación de materiales finos en el fondo y lodos en las paredes de la camisa impiden la circulación libre del agua en el pozo.
- La corrosión en las paredes del pozo, especialmente en la rejilla debido a minerales que exceden la cantidad tolerable, hace que el agua del acuífero no circule libremente.
- Incrustaciones que producen acumulación de materiales en las aberturas de la rejilla y provocan mayor pérdida de carga.
- La sobreexplotación del acuífero mediante la succión de un caudal mayor al caudal específico.

1.9. Determinación de la capacidad del pozo

Cualquier prueba de bombeo es solamente un indicador de la capacidad posible de un pozo. En algunos lugares, si no hay infiltración permanente de un río que alimente el acuífero del cual se alimenta el pozo, la recarga del acuífero se limita a la infiltración durante los meses de la época lluviosa.

Con el tiempo, la explotación permanente del agua subterránea por medio de un pozo, además de la evapotranspiración y el escurrimiento natural, reduce el volumen almacenado del agua en el acuífero; dando como resultado una depresión de los planos de agua subterránea y una disminución de la cantidad de agua que puede ser explotada por medio de pozos.

Para mantener un margen de seguridad, en lugares con solo una estación lluviosa, deben hacerse las siguientes estimaciones generales al evaluar los resultados de la prueba de bombeo.

Para acuíferos sedimentarios no confinados, la explotación posible del pozo, al final de la estación seca será de 60 a 70 por ciento del resultado de la prueba de bombeo, dependiendo del tiempo cuando fue realizada la prueba. Para acuíferos de roca dura la explotación posible del pozo, al final de la estación seca será aproximadamente del 40 por ciento del resultado de la prueba.

1.10. Equipo de operación

Para la realización de los trabajos de mantenimiento de pozos, es necesario utilizar equipo y herramienta con algunos requerimientos y especificaciones que deben cumplirse para obtener los resultados esperados.

Entre este tipo de equipo pueden mencionarse: el compresor, generador de energía, sistema de bombeo, herramienta de pesca o tubería.

Debe tomarse muy en cuenta el acceso al lugar de trabajo, debido a que el equipo y maquinaria a transportarse es demasiado pesada y no es posible hacerlo manualmente.

2. INSTALACIÓN MOTOR Y BOMBA HIDRÁULICA PARA POZO PROFUNDO

2.1. Motor sumergible

Los motores sumergibles están exclusivamente diseñados para accionar dentro del agua.

Las bombas accionadas por motores sumergibles se suelen utilizar para:

- Suministro de agua potable en ciudades y municipios, extracción de agua de ríos.
- Pozos en centrales abastecedoras de agua, domicilios particulares y en la agricultura.
- Agitadores en instalaciones de tratamiento de aguas.
- Instalaciones abastecedoras de agua para fábricas de productos lácteos, fábricas de cerveza, embotelladoras de agua mineral y circuitos de refrigeración industriales.
- Bombas de calor para agua subterránea.
- Instalaciones de riego para jardinería, agricultura, silvicultura y piscicultura.
- Drenaje en construcción y minería.
- Sistemas para el aumento de presión industrial.
- Surtidores, también los instalados en montaje horizontal. En este caso debe prestarse especial atención a las normas relativas a la seguridad de instalaciones eléctricas en surtidores y fuentes.

El motor sumergible es un medio confiable, eficiente y sin problemas para accionar una bomba. Los requisitos para una vida prolongada del motor son sencillos y son los siguientes:

- Un ambiente de operación apropiado
- Un suministro de electricidad adecuado
- Un flujo adecuado de agua refrigerante sobre el motor
- Una carga apropiada de la bomba

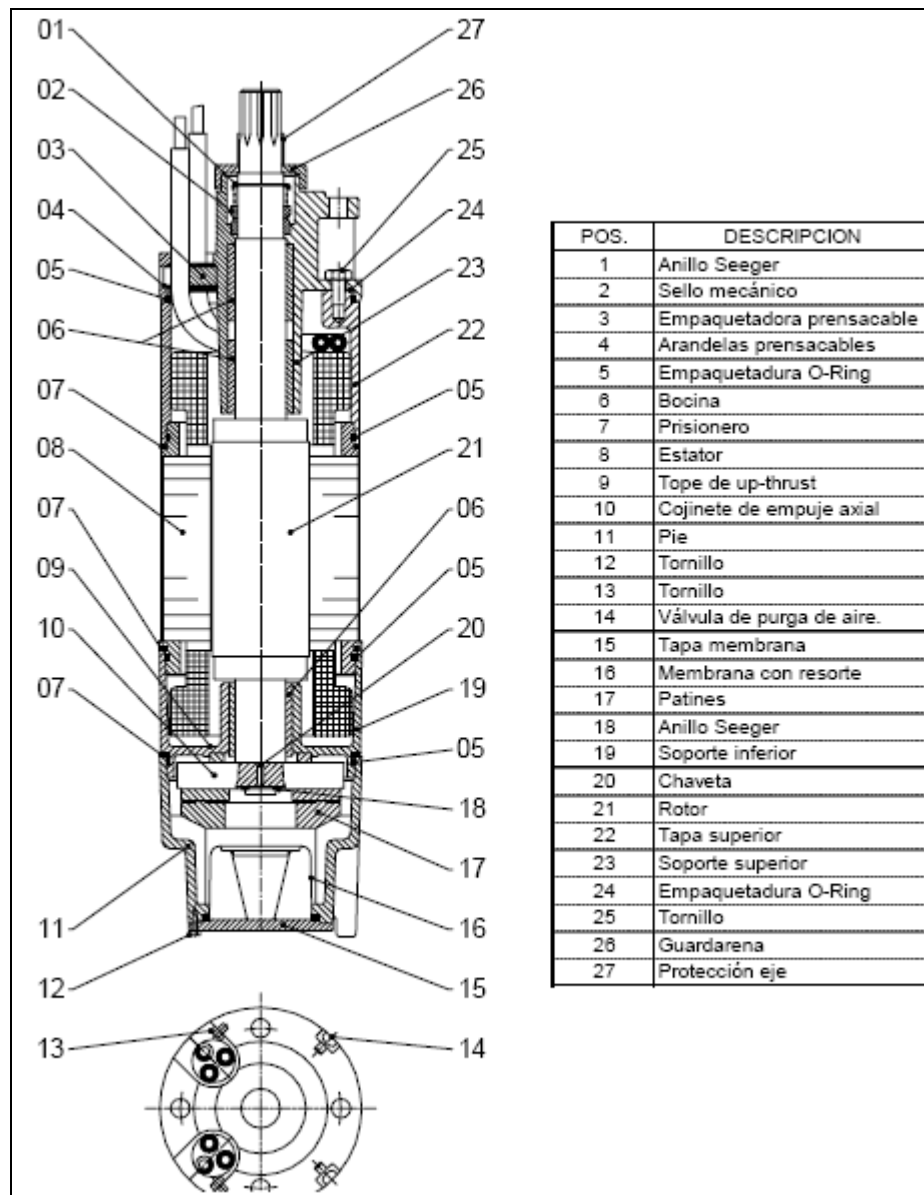
Todas las consideraciones de aplicación, instalación y mantenimiento de los motores sumergibles están relacionadas con estas cuatro áreas.

El motor sumergible es aquel motor que sus devanados han sido sellados de manera que no tengan contacto con el agua y no sufran daño alguno. En la figura 1 se muestran las partes del motor sumergible tanto interna como externa. Hay motores monofásicos y trifásicos. Monofásicos que vienen desde $\frac{1}{2}$ hasta 15 caballos de fuerza de potencia manejables a un voltaje de 230 voltios de 2 o 3 hilos, trifásicos de 3 hilos a voltajes de 230 y 460 voltios, desde $\frac{1}{2}$ a 30 caballos de fuerza en voltaje 230 voltios, y a 460 voltios desde $\frac{1}{2}$ hasta 200 caballos de fuerza, y trifásicos de 6 hilos a voltajes de 230 y 460 voltios, desde 5 hasta 30 caballos de fuerza en voltaje 230 voltios en conexión estrella-delta, y a 460 voltios desde 5 hasta 200 caballos de fuerza en conexión estrella-delta.

El número promedio de arranques del motor sumergible por día en un período de meses o años influye en la vida de un sistema sumergible de bombeo. El exceso de ciclos afecta la vida de los componentes de control como interruptores de presión, arrancadores, relevadores y condensadores.

El ciclaje rápido puede provocar daños en el estriado del eje del motor, daños en el cojinete y puede, también, provocar sobrecalentamiento del motor. Todas estas condiciones pueden reducir la vida del motor.

Figura 1. **Motor eléctrico sumergible**



Fuente: Franklin electric, Manual bomba turbina sumergible de p.18.

2.2. Equipo mecánico

El equipo mecánico lo constituye la bomba hidráulica en el cual se calculan todos los elementos para la elección de la misma, que cumpla con las características necesarias y los componentes de una línea de descarga.

2.2.1. Bomba hidráulica para pozo profundo

La bomba sumergible, cuyo principio de bombeo consiste en transformar la energía mecánica del motor en energía cinética en el fluido, creando por lo tanto, una diferencia de presión en el fluido entre la entrada y la salida de la bomba.

La bomba consta de una entrada, un número de etapas de bomba y una salida de la bomba (ver figura 2).

Cada etapa de la bomba crea una diferencia de presión y, cuanto más presión se requiera, más etapas deberán incluirse.

Cada etapa de la bomba incluye un impulsor, los álabes del impulsor transfieren energía al agua en términos de incremento de velocidad y presión. Cada impulsor está fijo al eje de la bomba mediante una conexión acanalada o una conexión de cono dividido.

Existen dos tipos de diseño general para las bombas sumergibles:

- Radial
- Semiaxial

El diseño radial se caracteriza por una gran diferencia entre el diámetro de entrada del impulsor y el de salida. Resulta adecuado cuando se requiere una carga elevada.

El diseño semiaxial es más adecuado para las bombas de mayor caudal. El anillo de estanqueidad existente entre la entrada del impulsor y la cámara garantiza que cualquier reflujo sea limitado. La cámara incluye un distribuidor, que dirige el agua a la siguiente fase. Asimismo, convierte la presión dinámica en presión estática.

La entrada de la bomba está diseñada para enviar agua al primer impulsor del mejor modo posible y, por lo tanto, minimizar las pérdidas. En algunos impulsores de diseño radial, la entrada también incluye un tornillo de cebado (ajustado al eje de la bomba) cuya finalidad es garantizar la entrada de agua y evitar el funcionamiento en vacío de la bomba.

La salida de la bomba generalmente incluye una válvula de no retorno (*check*), que evita el reflujo en la tubería elevadora cuando se detiene la bomba. Se obtienen así diversas ventajas:

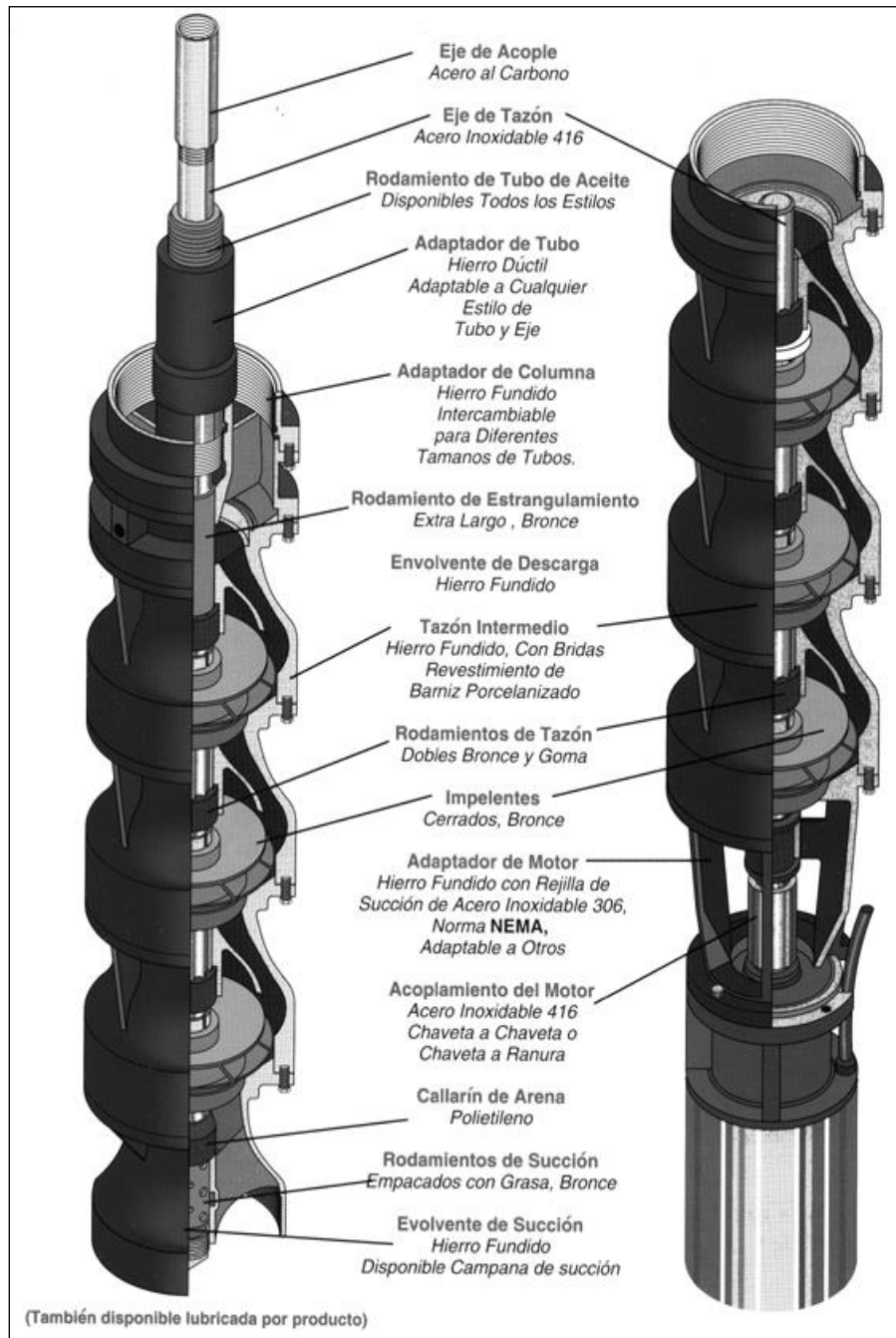
- Evita la pérdida de energía como consecuencia del reflujo.
- Siempre se garantiza la contrapresión al arrancar de nuevo la bomba. Esto resulta fundamental para asegurarse de que el rendimiento de la bomba se mantiene dentro de la curva de la bomba.
- Limita los daños en la bomba como resultado de los golpes de ariete.
- Limita la contaminación del agua subterránea como resultado del reflujo.

La bomba sumergible consiste de un motor y un conjunto de tazones de turbina sumergibles diseñados para pozos profundos. A los motores sumergibles se los puede llenar con emulsión de aceite, aceite dieléctrico o agua, y están diseñados para un funcionamiento continuo de inmersión en agua. El motor está normalmente suspendido debajo del conjunto de tazones de turbina por un adaptador para motor de bomba. Los componentes rotativos del conjunto de tazones son impulsados desde el fondo, donde el eje de la bomba va conectado al eje del motor por un acople para motor sumergible. La tubería de descarga va roscada y acoplada, generalmente en tramos irregulares, y está sujeta desde arriba por la placa de superficie o el codo de descarga.

La explotación del agua subterránea exige la utilización de equipos especiales de bombeo, debido esencialmente a dos razones:

- El tamaño reducido de los pozos (usualmente entre 4 y 16 pulgadas de diámetro) no permite albergar una bomba del tipo convencional.
- El nivel del agua dentro del pozo con respecto a la superficie supera ampliamente, en la mayoría de los casos, la máxima altura estática de succión permisible.

Figura 2. **Bombas para pozo profundo**



(a)

(b)

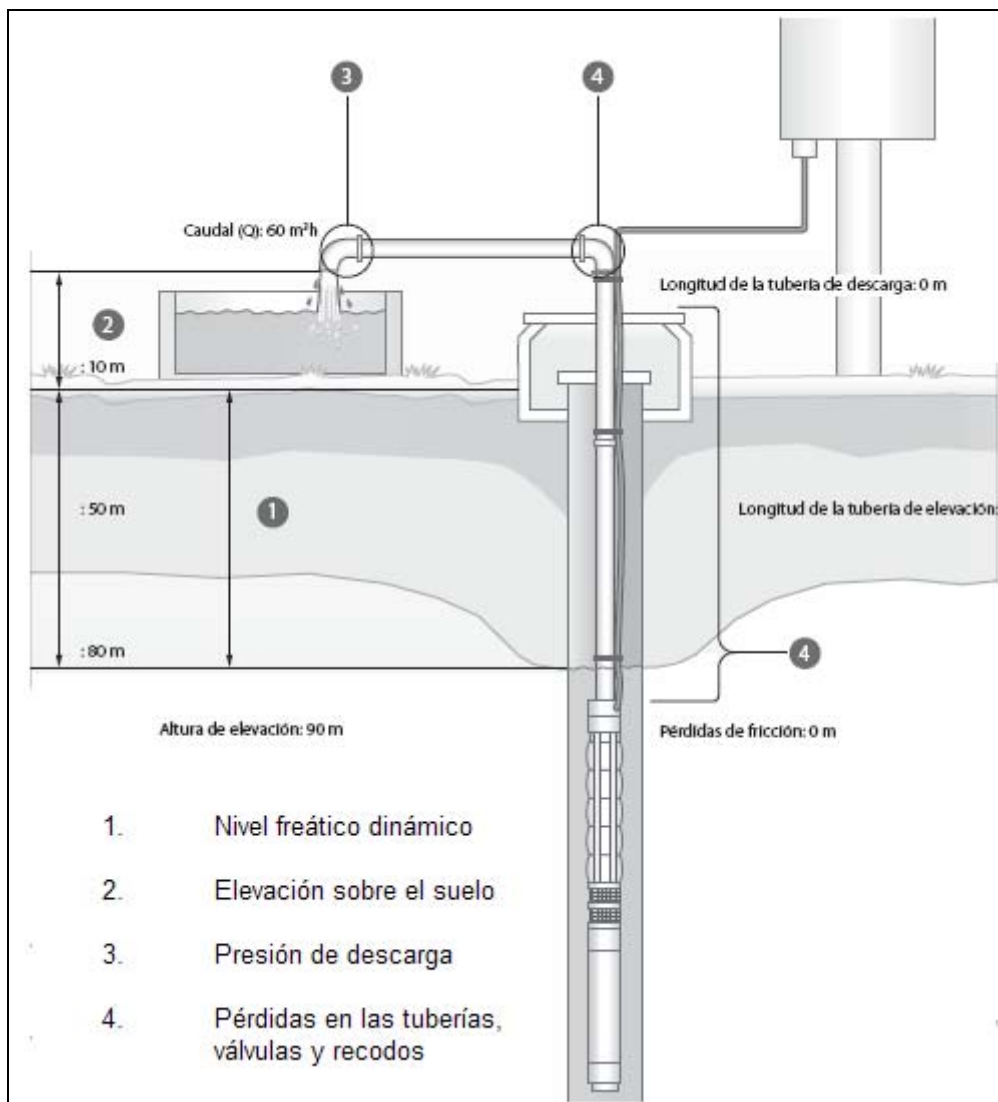
Fuente: Vertical turbine & submersible pumps, American Turbine.

Catálogo. p. 45.

Selección de las bombas

Para seleccionar una bomba, primero es necesario calcular el caudal y la presión. La altura de elevación total es la suma de los siguientes factores:

Figura 3. **Cálculo de la altura de elevación total**



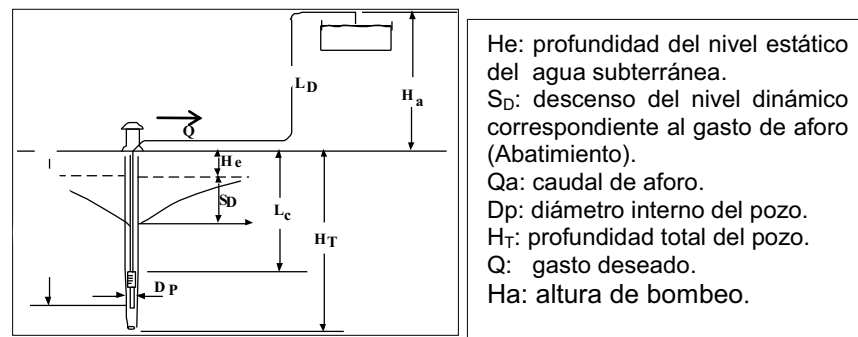
Fuente: *Manual ingeniería Grundfos*. p. 26.

Términos usados en el bombeo de pozos

- Nivel estático: nivel del agua subterránea cuando no se está bombeando; o bien, es el nivel después de un tiempo relativamente prolongado, sin extraerle agua al pozo.
- Abatimiento: descenso del agua subterránea cuando se está bombeando.
- Nivel dinámico: nivel del agua subterránea cuando se está bombeando un caudal Q . Este nivel varía de acuerdo con el caudal extraído.

Para el cálculo de la carga dinámica total (CDT) se toman en consideración los datos característicos del pozo, cuya información mínima requerida es la siguiente:

Figura 4. **Información necesaria para el cálculo de una bomba para pozo profundo**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint 2007.

- Longitud de la columna (L_c)

Se determina por la fórmula:

$$L_c = H_e + S_D + L_s \quad (\text{Ecuación 2-1})$$

Donde L_s es una longitud de ajuste por seguridad que usualmente se toma entre 4,5 y 6 metros, para asegurar que la bomba tenga la sumergencia adecuada a pesar del envejecimiento del pozo. El nivel dinámico es la suma del nivel estático más el abatimiento o descenso S_D .

La longitud de la columna determina la profundidad a la que será colocada la bomba, y dado que S es función de Q , debe conocerse la curva de abatimiento del pozo para establecer S al gasto Q deseado (S_D).

Diámetro de la columna (D_c)

Lo determinan dos factores: el diámetro del pozo y la magnitud de las pérdidas por fricción en la columna misma.

Para pozos de diámetro pequeño, generalmente el diámetro de la columna es dos pulgadas menor. Para pozos de diámetros grandes, es usual realizar una evaluación de costos entre las pérdidas por fricción y el costo de la columna, ya que un mayor diámetro ofrece menor fricción pero su costo es mayor.

Altura dinámica total (HDT)

Generalmente se determina así:

$$\text{HDT} = H_e + S + H_a + \frac{v^2}{2g} + \sum h_L \quad (\text{Ecuación 2-2})$$

Donde:

$\sum h_L$ = pérdidas totales en la tubería de conducción + pérdidas por fricción en la columna + pérdidas en la coladera + pérdidas en el tubo de succión + pérdidas en el cabezal de descarga.

El cálculo de las pérdidas se hace con los datos suministrados por el fabricante.

Número de etapas

Se calcula así:

$$n = \frac{\text{HDT}}{h} \frac{\text{pies}}{\text{pies}} \quad (\text{Ecuación 2-3})$$

Donde h es la cabeza desarrollada por un impulsor elegido al caudal Q deseado en el punto de mejor eficiencia.

Puesto que n debe ser entero, si el obtenido no se aproxima a un entero, se escogerá otra bomba y se evaluará de nuevo n; o bien, se harán correcciones de otro tipo, Lc o Dc, por ejemplo.

Potencia al eje de la bomba

La potencia en HP será:

$$\text{BHP} = \frac{(\text{GPM})(\text{CDT en pies})\text{SG}}{(3\ 960) \times (\% \text{ de Eficiencia.})}, (\text{Hp}) \quad (\text{Ecuación 2-4})$$

El término de la ecuación anterior se usa en bombas con motor sumergible.

Empuje axial

Finalmente, el empuje axial en libras, será:

$$E = K_T \text{HDT} + K_a n_{\text{etapas}} + K_s \text{Long. del eje} \quad (\text{Ecuación 2-5})$$

Donde el primer término se refiere al empuje hidráulico; los otros dos incluyen el efecto del peso de los impulsores y del eje. Las constantes (K_T , K_a y K_s), se obtienen de los catálogos e información del fabricante. HDT y longitud del eje se expresan en pies.

El primer término de la ecuación 2-5 ($K_T \text{HDT}$) es el empuje soportado por los impulsores y tazones de la bomba, lo cual limita en la práctica el máximo número de etapas a la que puede trabajar una determinada bomba. La ecuación 2-5, en su totalidad, define la carga axial soportada por el cojinete de carga del motor, ya sea sumergible o de superficie.

Cavitación

- Cabeza neta positiva de succión

Para que el bombeo de un líquido se realice en forma adecuada, la presión en cualquier punto de la succión deberá ser superior a la presión de vapor correspondiente. En esta forma la energía máxima disponible para hacer que el líquido fluya por la tubería de succión y dentro de la bomba hasta el impulsor, es la cabeza total de succión menos la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. La cabeza disponible a la entrada de la bomba recibe el nombre de cabeza neta positiva de succión (CNPS), o NPSH, por sus siglas en inglés (*Net Positive Suction Head*).

Debe distinguirse entre la cabeza neta positiva succión (CNPS) disponible [(CNPS)_D], y la CNPS requerida [(CNPS)_R]. La disponible representa la diferencia entre la cabeza absoluta de succión existente y la presión de vapor respectiva, depende de las dimensiones y forma de la instalación en el lado de la succión. La requerida, función del diseño de la bomba, representa el mínimo margen requerido entre la cabeza de succión y la presión de vapor, al caudal y velocidad de operación dados.

La (CNPS)_D puede calcularse así:

$$(CNPS)_D = h_{sa} - h_{vpa} \quad (\text{Ecuación 2-6})$$

Donde:

h_{sa} : cabeza absoluta total en la succión.

h_{vpa} : presión absoluta del vapor, expresada en pies, a la temperatura del agua.

Pero:

$$h_{sa} \pm = h_a \pm h_s - h_{fs} \quad (\text{Ecuación 2-7})$$

Donde:

h_a : presión atmosférica en el sitio de bombeo, expresada en pies de columna del líquido a bombear.

h_s : cabeza estática de succión. El signo + corresponde al caso de succión positiva, el - al caso de succión negativa.

h_{fs} : cabeza de fricción total en la succión.

Cavitación es un término usado para describir el fenómeno que se produce en una bomba cuando la $(CNPS)_D$ es menor que la $(CNPS)_R$. En estas condiciones la presión del líquido se reduce a un valor igual o menor al de la presión de vaporización del líquido, formándose pequeñas burbujas o bolsas de vapor, que al entrar a lo largo de las venas del impulsor, hacia secciones de mayor área, la presión aumenta bruscamente. Esto hace que las bolsas de aire imploten en forma tan rápida que pueda llegar a oírse un ruido como que se estuviera bombeando grava. Las fuerzas ejercidas durante el colapso de las burbujas son generalmente suficientes para provocar pequeños puntos de fatiga en las superficies de las venas del impulsor pudiendo dañarlo seriamente.

Se presentan varias características acompañando a la cavitación:

- Ruido y vibración.
- Reducción del caudal debido a la presencia de vapor en la bomba.
- Inestabilidad y reducción de la carga (presión).
- La potencia así como el consumo de energía pueden ser erráticos.

Si este punto de operación se mantiene por un período de tiempo relativamente prolongado se le ocasionará a la bomba daños mecánicos especialmente desgastes y rotura del impulsor. Por tanto, como ya se anotó, es necesario que:

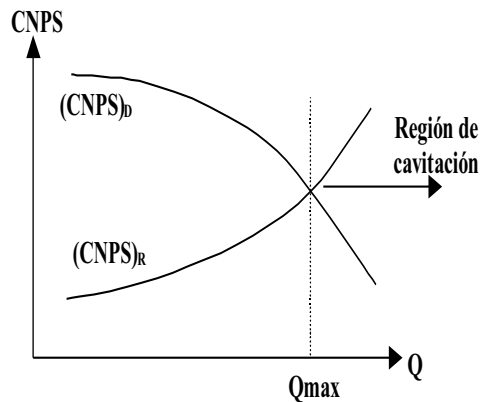
$$(CNPS)_D > (CNPS)_R$$

(Cabeza neta positiva de succión) disponible $(CNPS)_D$

(Cabeza neta positiva de succión) requerida $(CNPS)_R$

Para evitar así los efectos indeseables de la cavitación.

Figura 5. **Determinación de la región de cavitación**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint 2007.

2.2.2. **Línea de descarga**

En toda instalación de equipos de bombeo, es necesario que en la descarga se instalen una serie de dispositivos y piezas especiales cuya función es la de regular, controlar y medir el flujo producido por el equipo de bombeo.

Los dispositivos usados en las descargas se describen a continuación:

- Válvula de admisión y expulsión de aire

Es un dispositivo que permite desalojar en forma automática el aire que se encuentra en la columna de bombeo y que es impulsado por el agua durante el arranque del equipo; por otra parte cuando el equipo se para, su función es la de permitir el acceso de aire a la columna de bombeo para romper la condición de vacío que se presenta por el regreso del agua hacia el interior del pozo.

- Manómetro

Es un dispositivo con el cual se miden los valores de la presión existente dentro de la tubería. Normalmente se instala sobre el lomo de la línea de descarga por medio de una conexión roscada que lo conecta con la tubería. La presión deforma un tubo Bourdón, un diafragma o un fuelle en el interior del manómetro, la cual se transmite por medio de conexiones mecánicas.

- Válvula de retención (*check*)

Las válvulas de retención o de no retorno (*check*) se emplean para no permitir el regreso del fluido hacia la columna de bombeo, protegiendo además al equipo de bombeo de los esfuerzos originados por el fenómeno transitorio del golpe de ariete, cuando el equipo se para. Así mismo, permite mantener llenas las tuberías, aguas arriba de la descarga. Su operación es en forma automática, aprovechando el sentido de circulación del agua para accionar la compuerta de cierre o apertura.

Es importante usar siempre una o más válvulas de retención en instalaciones de bombas sumergibles. Se debe instalar una válvula de retención de línea en la tubería de descarga a menos de 7,5 metros de la bomba y debajo del nivel dinámico.

Las válvulas de retención se usan para mantener la presión en el sistema cuando se detiene la bomba. También previenen el giro inverso, el golpe de ariete y el empuje ascendente.

En instalaciones sumergibles solo se deben usar válvulas de retención con sello positivo. Aunque perforar las válvulas de retención o usar válvulas de

retención con desagüe posterior puede prevenir el giro inverso, puede también crear problemas de empuje ascendente y golpes de ariete.

Cualquiera de estas puede provocar una falla prematura en la bomba o el motor.

- Giro inverso: sin una válvula de retención o con una válvula de retención defectuosa, el agua de la tubería y el agua del sistema pueden bajar por la tubería de descarga cuando se detiene el motor. Esto puede provocar que la bomba gire en dirección inversa. Si el motor se enciende mientras esto sucede, se puede presentar una fuerte tensión sobre todo en el montaje del motor-bomba. También puede causar desgaste excesivo en el cojinete de empuje, debido a que el motor no está girando lo suficientemente rápido para asegurar una película adecuada de agua entre el cojinete y los segmentos de empuje.
- Empuje ascendente: sin válvula de retención o con una válvula de retención con fugas, la unidad arranca con una condición de carga cero. Esto provoca una elevación o empuje ascendente en el montaje impulsor-eje de la bomba, este movimiento hacia arriba atraviesa el acoplamiento bomba-motor y se crea una condición de empuje ascendente en el motor. El empuje ascendente constante puede causar fallas prematuras en la bomba y el motor.
- Golpe de ariete: si la válvula de retención más baja está a más de 9 metros sobre el nivel estático, o una válvula más baja tiene fuga y la de arriba se mantiene, se crea un vacío parcial en la tubería de descarga. En el siguiente arranque de la bomba, el agua que se mueve a muy alta velocidad llena el vacío y golpea la válvula de retención cerrada y el agua

estancada en la tubería que está arriba de esta, provocando un choque hidráulico. Este choque puede agrietar las tuberías, romper las juntas y dañar la bomba y/o el motor.

- Válvula de seccionamiento

La aplicación principal de estas válvulas es para separar, del fluido hidráulico, algún elemento o sección de la instalación.

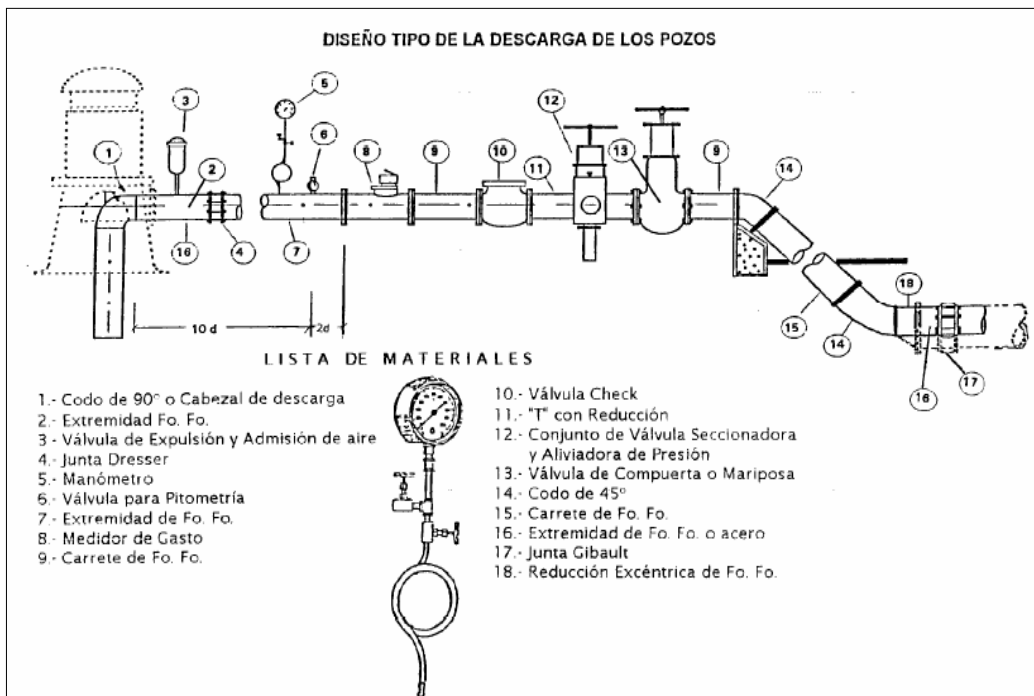
Normalmente se usan manteniéndola totalmente cerrada, para proporcionar mantenimiento a equipos, tuberías o piezas especiales.

Los tipos de válvulas, que comúnmente se emplean en las instalaciones de agua potable y residual son las del tipo compuerta y mariposa.

Válvula de seguridad o aliviadora de presión

Las válvulas de seguridad o aliviadoras de presión son empleadas para proteger al equipo de bombeo, tuberías, estructuras y demás elementos de la descarga, contra los cambios bruscos de presión originados por los transitorios cuando se paran los equipos de bombeo. La válvula está diseñada para que pueda abrir automáticamente y aliviar al exterior las sobrepresiones originadas, principalmente, por el transitorio.

Figura 6. Línea de descarga para pozos



Fuente: *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. p. 41.

2.3. Equipo motriz auxiliar

En la gran mayoría de los sistemas de agua potable, sus equipos de bombeo son accionados con motores eléctricos, principalmente, por las ventajas que estos ofrecen tanto en su operación como en su mantenimiento. Sin embargo, en algunos casos el medio motriz de las bombas es con motores de combustión interna, seleccionándose el diésel como combustible para ellos.

En plantas de bombeo donde el desalojo de las aguas tiene que ser altamente confiable se utilizan sistemas combinados con motores tanto eléctricos como de combustión interna. El medio motriz combinado garantiza la operación en cualquier momento de los equipos de bombeo. Este sistema es

ampliamente utilizado en las plantas de bombeo de aguas residuales, donde no se pueden permitir paros prolongados en los equipos de bombeo por falla en el suministro eléctrico, sobre todo en época de tormentas.

Por otra parte, en regiones donde no se cuenta con el suministro de energía eléctrica, el bombeo tiene que ser accionado con motores de combustión interna.

Las instalaciones de bombeo donde, generalmente, se utilizan motores de combustión interna son:

Bombeo de aguas residuales

Bombeo de agua potable en servicios importantes

Bombeo en pozos donde no se cuenta con suministro eléctrico

- Uso de generadores accionados por motores de combustión interna

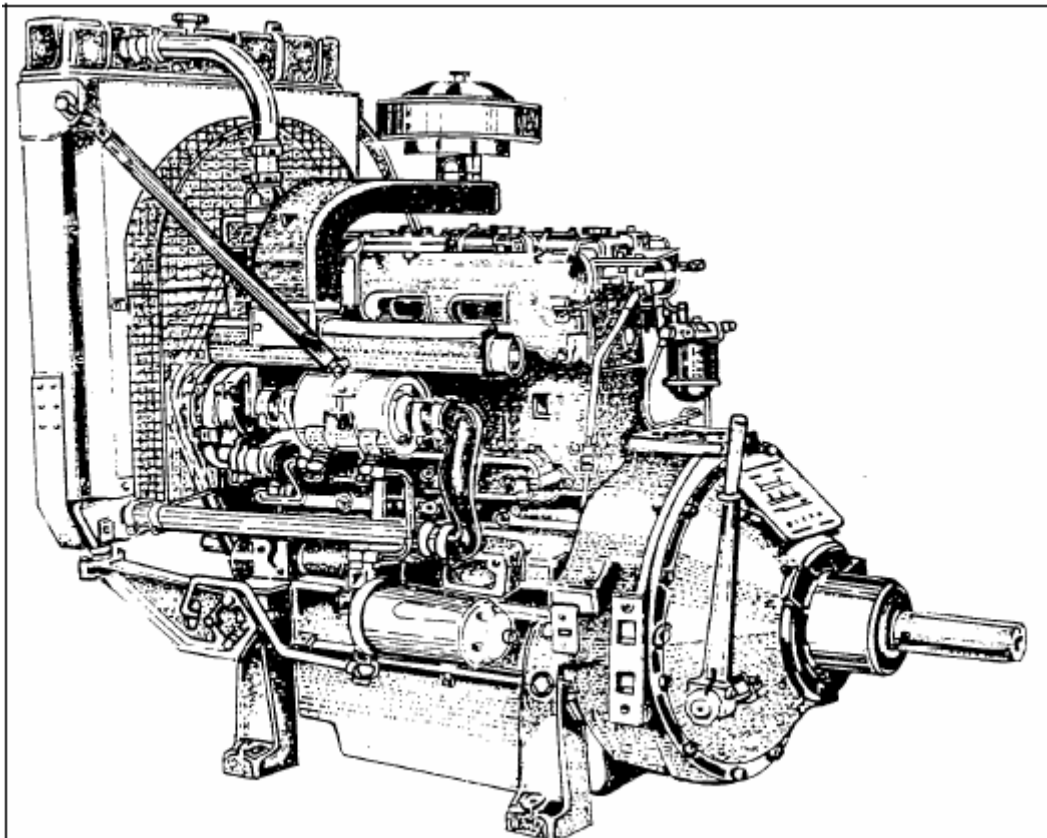
Hay dos tipos de generadores disponibles: los regulados externamente y los internamente, la mayoría son regulados externamente. Estos utilizan un regulador externo de voltaje que detecta el voltaje de salida. Cuando el voltaje disminuye al arrancar el motor, el regulador aumenta el voltaje de salida en el generador.

Los generadores regulados internamente (auto excitado) tienen un devanado extra en el estator generador. El devanado extra detecta la corriente de salida para ajustar automáticamente el voltaje de salida.

Los generadores deben estar calibrados para suministrar al menos el 65 por ciento del voltaje nominal durante el arranque para asegurar una fuerza de

torsión adecuada. Además de la dimensión, es importante la frecuencia del generador, ya que la velocidad del motor varía con la frecuencia (Hertz). Debido a las leyes de afinidad de la bomba, una bomba operando de 1 a 2 Hertz por debajo de la frecuencia especificada para el motor no alcanzará su curva de rendimiento. Por el contrario, una bomba operando de 1 a 2 Hertz por arriba de la frecuencia especificada puede disparar los dispositivos de protección del motor.

Figura 7. **Motor de combustión interna, utilizado para accionar el generador**



Fuente: *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. p. 51.

2.4. Cálculo de cable para motor sumergible

Para la selección adecuada de cable sumergible se debe tomar en cuenta el voltaje, la corriente nominal del motor, el tipo de arranque, la caída máxima de tensión en el cable y la temperatura ambiente.

Cálculo de calibre de conductor

- Por caída de tensión

Monofásico

$$A_{\text{mm}^2} = \frac{(I_N \times 2 \times d)}{V \times K \times \% \text{regulación}} \text{ mm}^2 \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Trifásico

$$A_{\text{mm}^2} = \frac{(I_N \times \sqrt{3} \times d)}{V \times K \times \% \text{regulación}} \text{ mm}^2 \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Donde:

I_N = corriente nominal (amperios)

d = distancia hasta al alimentador

V = voltaje de alimentación

K = conductividad del material

K = 57 (material de cobre)

% regulación = 5 por ciento

$\sqrt{3}$ = si es trifásico

2 = si es monofásico

- Por corriente
 - Si opera con Protección

Factores de corrección:

- Temperatura ambiente (usar correctores de tabla (F_{TA}))
- Número de conductores (F_{NC})
 - ✓ 2 - 3 usar 100 %
 - ✓ 4 - 5 usar 80 %
 - ✓ 6 - 7 usar 70 %
 - ✓ 8 - 9 usar 60 %
 - ✓ 10 en adelante 50 %
- Tipo de tubo (F_{MT})
 - ✓ Plástico, factor de corrección= 80%
 - ✓ Tubo de metal, factor de corrección= 100%

- Tiempo de servicio (F_{SC})
 - ✓ Continuo (más de 3 horas conectada) factor de corrección= 80%
 - ✓ No continuo= 100%
 - Si opera al aire libre

Aplican:

- Temperatura ambiente
- Tipo de servicio

Fórmula de operación para encontrar la corriente de tabla (I_T) dada en amperios, con los respectivos factores de corrección.

$$I_T = \frac{I_N \text{ (Amperios)}}{F_{TA} \times F_{NC} \times F_{MT} \times F_{SC}} \quad \text{Amperios} \quad \text{(Ecuación 2.10)}$$

En muchos casos, el fabricante implanta una serie de tablas que muestran los posibles calibres correspondientes a los HP, la longitud en pies de profundidad que esté y así muestra el calibre correspondiente. Se harán cálculos con las ecuaciones 2-8, 2-9, 2-10 para obtener mayor confianza y determinar que si son confiables al momento de ser utilizados estos.

2.5. Condiciones de instalación

El funcionamiento satisfactorio de una bomba sumergible para pozos profundos dependerá de la correcta aplicación, instalación y mantenimiento del equipo. Debido a las variaciones que hay en los requisitos de aplicación en la instalación.

- Precaución preliminar

Examinar cuidadosamente las siguientes condiciones del pozo:

- El perfil litológico (fecha de perforación, condiciones dejadas por los perforadores, condiciones iniciales comparadas con las actuales en cuanto los niveles de operación del equipo, el diámetro del pozo).
- La profundidad del pozo.
- Nivel estático.
- Nivel dinámico.
- Caudal a explotar.
- Presión de trabajo.
- Alturas o cotas (hasta que deposito se requiere conducir el caudal).
- Voltajes existentes.
- Condiciones existentes (equipo existente, tubos, equipo eléctrico, etc.).

Cerciorarse que no exista arena en la sección perforada del pozo. La unidad sumergible deberá funcionar en un tramo recto del pozo. De lo contrario, la tensión ejercida podría causar la desalineación de los cojinetes o acoples de la bomba y acortar la vida útil de la unidad. La bomba no deberá instalarse nunca con el fondo del motor situado a menos de cinco pies del fondo del pozo.

- Motor sumergible

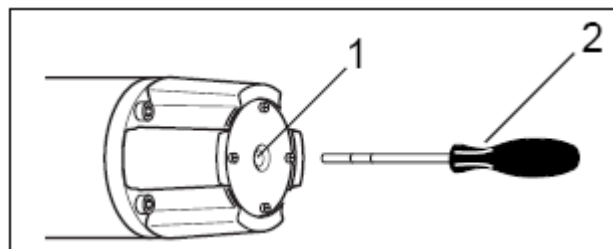
Desembalar si hay daños exteriores visibles, por ejemplo:

- En la tapa de la membrana
- En la carcasa
- En la placa del cojinete
- En la conexión o en el cable del motor

Si se constata una avería, no montar o poner el motor en servicio. De forma contraria podría ser que ni el motor ni el panel operen de forma segura debido a los daños. Con el motor dañado existe peligro de lesiones y peligro de muerte.

Si el motor es usado realizar el siguiente chequeo de llenado del líquido por el tiempo de uso del motor ver figura 8.

Figura 8: **Control de líquido del motor sumergible**



Fuente: *Manual de instrucciones montaje y servicio motores sumergibles*. p. 38.

- Poner el motor horizontalmente.
- Introducir el calibre de comprobación (2) por el orificio de la tapa de la membrana (1), hasta notar una cierta resistencia y

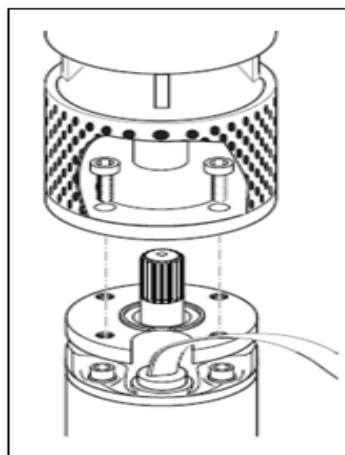
rellenar con líquido el motor. Si las comprobaciones mostrasen que el nivel del líquido del motor es demasiado bajo, puede rellenarse con agua potable limpia. Nunca se debe utilizar agua destilada.

- Unión motor y bomba:

Comprobaciones previas

- Si es necesario, retirar el capuchón protector del eje (si es motor nuevo o si lo contiene).
- Antes del montaje, accionar el eje del motor de forma manual: el eje debe girar libremente una vez superada la resistencia por fricción. De no ser así, hay que determinar la causa de dicha anomalía.
- Mantener las superficies de las piezas a unir limpias y libres de polvo.

Figura 9. **Unión bomba y motor**



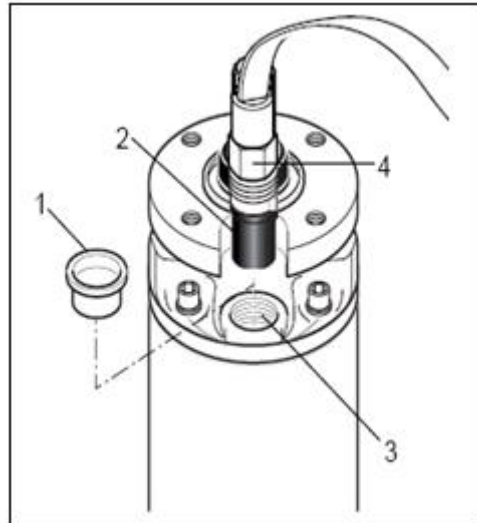
Fuente: *Manual de instrucciones montaje y servicio motores sumergibles*. p. 38.

- Conexión del cable de alimentación al motor

La conexión del cable requiere la máxima precaución en lo que a limpieza se refiere. La humedad, la suciedad y la grasa pueden causar fallos de funcionamiento y averías.

- Retirar el tapón de plástico (1)
- Verificar que no haya humedad ni suciedad tanto en el macho (2) como en la hembra (3) del conector.
- Hacer retroceder la tuerca (4) del conector macho hasta que este quede libre.
- Untar ligeramente la parte de goma de la clavija con silicona o vaselina. Comprobar que los contactos queden libres de grasa. De lo contrario, puede haber cortocircuitos. En los motores, untar la rosca de la tuerca del conector con una vaselina o silicona no ácida.
- Insertar al máximo el conector macho (2) en el conector hembra (3) hasta que quede a la vista de nuevo la rosca del conector hembra y pase la tuerca (4) por encima del conector macho.
- Hacer girar la tuerca del conector en sentido contrario a las agujas del reloj para encontrar el inicio de la rosca. Después hacer girar manualmente la tuerca en el sentido de las agujas del reloj.
- Con la ayuda de una llave de boca (30,2 mm), apretar la tuerca hasta comenzar a sentir una cierta resistencia de la goma del macho del conector comprimiéndose.
- Apretar ahora la tuerca de racor (4) en $\frac{1}{2}$ giro más aproximadamente. Con ello, la conexión de enchufe queda estanca.

Figura 10. **Ligar el cable al motor**



Fuente: *Manual de instrucciones montaje y servicio motores sumergibles.* p. 39.

- Medición de la resistencia de aislamiento

Llevar a cabo esta medición antes de sumergir el grupo en el lugar de uso.

- Conectar uno de los cables de medición a la toma de tierra.
- Verificar siempre que los puntos de contacto estén limpios.
- Unir el otro cable de medición a cada uno de los hilos del cable de la alimentación conectado al motor, excepto el de puesta a tierra.

El motor funciona correctamente cuando la resistencia de aislamiento es por lo menos de:

- 200 MOhms en un motor nuevo, sin alargamientos de cable.
- 20 MOhms en un motor instalado y sin alargamientos de cable.

- 2 MOhms en un motor ya usado, con alargamientos de cable.
- Empalmes y conexiones eléctricas

Los empalmes deben ser a prueba de agua. Se debe hacer una fuerte ligadura mecánica entre los cables del motor y el cable para evitar que haya una alta resistencia en la conexión. Una conexión mecánica deficiente o un empalme envuelto incorrectamente pueden causar mal funcionamiento y fallas en el motor.

Antes de conectar el motor al cable, se deberá realizar un control a tierra para asegurarse de que el motor no haya sufrido daños. Conectar el extremo de un óhmetro a cualquiera de los tres cables del motor y el otro cable al soporte de la entrada de la bomba. Un motor nuevo debería tener una resistencia de 2 megohmios o más. Repetir lo mismo en los tres cables.

Preparar el cable y realizar las conexiones mecánicas y empalmes de la siguiente manera:

- Cortar los cables del motor y los correspondientes extremos de los cables en espaciamientos de 3 pulgadas para escalonar las conexiones a fin de lograr un empalme parejo.
- Cortar el cable de conexión para que coincida con los cables del motor. Hacer coincidir los cables por código de color, rojo con rojo, negro con negro y blanco con blanco.
- Si se utiliza un conector *sta-kon* (ver figura 11), es un conector que une los cables de una forma mas correcta, el alambre deberá estar expuesto aproximadamente 1/2". Si el cable de filamentos va a ser

soldado, el alambre expuesto deberá ser de aproximadamente 1 pulgada de largo. Los conectores *sta-kon* podrán usarse con cables macizos de hasta calibre No. 8 AWG y con cables de filamentos de hasta No. 10 AWG.

- Limpiar a fondo los extremos expuestos de los cables con tela esmeril o papel de lija para asegurar buenos contactos eléctricos.

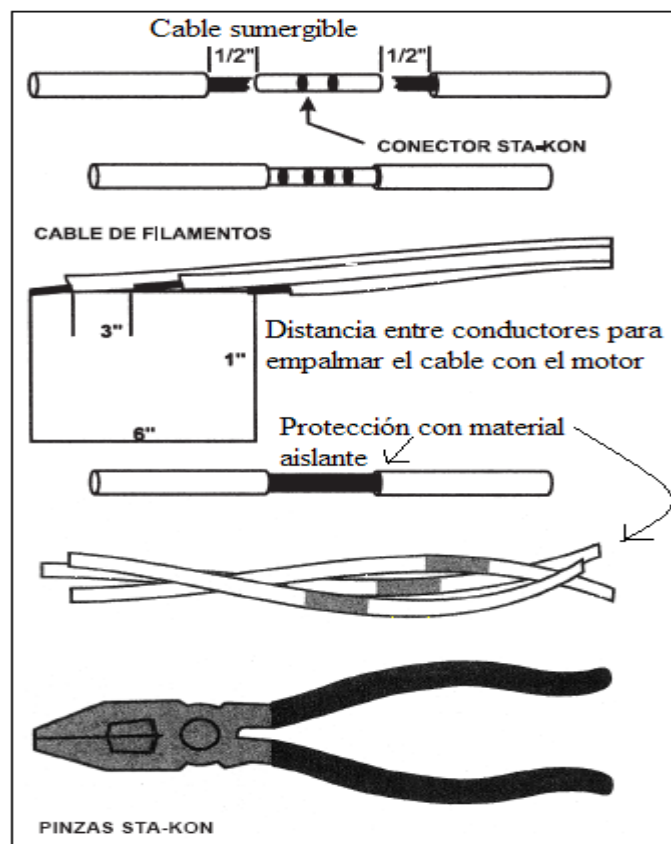
- Tipo de empalme
 - Conexión soldada estirar cada uno de los filamentos y separarlos ligeramente. Limpiar cada filamento y presionar los filamentos del cable contra los correspondientes filamentos abiertos (codificados por color) de los cables del motor. Utilizando alambre fino de cobre, envolver todo el largo de la junta hasta que los filamentos estén apretados. Aplicar la soldadura asegurándose de que se deslice por toda la junta. Tirar firmemente del cable para probar la junta.

 - Conexión *sta-kon* insertar los cables y comprimir el conector al cable utilizando una pinza *sta-kon*. Los conectores deberán hacer tope con el aislante después de ser crimpados. Tirar del cable para asegurarse de que la conexión sea firme y fuerte.
- Repetir el último punto en cada cable.
- Sacar toda la grasa y suciedad de las conexiones y del aislante de cable/alambre adyacente y engrosar la junta con cinta hasta que sea de igual diámetro que el cable.
- Comenzando a 1-1/2" de distancia de la junta, aplicar una vuelta firme de cinta superponiendo aproximadamente la mitad de la

vuelta anterior y continuar aproximadamente 1-1/2" pasando la junta. Cortar la cinta aislante en forma pareja y presionar ambos extremos firmemente contra el cable.

- Aplicar dos vueltas más de cinta como se describe en el paso anterior, comenzando y terminando 1-1/2" más allá del punto de partida previo.

Figura 11. **Distancia de empalme entre conductores**



Fuente: *Manual National Pump Company instalación y mantenimiento*. p. 16.

- Montaje motor y bomba
 - Aplicar grasa sin ácido y otros elementos por modelo Móvil FM 102, Texaco Cygnus 2661, Gleitmo 746 u otro elemento que no presente ácido que pueda causar problema) en la parte interior del acoplamiento del grupo. La grasa minimiza y alisa de la fricción y proporciona una protección adicional contra la penetración de arena. Al unir el motor con la bomba, poner mucha atención que el manguito de la bomba quede dentro del protector de la antiarena del motor para impedir la entrada de arena y suciedad en el estriado del eje.
 - Juntar los ejes del motor y del grupo tras su previa alineación.

Nota: tornillos para el montaje de la bomba.

- Motores de 2, 4 y 6": rosca $\frac{1}{2}$ - 20 UNF-2B (rosca tipo unificado de diámetro interior de $\frac{1}{2}$ pulgada, 20 hilos por pulgada, ajuste clase 2B.).
 - Motores de 8": agujero con un \varnothing de 17,5 mm.
 - Fijar el motor a la bomba según las normas, atornillando en cruz los tornillos de fijación.
- Camisa de enfriamiento para el motor

Camisa inductora de flujo: cuando el diámetro interno del pozo es bastante mayor de dos pulgadas que el diámetro de la bomba y motor, es necesario considerar la velocidad del flujo del agua que enfría al motor, pues, su factor de

servicio será disminuido con velocidades bajas de flujo. Esta situación se resuelve instalándole al motor una camisa inductora de flujo, que consiste en un tubo, generalmente de diámetro interno dos pulgadas mayor que el diámetro del motor; el cual se coloca desde la parte superior de la coladera de succión de la bomba, taponado en este extremo hasta la parte inferior del motor. Esta camisa aumenta la velocidad de flujo del agua y asegura que la totalidad del mismo circule por el cuerpo del motor, enfriándolo. Se coloca con la finalidad que el fluido sea obligado a entrar por la parte del motor hasta la rejilla y el agua funcione como refrigerante al motor sumergible.

Figura 12. **Camisa de enfriamiento para motor sumergible**



(a) Camisa inductora de flujo.

(b) Tubo de descarga inductor de flujo.

Fuente: Franklin Electric. Motores sumergibles. *Manual de aplicación, instalación y mantenimiento*. p. 14.

2.6. Herramienta y equipo para la instalación

- Equipo básico de protección

Para ejecutar trabajos de mantenimiento o en actividades de operación, se debe contar con el equipo adecuado de protección, como es:

- Protección personal
 - Casco protector: es un equipo de seguridad industrial y su uso puede evitar accidentes.
 - Guantes dieléctricos y de piel: utilizados en el trabajo para obtener una mayor protección para el operario y duración de los mismos.
 - Botas dieléctricas.- Las botas son equipo de seguridad.
- Herramienta
 - Equipo de maquinaria (grúas para equipamiento de pozos) para introducir y extraer del equipo electromecánico-hidráulico.
 - Las herramientas de mano deben ser de un material de buena calidad, los mangos deben ser de madera dura, lisos y sin astillas o bordes agudos. Un hule que no presente deslizamiento alguno y deberán estar perfectamente colocados. Como ejemplo las llaves de tubo, martillo (macho), llaves estrilladas para ajuste de tornillos de acople bomba-motor y para ajuste de a línea de descarga, etc.
 - En trabajos eléctricos se debe utilizar herramientas con aislamiento adecuado, como lo es: alicates, pinzas, corta

alambre, multímetro, el medidor de aislamiento (Megger), cinta de aislar adecuada y cinta especial para el empalme.

2.7. Identificación asistencia y soporte técnico

Ante cualquier problema se denotarán procedimientos en el cual serán de ayuda para cualquier persona, ya sea estudiante o personal profesional que trabajen en este ramo de pozos profundos, se darán posibles causas de fallos como también la forma de repararlos. Los lectores tendrán que tener cierto conocimiento teórico como técnico para poder saber interpretar los conceptos que se describirán en el apartado 2.8. , 2.9., el capítulo 4 y capítulo 5 que será una práctica o para que lo tomen de ejemplo de aplicar todos los temas descritos en este capítulo como en 1, 2, y 3.

2.8. Asistencia técnica y mantenimiento

Es importante el mantenimiento porque con el se logra una larga de vida de operación al equipo y saberlo controlar y aplicar conlleva obtener la máxima eficiencia de cualquier equipo para nuestro estudio se definen los siguientes tipos de mantenimientos:

2.8.1. Mantenimiento

El mantenimiento al pozo profundo es de mucha importancia porque con ello se podrá prolongar una vida de funcionamiento mucho mayor que cuando no se realiza ningún programa de reparación. Con la programación de los tipos de mantenimiento se podrá obtener una reducción de costos de operación, mayor tiempo de vida, mejor aprovechamiento del líquido, mayor eficiencia del

equipo electromecánico-hidráulico, etc. Se harán boletas en las cuales se programaran los mantenimientos respectivos.

2.8.1.1. Preventivo

La finalidad del mantenimiento preventivo es encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades, todas ellas realizadas por operadores y mantenimiento. Para asegurar el correcto funcionamiento del pozo.

2.8.1.2. Correctivo

El mantenimiento correctivo es aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos.

2.8.1.3. Predictivo

Este mantenimiento está basado en la determinación del estado de la máquina en operación. El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones. Características: el ordenador o dispositivo presenta síntomas de falla los cuales deben ser analizados por el usuario.

2.9. Fallos y posibles causas de reparación

- Fallas eléctricas

El 80 por ciento de las fallas eléctricas son relacionados con la quemadura del estator del motor. La mejor manera de prevenir estas fallas es proteger al motor instalando seccionador con fusibles o interruptores magnéticos y protección térmica (sobrecarga) debidamente dimensionados y recomendados por el fabricante. Para zonas de descargas se puede adicionar un buen supresor de picos de alto voltaje y en el mejor de los casos la aplicación del equipo submonitor.

- Una buena conexión a tierra es indispensable: una sencilla varilla introducida en el suelo, no necesariamente es el mejor camino para que las trascientes fluyan al agua subterránea. En el peor caso, el motor presenta un mejor conductor hacia tierra y el trasciente se descargará a través de su carcasa. La mejor forma de hacer tierra es a través de la conexión tierra del motor. Si no se tiene disponible, se puede conectar la tierra del gabinete o supresor al brocal del pozo (debe ser de metal) o a la tubería de impulsión (inmersa en el pozo).
- Pérdidas de fase: suele ocurrir por una sobrecarga en una de las fases, lo que origina la apertura de un fusible. También puede deberse a daños en los sistemas de interconexión, borneras, interruptores, contactores, etc. Un motor al perder una fase continua girando obteniendo la energía que requiere de las dos fases restantes. El protector térmico debe ser sensible a esta pérdida y protegerá al motor siempre y cuando sea el adecuado y este regulado a la corriente de trabajo, en caso de arranque directo y

para arranque estrella-triángulo se regulará el relé térmico del arrancador a la corriente de trabajo multiplicado por 0,58.

- Variaciones en la tensión: tanto el alto o bajo voltaje causan un incremento en la corriente absorbida por el motor y el sobrecalentamiento de los arrollamientos. Aunque los motores permiten cierta variación en el voltaje (comúnmente ± 10 por ciento del voltaje nominal) no se puede predecir el tiempo en que va a fallar el motor si se opera a fuera de este rango permisible.
- Un desbalance en el voltaje de tan solo 1 por ciento, causa un desbalance en la corriente de 10 por ciento. A partir de 5 por ciento desbalance de corriente, las bobinas del motor sufrirán sobrecalentamiento excesivo (a plena carga). Por cada 10 grados centígrados de aumento de temperatura del bobinado, la vida del motor disminuye en un 50 por ciento. Por ejemplo: si el motor está diseñado para una temperatura nominal de 100° C grados centígrados en el estator para un tiempo de vida de 10 años, un aumento permanente de la temperatura a 110 grados centígrados disminuirá el tiempo de vida a 5 años.

- Fallas mecánicas

- Daño al eje: y más específico el estriado del eje, son relacionados con depósitos de arena y arcilla, alineamiento incorrecto motor-bomba, empuje axial, acoplamiento con juego, o una combinación de los anteriores. Se recomienda usar lubricantes resistentes al agua (Móvil FM102, Texaco Cygnus 2661, o equivalente) antes de acoplar la bomba al motor para evitar el ingreso de arena y arcilla.

Tabla I. **Fallas en motores sumergibles**

Posible causa	Procedimiento de Revisión	Corrección
No hay energía o el voltaje es incorrecto.	Revisar el voltaje en las terminales de la línea. El voltaje debe estar a $\pm 10\%$ del voltaje nominal.	Contactar a la compañía de energía si el voltaje es incorrecto.
Fusibles quemados o interruptor automático desconectado.	Revisar que los fusibles sean del tamaño indicado y revisar que las conexiones del recipiente de fusibles no estén flojas, sucias u oxidadas. Revisar que los circuitos automáticos, no estén desconectados.	Reemplazar con fusibles adecuados o restablecer los interruptores automáticos.
Falla en la caja de control.	Chequear pieza por pieza chequear funcionamiento.	Reparar o reemplazar
Bomba trabada.	Revisar que la bomba y el motor estén alineados o que la bomba esté trabada con arena. Las lecturas del amperaje deben ser de 3 a 6 veces mayores que lo normal hasta que se interrumpa la sobrecarga.	Sacar la bomba y corregir el problema. Operar la nueva instalación hasta que se disperse el agua
Interruptor de presión.	Revisar que los contactos del interruptor no estén soldados. Revisar la instalación del interruptor.	Limpiar los contactos, reemplazar el interruptor o ajustar la instalación.
Bajo nivel de agua en el pozo.	La bomba excede la capacidad del pozo. Apagar la bomba y esperar a que el pozo se recupere. Revisar el nivel estático y el dinámico desde el cabezal del pozo.	Estrangular la salida de la bomba o restablecer la bomba a un nivel bajo. No bajar el equipo si la arena atasca la bomba.
Bomba deteriorada.	Los síntomas de una bomba deteriorada son similares a los de una fuga en la tubería sumergible o al bajo nivel de agua en el pozo. Reducir el ajuste del interruptor de presión, si seapaga la bomba, las piezas gastadas pueden ser la falla.	Sacar la bomba y reemplazar las partes gastadas.
Colador de la bomba tapado.	Revisar si el colador de admisión está atascado.	Limpiar el colador y restablecer la profundidad de la bomba.

Fuente: elaboración propia.

- Anomalías en bombas y efectos que causa

La operación de una bomba en un pozo profundo, puede verse afectada por problemas propios del pozo, algunos de los cuáles se mencionan a continuación.

- Defectos de diseño: (a) exceso de cedazo en la entrada del agua hacia el pozo, (b) aforo mal realizado, (c) diseño inadecuado de la bomba. Estos pueden tener como consecuencia, abatimiento del pozo y consecuentemente, arranques y paros frecuentes del equipo, por falta de nivel de agua en el pozo.
- Defectos constructivos: (a) filtro granulado mal colocado, (b) defectos en el entubado, (c) materiales defectuosos, (d) falta de verticalidad. Los tres primeros, pueden ser causantes de arrastre de arenas, pérdida de capacidad del pozo, desgaste de la bomba sumergible y en consecuencia disminución del rendimiento de la misma. La falta de verticalidad puede tener consecuencias mecánicas en el eje de la transmisión de la columna de la bomba con motor en la superficie.
- Problemas regionales: (a) aguas corrosivas, (b) aguas incrustantes, (c) bacterias ferruginosas, (d) abatimientos regionales de niveles freáticos. La (a), puede ser motivo de corrosión de la tubería y del equipo de bombeo. El (b), puede crear incrustaciones lodos en las rejillas de entrada del agua al pozo y en consecuencia abatimiento del pozo, por pérdidas de fricción adicionales; o bien, incrustaciones en la bomba produciendo disminución del bombeo.

3. PROCEDIMIENTO TÉCNICO

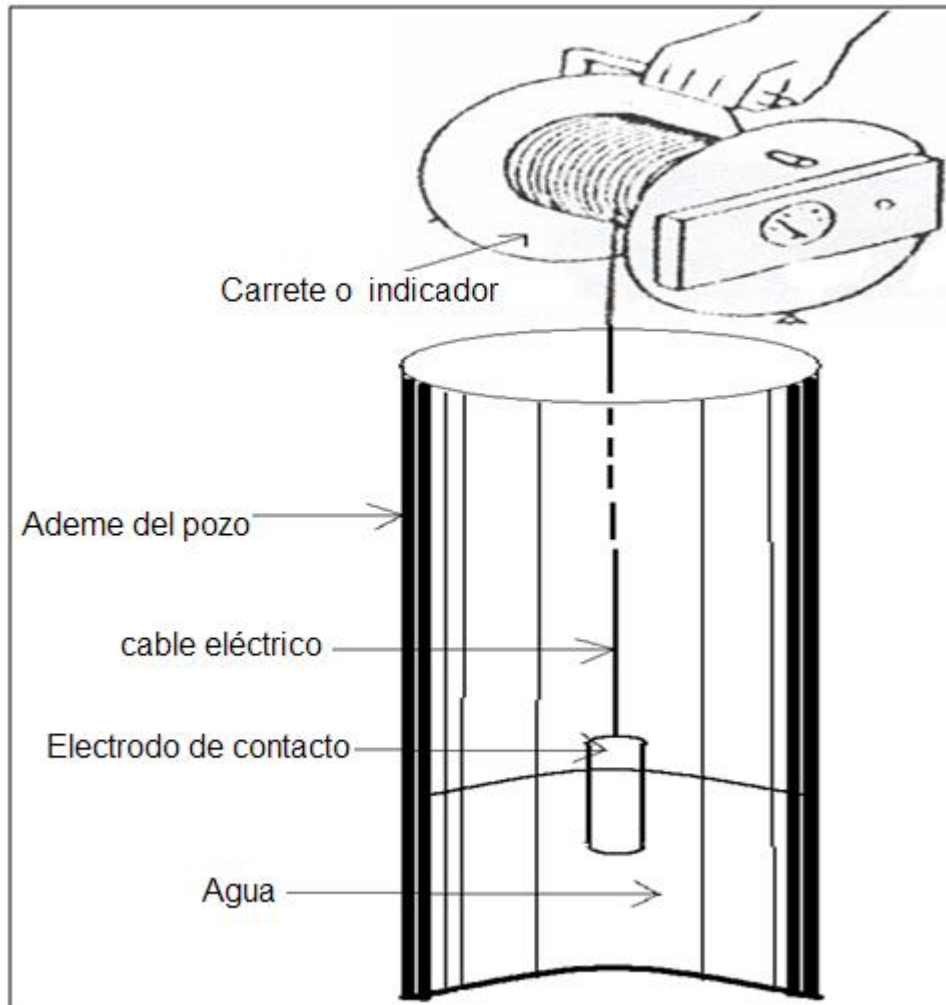
3.1. Métodos para medir la profundidad de los pozos

Para obtener la información del nivel estático del agua y la profundidad de los pozos se necesitan mecanismos rápidos y confiables entre los que se puede mencionar:

3.1.1. Método de la cinta eléctrica

Este método consiste en colocar una sonda eléctrica, es decir un electrodo que al introducirse en el agua genera conductividad eléctrica que se traduce a una señal, ya sea de luz o de sonido, indica el contacto con el agua y permite medir variaciones.

Figura 13. **Medición con cinta eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint 2007.

3.1.2. **Método de la cinta mojada**

El método consiste en colocar una pesa de plomo a una cinta de acero o lazo de nylon para medir. Los dos pies inferiores de la cinta se recubren con tiza o yeso, antes de efectuar las mediciones, parte de la sección recubierta penetra y la marca más próxima se sostiene contra el borde superior del ademe del pozo, luego se extrae la cinta. La porción mojada se lee y se resta de la marca

que se sostuvo contra el punto de referencia y la diferencia es la profundidad del agua.

3.1.3. Método de la línea de aire

Consiste en un conducto o tubería de pequeño diámetro y longitud suficiente, que permanezca verticalmente dentro del pozo, el tubo no debe permitir la entrada de aire. En el extremo superior se coloca una tee a la que se le coloca un manómetro que permite medir la presión del aire dentro del tubo.

La medición que se haga antes de arrancar la bomba indicará el nivel estático del agua. Cualquier cambio en el nivel del agua estará dado por la diferencia de presión indicada por el manómetro en dos mediciones consecutivas. El abatimiento durante el bombeo y durante la recuperación que se produce se puede obtener fácilmente de las lecturas de presión.

La profundidad del agua se calcula mediante la expresión:

$$PA = PLA - P \quad \text{(Ecuación 3-1)}$$

En donde:

PA = profundidad del agua en pies o metros

PLA = profundidad de la línea de aire en pies o metros

P = carga de presión en pies o metros, representada por una columna de agua, cuya altura sea igual a la longitud de porción sumergida de la línea de aire.

También de esta forma:

$$\text{Pies} = \text{PSI} * 2,31 \quad (\text{Ecuación 3-2})$$

PSI= libra por pulgada cuadrada o en inglés (*Pounds per Square Inch*).

A la línea de aire se le inyecta aire con un compresor de 100 libras. o más. Se le coloca un manómetro en el cual va a marcar las PSI indicadas, luego con esas psi se multiplica por 2,31, este 2,31 es una conversión de PSI a pies. Ejemplo: se le inyectó aire a la línea inicialmente indicando como máximo 70 PSI, luego de operar durante 5 horas, se tomo otra lectura indicando 63 PSI. Existiendo 14 tubos galvanizados de 19,68 pies de largo colocados en el pozo más la bomba y motor midiendo aproximadamente 5,25 pies de largo.

Solución:

Profundidad del pozo: 305 pies

Profundidad total: $(14 \times 19,68)$ Pies + 5,25 Pies = 280,77 pies

Utilizando ecuación (3-2)

70 PSI \times 2,31 = 161,70 pies

63 PSI \times 2,31 = 145,53 pies

Nivel estático = 161,70 pies.

Nivel dinámico = 145,53 pies.

$280,77 - 145,53 = 135,24$ pies

$135,24 \text{ pies} / 19,68 \text{ pies} = 6,87 \text{ tubos} \approx 7 \text{ tubos}$

Entonces, quiere decir que cuando se llegue al nivel dinámico el pozo tiene sumergidos en agua aproximadamente 7 tubos dentro del agua.

$161,70 \text{ pies} - 145,53 \text{ pies} = \text{abatimiento del pozo} = 16,17 \text{ pies}$

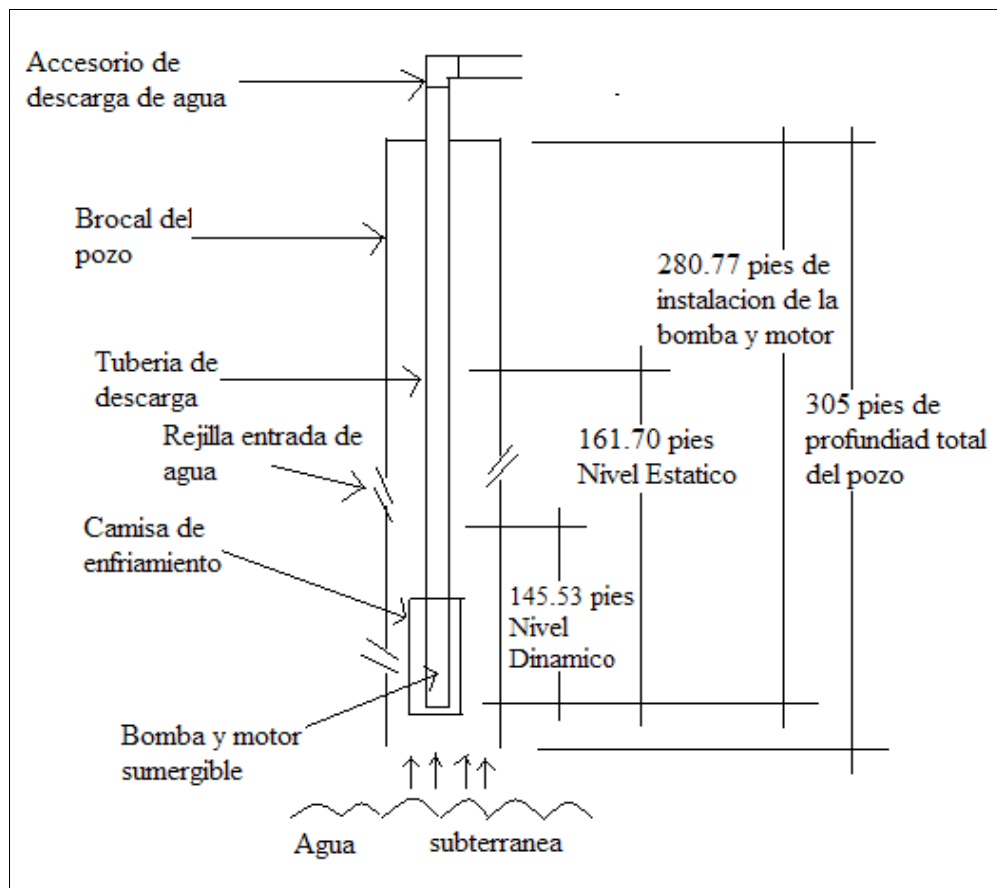
$135,24 \text{ pies} + 16,17 \text{ pies} = 151,41 \text{ pies}$

$151,41 \text{ pies} / 19,68 \text{ pies} = 7,69 \text{ tubos} \approx 8 \text{ tubos}$

El nivel estático esta aproximadamente a 7 tubos de la superficie

El nivel dinámico esta aproximadamente a 8 tubos de la superficie.

Figura 14. **Localización de los niveles estático y dinámico**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint 2007.

3.2. Limpieza del pozo con aire comprimido

El mantenimiento periódico que se aplique a los pozos podrá resolver problemas específicos, mejorar su comportamiento y prolongar su vida útil. Es necesario limpiar y controlar los pozos que se probarán antes de que se realice la prueba de bombeo, con el objetivo de garantizar su funcionamiento. La limpieza permite obtener información más apropiada sobre la capacidad del pozo y la correcta conducción de la prueba de bombeo a realizarse.

A continuación se presenta el procedimiento para la limpieza por medio de aire comprimido:

- Medir la profundidad del pozo por medio de uno de los métodos anteriormente descritos y se compara esta profundidad con los registros existentes del pozo.
- Registrar en una boleta de limpieza el valor de la profundidad que se encontró.
- Medir el nivel estático del agua y registra en la boleta de limpieza de pozos.
- Establecer un método apropiado para medir el rendimiento del equipo al momento de vaciar el pozo, estos se pueden combinar según las circunstancias encontradas en *in situ*, es recomendable hacerlo con el medidor triangular tipo Thomson.
- Aplicar el tratamiento químico que debe permanecer 24 horas para que reaccione, elimine y remueva las partículas que se encuentran

suspendidas en las paredes de la camisa y obstruyendo las aberturas de la rejilla del pozo.

- Cepillar de abajo hacia arriba del pozo para remover las partículas que no fueron removidas con el tratamiento químico, el cepillo a utilizar deberá ser de dientes de metal y el diámetro igual al del pozo. Después de cepillado el pozo es necesario extraer los sedimentos depositados en el fondo por medio de la cubeta.
- Inyectar aire por medio del compresor con el objetivo de crear turbulencia dentro del pozo y remover las partículas y sedimentos mezclados con el químico aplicado.
- Iniciar el vaciado de arriba hacia abajo a lo largo de la sección del filtro del pozo, en etapas de 10 pies.
- Medir periódicamente el contenido de sedimentos del agua vaciada con el cono Imhoff y registrarlo en la boleta de limpieza de pozo.
- Medir como máximo cada 30 minutos el rendimiento del pozo al vaciar y se registra en la boleta de limpieza.
- Bajar el tubo de aire y la manguera de la presión a la etapa siguiente de la limpieza, cuando el agua esté libre de sedimentos, significa un círculo de sedimentación sobre el fondo del cono Imhoff con diámetro no menor de 3 milímetros.
- Iniciar el vaciado inversamente al anterior de abajo hacia arriba a lo largo de la sección del filtro del pozo, en etapas de 10 pies.

- Después de haber limpiado la totalidad de las secciones del filtro, se baja el tubo que lleva el aire a 3 pies sobre el fondo del pozo para limpiar el estancamiento del mismo.
- La profundidad del pozo se mide después realizar la limpieza se registra y compara con la profundidad inicialmente medida en la boleta.
- Si la profundidad inicial del pozo antes de realizarle la limpieza, resultase menor a la obtenida después de realizarle lo anterior, el procedimiento quitó los sedimentos depositados en el fondo del pozo.
- Si la profundidad después de la limpieza sigue siendo mayor que la indicada en registros existentes, el procedimiento de limpieza no quitó los sedimentos depositados en el fondo.
- Los resultados de la limpieza pueden verificarse por medio de la claridad del agua y con la cinta de sonido, si el contacto con el fondo es espontáneo y fuerte, el contacto es con el fondo del pozo, si es todo lo contrario, significa que hay sedimentos remanentes en el pozo, y este debe vaciarse nuevamente hasta que el pozo quede completamente limpio.

3.2.1. Equipo a utilizarse para mantenimiento por aire comprimido

El equipo a utilizarse en la limpieza del pozo con aire comprimido es el siguiente:

Un compresor de aire de 17 metros cúbicos por minuto.

- Tubo galvanizado roscado de alta resistencia el cual deberá ser recto para evitar desviaciones, debe llevar una especie de agujeros a lo largo como los de una flauta para regular la presión del aire al ingresar y así evitar rotura en el *queising* (brocal de pozo).
- Manguera flexible de aire de alta presión que permita levantar y bajar la línea de aire dentro del pozo.
- Manguera flexible de alta presión de 3 pulgadas para inyectar agua al vertedero triangular tipo Thomson.
- Un manómetro para medir la presión del aire que se inyectará al pozo por medio de la manguera.
- Una válvula de alivio como precaución contra una sobrecarga accidental.
- Una válvula de abertura rápida a la salida del tanque, para regular el flujo de aire.
- Un generador de energía adecuado para la bomba en la prueba de bombeo, y para la iluminación durante la prueba.

3.2.2. Equipo de seguridad durante la limpieza

Durante la limpieza con aire comprimido deben de tomarse en cuenta algunas recomendaciones que son de mucha importancia, para evitar accidentes en el lugar de trabajo.

- Se colocará válvula de alivio entre el compresor y la válvula de cierre como precaución contra una sobrecarga accidental.
- En caso de que la presión registrada sea superior a la presión máxima de trabajo permitida en un calibrador que esté operando sin válvula de seguridad, el calibrador deberá ser examinado inmediatamente; si dicho examen indica que la válvula de seguridad o descarga es inoperante, el equipo será puesto fuera de servicio hasta que la válvula haya sido ajustada o reemplazada.
- Todo accesorio a utilizar, como mangueras de aire, tuberías, válvulas y filtros deberán tener las clasificaciones de presión del fabricante y no deberá excederse la misma.
- No se efectuarán cambios de herramienta o reparaciones hasta que la válvula de cierre de la tubería de aire que alimenta el equipo haya sido cerrada completamente.
- Todo el personal que intervenga en el proceso de limpieza deberá ser calificado y contará con un botiquín de primeros auxilios, no se permitirá el ingreso de personas particulares al área de trabajo.

3.3. Seguridad de abastecimiento de agua durante la prueba

Los pozos existentes que se limpiarán y las bombas de prueba, algunas veces estarán equipadas con punto fuente de abastecimiento, ya sea con bombas manuales o eléctricas para el interino de abastecimiento de agua en algunos lugares donde no existe el recurso.

El retiro de bombas manuales no significa un inconveniente, pues los usuarios que dependen del pozo, pueden tomar el agua de la salida del medidor triangular tipo Thomson con sus cubetas.

En caso de un sistema con red de abastecimiento, que se alimenta desde un solo punto, no será posible interrumpir el flujo de agua por los tres días o más que dura la prueba de bombeo; según la situación existente tiene que planificarse previamente una situación de emergencia.

Para un sistema de emergencia existen varias soluciones de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Preparar un agujero grande con el volumen de la demanda de agua no menor de doce horas que es el tiempo de la observación de la recuperación del pozo y encauzar el agua de la prueba de bombeo. La pared y el fondo del agujero debe revestirse con una capa de alisado con cemento, luego instalar la bomba existente en el agujero y conectarla con el sistema de abastecimiento.
- Encauzar el agua bombeada a cualquier depósito existente limpio e instalar la bomba, luego conectarse al sistema de abastecimiento.

3.4. Preparación de la prueba de bombeo

Se anota en la hoja de cubierta los datos de la prueba de bombeo al inicio del trabajo. Seguidamente se determina el tipo de bomba a utilizar y la profundidad de instalación de acuerdo a los datos de nivel estático del agua, profundidad total del pozo, rendimiento registrado de pruebas previas y rebajamiento en la prueba de bombeo. El siguiente paso es medir el nivel

estático del agua y registrarlo, chequear el funcionamiento de la válvula de retención de la bomba de prueba. Para chequear la válvula de retención deben adaptarse una o más tuberías de salida a la bomba y llenarse con agua; si el nivel de agua en la tubería de salida permanece constante, puede decirse que la válvula está funcionando correctamente.

Se procede entonces, a bajar la bomba junto con la tubería del piezómetro a la profundidad de abastecimiento. El fondo de la tubería del piezómetro no puede estar a más de seis pies de profundidad sobre la bomba.

La tubería del piezómetro y el cable se adjuntan completamente a la tubería de salida.

Cuando el cable de conexión eléctrica de la bomba al panel de control no está previamente dada, hay que chequear el funcionamiento de la bomba por tres minutos y medir el rendimiento, para luego cambiar las fases, correr la bomba nuevamente por tres minutos y medir el rendimiento. El incremento del rendimiento indica una conexión correcta.

3.5. Prueba de bombeo

Ante el observar el funcionamiento del equipo sumergible es indispensable conocer las pruebas de bombeo que se describen a continuación:

3.5.1. Primera etapa

- Esperar hasta alcanzar el nivel estático del agua en caso que haya sido bombeada del pozo por cualquier razón en las últimas horas.

- Determinar el rendimiento para la primera etapa que se correrá en ese momento.
- Leer el caudalímetro y registrar la lectura en la boleta de prueba de bombeo.
- Cerrar completamente la válvula.
- Chequear que todos los miembros del equipo de trabajo tienen la misma hora en sus relojes.
- Encender la bomba y el cronómetro al mismo tiempo en hora exacta, registrar el tiempo utilizando el esquema de 24 horas al día.
- Leer el nivel del agua en el piezómetro cada minuto durante los primeros 10 minutos y proceder de acuerdo a la boleta de la prueba de bombeo.
- Observar el medidor triangular tipo Thomson y regular la válvula al rendimiento deseado, una desviación de 10 por ciento del rendimiento no necesita otra regulación de la válvula.
- Tan pronto como se alcance el intervalo de 5 minutos de la lectura del nivel de agua, controlar con cada lectura, la lectura del medidor triangular tipo Thomson y regular la válvula en caso de necesidad. Es necesario tener siempre presente que el rendimiento disminuye con el abatimiento del nivel de agua, por lo que la válvula debe ser abierta para ajustar el rendimiento.

- Controlar el rendimiento bombeado por medio del caudalímetro, como máximo cada 30 minutos en las primeras 3 horas y cada hora en adelante. Este procedimiento se hace midiendo el tiempo con el cronómetro para 1 metro cúbico de flujo de agua que atraviesa el caudalímetro. En caso de que el equilibrio entre el rebajamiento y el rendimiento no se alcance durante las 3 horas de las 16 que dura la etapa de bombeo, hay que prolongar el tiempo de bombeo hasta que la condición de 3 horas de flujo de estado estable sea satisfactoria.
- Determinar el rendimiento deseado para la segunda etapa de bombeo, leer el caudalímetro y registrar la lectura en la boleta de la prueba de bombeo, luego pasar a la siguiente etapa buscando la hora completa.

3.5.2. Segunda etapa

- No parar la bomba, proceder a la segunda etapa abriendo la válvula hasta el punto requerido.
- Leer el nivel de agua en el piezómetro cada minuto durante los primeros 10 minutos, observar el medidor triangular tipo Thomson y regular la válvula al rendimiento deseado.
- Proceder con los pasos descritos en la primera etapa luego pasar a la siguiente, siempre buscando la hora completa.

3.5.3. Tercera etapa

- No parar la bomba, proceder a la tercera etapa abriendo la válvula hasta el punto requerido.

- Proceder con los pasos descritos para la segunda etapa y así determinar a tercera etapa en una hora completa.

3.6. Recuperación

La recuperación del pozo consiste en verificar en cuánto tiempo se alcanza el nivel estático del agua después de apagar la bomba. Si el nivel estático del agua no se alcanza en 12 horas, es necesario seguir observando los niveles de recuperación durante los días posteriores antes de que el equipo de bombeo sea retirado. La velocidad de recuperación es un indicador entre el rebajamiento y el rendimiento, un alto rendimiento a bajo rebajamiento promete una rápida recuperación del nivel de agua.

La recuperación del pozo puede ser visto por los métodos descritos en 3.1 método de cinta mojada, método de la sonda eléctrica, y el método de la línea de aire.

4. ENERGIZACIÓN EN LA INSTALACIÓN DE BOMBEO

4.1. Descripción del equipo eléctrico

Las instalaciones electromecánicas básicas de una estación típica de bombeo están compuestas por:

- Subestación eléctrica
- Equipo de bombeo
- Motor eléctrico
- Controles eléctricos
- Arreglo de la descarga

La subestación eléctrica tiene como función principal, aprovechar la energía eléctrica que proporciona la compañía suministradora y transformarla a las condiciones que requieren los motores para su funcionamiento.

El equipo de bombeo es el elemento encargado de transferir el agua desde el punto de captación, hasta el lugar donde se requiera.

El motor eléctrico es el equipo que proporciona la energía motriz para el accionamiento de la bomba.

Los controles eléctricos son los dispositivos de mando para arranque y paro de los motores eléctricos, que proveen los elementos de protección del equipo eléctrico para evitar daños por condiciones anormales en la operación de los motores.

4.2. Subestación eléctrica

Una subestación eléctrica es un conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de la energía eléctrica (voltaje, corriente), o bien conservarlas dentro de ciertas características, requeridas por el sistema.

En los sistemas de pozos profundos, el uso más frecuente que se le da a las subestaciones eléctricas, es el de transformar la alta tensión que proporciona la compañía suministradora, a tensiones adecuadas de utilización en los equipos electromecánico-hidráulico bombeo.

Generalmente, las subestaciones que más se emplean en los sistemas electromecánicos-hidráulicos, son las denominadas: Subestaciones Reductoras Tipo Industrial.

Clasificación de las subestaciones Eléctricas tipo industrial

Subestación compacta: también llamadas unitarias. En estas subestaciones el equipo que las integra se encuentra protegido por un gabinete donde el espacio necesario es muy reducido. Se construyen para servicio interior y para servicio exterior.

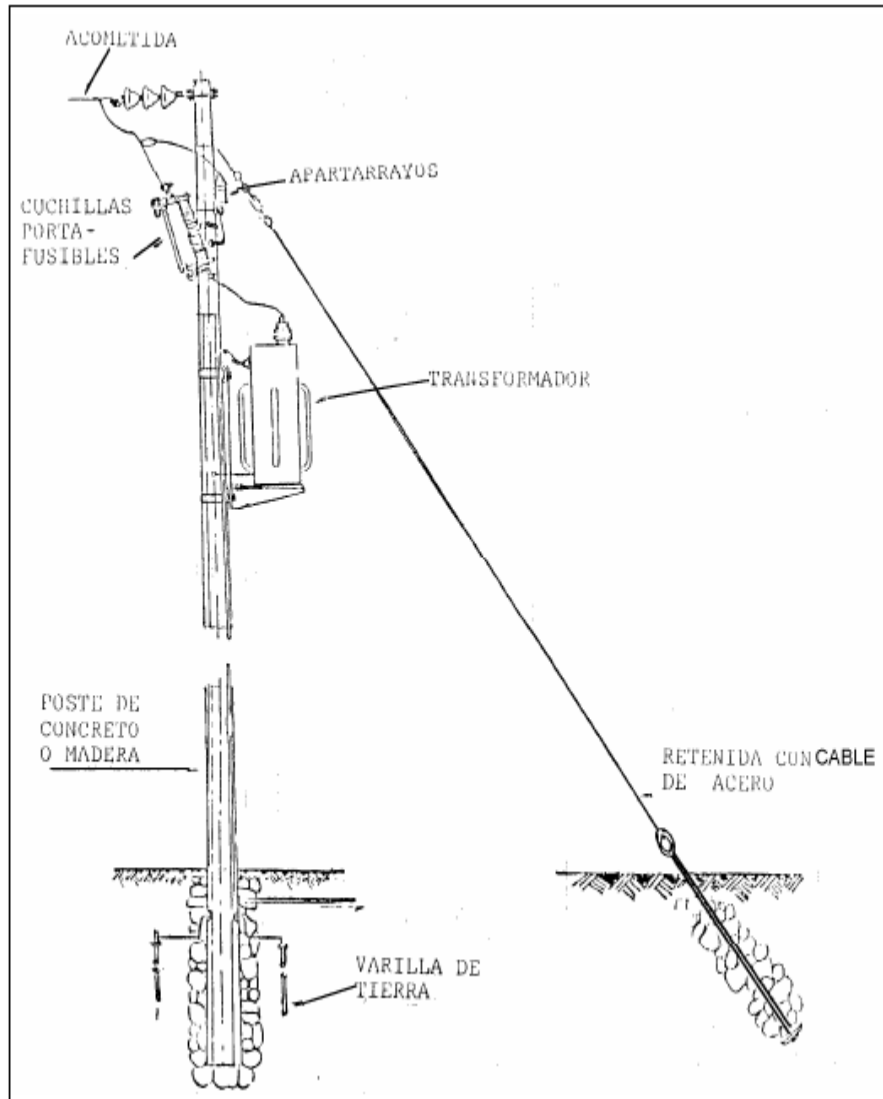
Subestación convencional: también llamadas abiertas. El equipo que integra este tipo de subestación, se instala en bases o en postes de concreto o madera, con herrajes de hierro galvanizado o con madera y se protegen con un cerco de malla de alambre. Normalmente se construyen del tipo intemperie, aunque también se pueden usar para servicio interior. Sus formas típicas de construcción son: en uno, en dos postes, y en base de concreto a nivel de piso.

Elementos constitutivos de una subestación:

- Elementos principales:
 - Apartarrayos
 - Cuchillas desconectadoras
 - Cuchillas portafusibles
 - Interruptor en aceite
 - Transformador
 - Capacitores
 - Tableros
 - Transformadores de instrumentos
 - Sistema de tierras

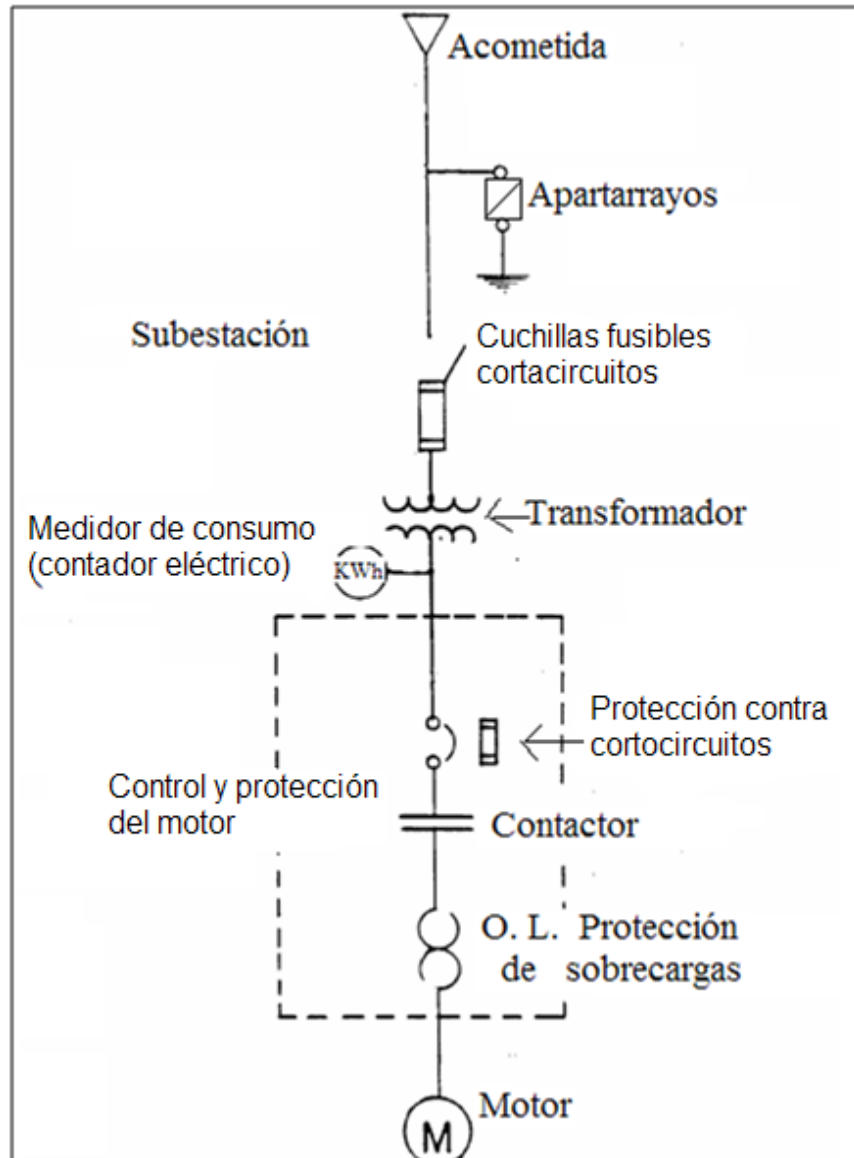
- Elementos secundarios:
 - Cables de potencia
 - Cables de control
 - Alumbrado
 - Estructura
 - Herrajes
 - Equipo contra incendio

Figura 15. Subestación eléctrica tipo rural en poste



Fuente: *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento*. p. 7.

Figura 16. Diagrama unifilar de una pequeña subestación



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint 2007.

4.3. Panel de arranque

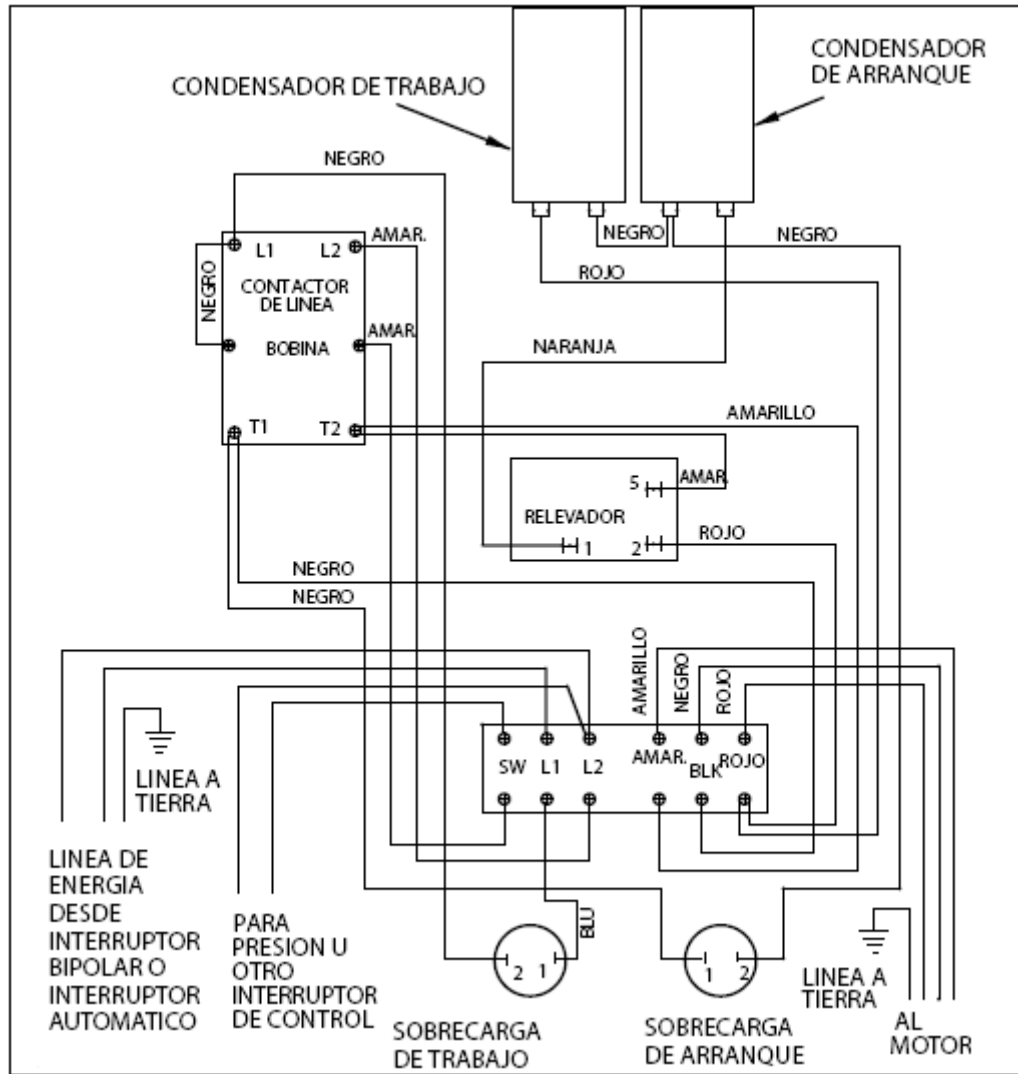
Los paneles de arranque los hay monofásico como trifásico y se exponen a continuación

4.3.1. Panel monofásico

El panel monofásico es un caso en especial, constituido por una serie de elementos como capacitores de arranque como de trabajo, un contactor, un relevador, protector de sobrecarga y de cortocircuito (flipón), y una bornera en cual se realizan las conexiones.

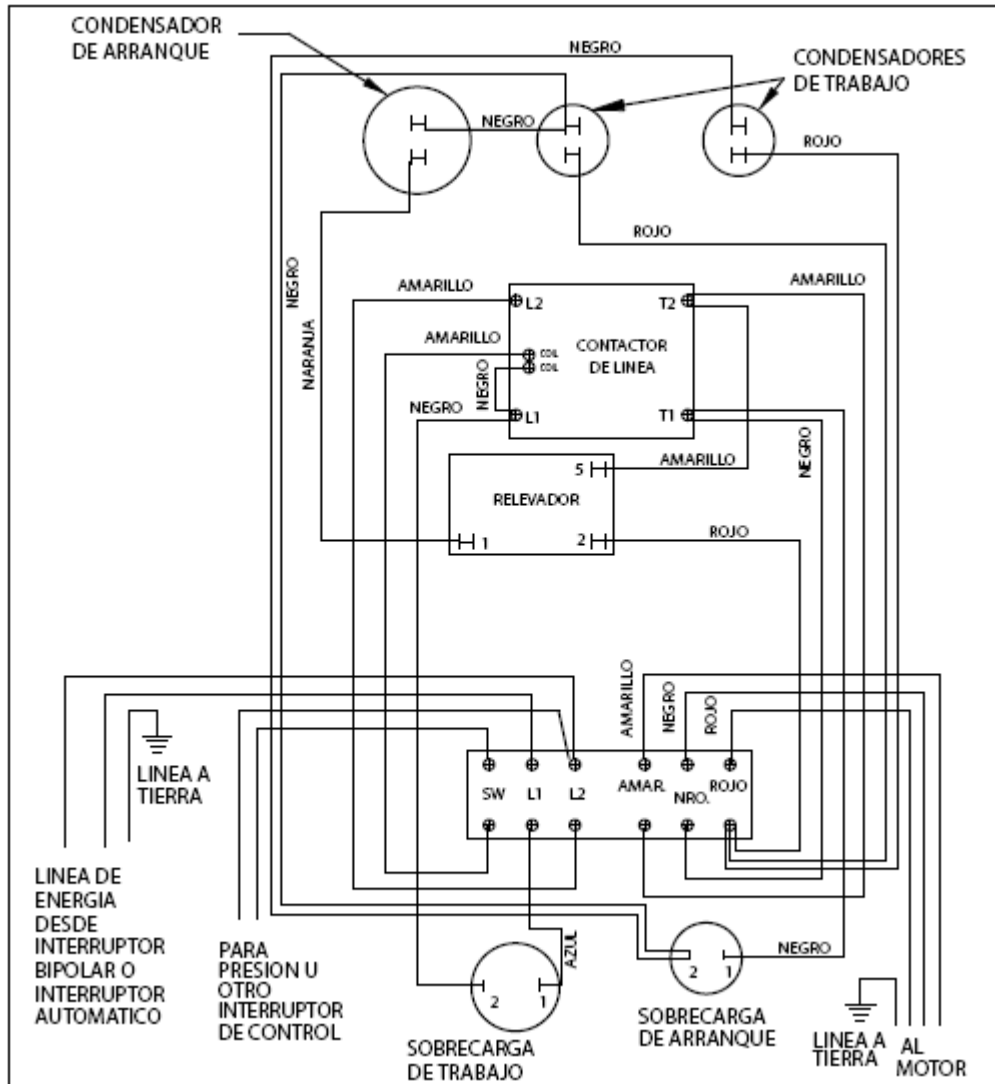
El panel de arranque viene armado de fábrica, solo hay paneles normales, y paneles de lujo. En este capítulo se exponen los de lujo, que son aquellos que incluyen el contactor y su diagrama de conexión. Los paneles normales no colocan el contactor.

Figura 17. Diagrama de conexión de panel de arranque para motor de 3 HP sumergible



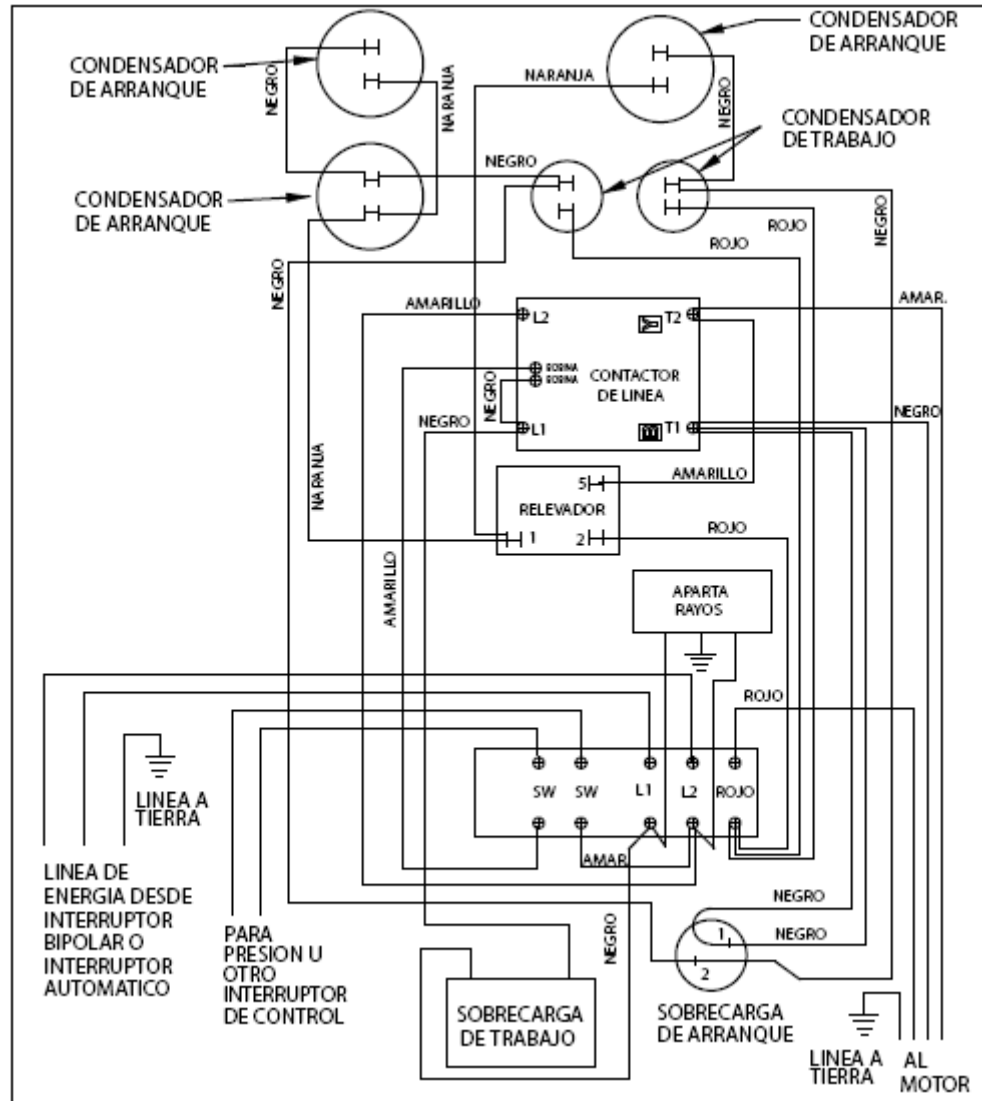
Fuente: Franklin Electric, Manual de motores electricos sumergibles. p. 52.

Figura 18. Diagrama de conexión de panel de arranque para motor de 5 HP sumergible



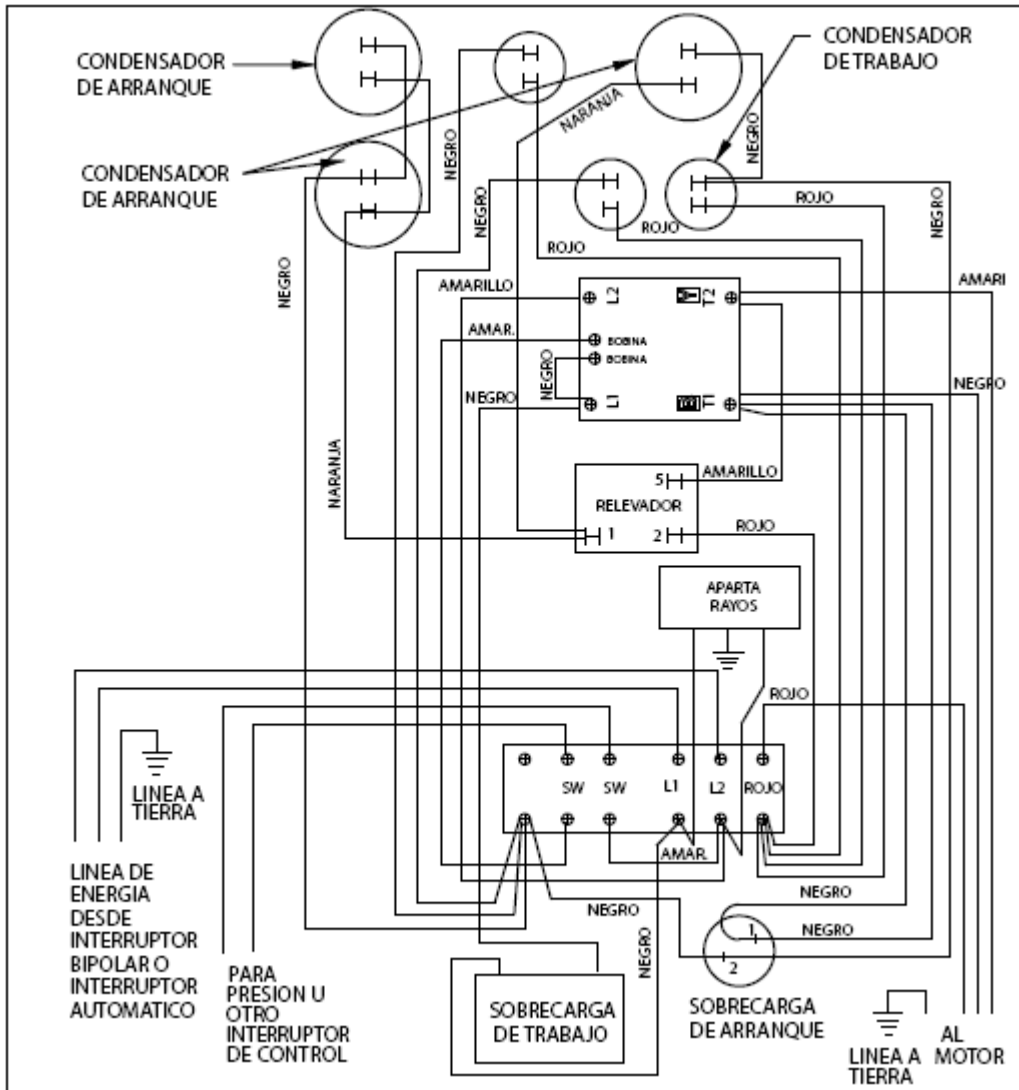
Fuente: Franklin Electric, Manual de motores eléctricos sumergibles. p. 53.

Figura 19. Diagrama de conexión de panel de arranque para motor de 10 HP sumergible



Fuente: Franklin Electric, Manual de motores eléctricos sumergibles. p. 54.

Figura 20. Diagrama de conexión de panel de arranque para motor de 15 HP sumergible



Fuente: Franklin Electric, Manual de motores eléctricos sumergibles. p. 55.

4.3.2. Panel trifásico

Los arrancadores magnéticos trifásicos tienen dos circuitos diferentes: un circuito de fuerza y un circuito de control.

El circuito de fuerza cuenta con un interruptor automático o interruptor de línea tipo fusible, contactos y térmicos de sobrecarga conectados a las líneas de energía de entrada L1, L2, L3, que van al motor trifásico.

L1, L2 y L3 es el voltaje de alimentación al motor, teniendo la misma lectura de voltaje entre ellos mismos ejemplo: $L1-L2 = L1-L3 = L2-L3$.

- Controles de voltaje externos

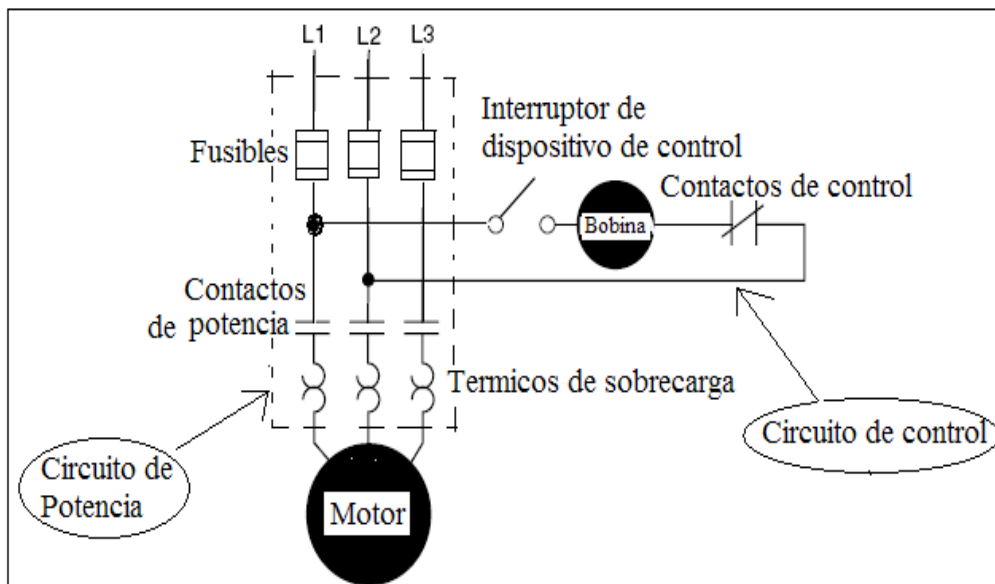
El control de un circuito de energía para un voltaje más bajo en el circuito también se puede obtener conectándolo a una fuente independiente de control de voltaje. La capacidad de la bobina debe coincidir con la fuente de control de voltaje, tal como 115 o 24 voltios (para dispositivos especiales y con especificaciones en placa del dispositivo de control).

El circuito de control cuenta con bobina magnética, contactos de sobrecarga y un dispositivo de control como el interruptor de presión. Cuando los contactos del dispositivo de control están cerrados, la corriente pasa por la bobina del contactor magnético, los contactos se cierran y la energía se aplica al motor. Los interruptores automáticos, los temporizadores de arranque, los controles de nivel y otros dispositivos de control, también se pueden encontrar en serie en el circuito de control.

- Control de la línea de voltaje

Este es el tipo de control más común. Si la bobina es conectada directamente a las líneas de energía L1 y L2, la bobina debe coincidir con el voltaje de la línea.

Figura 21. **Diagrama básico de una instalación de un motor trifásico sumergible**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint 2007.

4.4. Interruptores

Los interruptores son dispositivos de protección y desconexión de circuitos eléctricos. El voltaje, la corriente y el servicio (ligero o pesado) determinan la robustez o tamaño del interruptor.

Los interruptores más usados en los sistemas de pozos profundos son:

- De navajas con fusibles

Son interruptores que operan térmicamente, con listones fusibles desechables al pasar a través de ellos corrientes de cortocircuito. Combinan las funciones de detección de fallas de cortocircuito e interrupción; no son ajustables y su operación es relativamente lenta a valores moderados de sobrecorriente.

- Termomagnético

Son interruptores diseñados para proteger las instalaciones contra las corrientes excesivas de sobrecarga y cortocircuito que se presenten. Cuentan con dos elementos de disparo: uno térmico, y otro magnético. Cuando se produce una sobrecorriente debido a sobrecargas sostenidas, el elemento térmico se calienta y se efectúa el disparo; cuando la sobrecorriente es instantánea y de alto valor, tal como ocurre en un cortocircuito, actúa el elemento magnético produciéndose el disparo. Estos dispositivos tienen la ventaja sobre el de navajas con fusibles, en que son reusables mediante un sistema de restablecimiento y ajustables los rangos de protección.

Figura 22. **Interruptor termomagnético**



Fuente: *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento*. p. 28.

4.5. Protección al equipo

La protección es indispensable para cualquier equipo porque con ello se pueden evitar daños muy peligrosos, entre las protecciones que pueden mencionarse están: sobrecarga, cortocircuito, rayos, por agotamiento del pozo y guardanivel.

4.5.1. Sobrecarga

Esta protección se pone en operación cuando existe aumento de temperatura que supera a la normal programada. Llamadas protecciones térmicas que están diseñadas para operar a cierto límite de corriente que provoque un aumento de temperatura y que reduzca el tiempo de vida del motor.

4.5.2. Cortocircuito

Este elemento está constituido por los elementos de interruptores descritos con anterioridad.

4.5.3. Rayos

Las tormentas eléctricas afectan bastante cuando se utiliza corriente eléctrica, estas traen consigo rayos o descargas atmosféricas que producen excesivas corrientes, que pueden afectar toda la instalación eléctrica, desde quemaduras de los dispositivos de panel, como también puede quemar el motor sumergible estando aun instalado en el pozo.

4.5.4. Agotamiento del pozo

Es una de las protecciones esenciales entre las cuales se pueden mencionar: guardanivel, submonitor que se describirá más adelante, y por la línea de aire. El guardanivel muestra señales que, si existe agua alrededor del equipo sumergible al igual la línea de aire, dice cuánto se tiene de agua.

4.5.5. Guardanivel

Su función es asegurar que la bomba no trabaje abajo de la sumergencia mínima requerida, o peor aún, que trabaje en seco. La operación del guardanivel, en esencia, es la siguiente: después de un buen tiempo de estar suspendido el bombeo, el nivel del agua estará arriba del electrodo alto. Esto hace que la conductividad del agua (por los minerales en suspensión) cortocircuite los electrodos, los cuales accionarán un relé en el guardanivel, cuya incorporación en el circuito de control del motor, permitirá que la bomba pueda ponerse en marcha.

Al estar bombeando el caudal extraído al tanque o pozo, hará que el nivel del agua descienda. Si por alguna circunstancia, el descenso del agua continúa, y se descubre el electrodo alto, pero el nivel del agua aún está arriba del electrodo bajo, la corriente en el agua seguirá fluyendo a través de los

electrodos bajo y de tierra, y la operación del motor continuará, por lo tanto, el bombeo también.

Si el abatimiento del nivel de la fuente de agua continúa, a tal punto que se descubre el electrodo bajo (cuya altura es ligeramente superior al nivel mínimo de sumergencia requerido por la bomba a un caudal dado), la corriente ya no podrá fluir por el agua, y el relé del guardanivel ordenará la suspensión de la operación del motor, por lo tanto, el bombeo.

Otro elemento es el flotador de mercurio, este dispositivo es utilizado en tanques y en cisternas, pero en pozos profundos nunca debe utilizarse.

Con la suspensión del bombeo, la fuente de agua inicia su recuperación. Si el panel de control del motor está en el modo de re arranque automático, el bombeo iniciará nuevamente al recuperarse la fuente a un cierto nivel. Si durante su recuperación, el agua cubre al electrodo bajo, pero aún no al electrodo alto, el bombeo aún no inicia, sino hasta que el agua cubra también al electrodo alto. Al reiniciar el bombeo, dependiendo de las circunstancias hidráulicas, el ciclo de abatimiento podría repetirse.

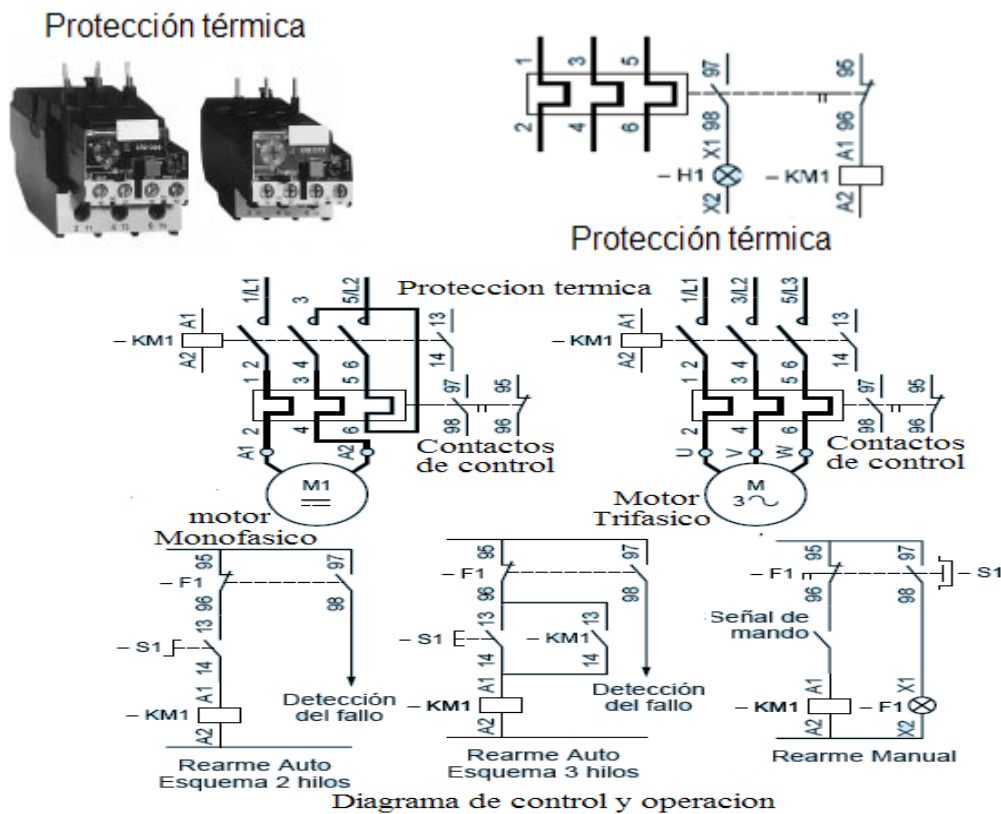
Esta forma de operación del guardanivel en pozos, cuyo envejecimiento ocasiona abatimientos frecuentes, evita los re arranques del motor en tiempos muy cortos, que tanto daño le hacen. Es conveniente tener especial cuidado en la identificación de los electrodos, especialmente en los pozos profundos; pues, en muchos casos los re arranques intermitentes repetidos del motor son ocasionados por una mala identificación de los electrodos, y no por abatimientos frecuentes.

4.6. Diagrama operacional de los mencionados

- Sobrecarga

Consiste en un aumento de la temperatura del motor cuando está en operación, este activa sus contactos de control que son normalmente 95 y 96 y son cerrados. Al presentarse este incremento se convierten en contactos abiertos, lo que conlleva a desactivar o desenergizar al equipo sumergible. De lo anterior se desarrollan diagramas de conexionado de una protección por sobrecarga

Figura 23. Conexiones y forma de operar la protección por sobrecarga

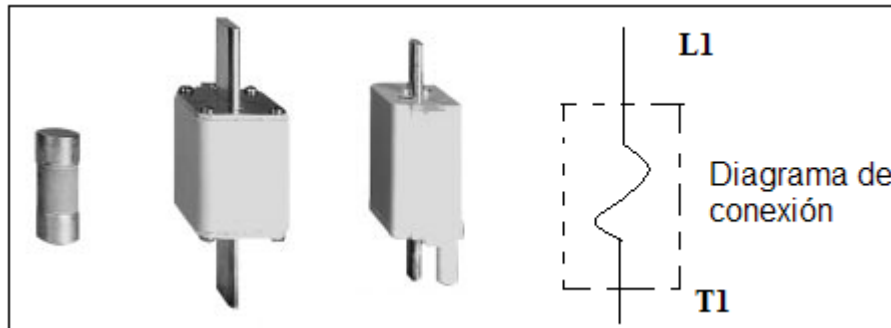


Fuente: *Manual electrotécnico telesquemario*. p. 18.

- Cortocircuito

Este tipo de protección opera, como su nombre lo dice, ante un cortocircuito contacto entre dos líneas de la misma cantidad de voltios, como se muestra en la figura 24:

Figura 24. **Fusibles y diagrama de conexión**

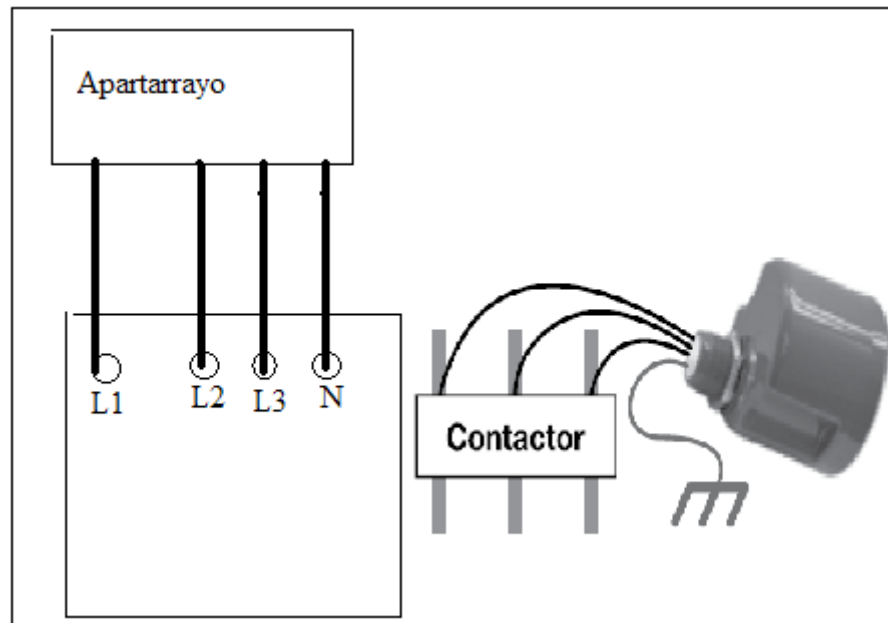


Fuente: *Manual electrotécnico telemecanique*. p. 12.

- Por rayos

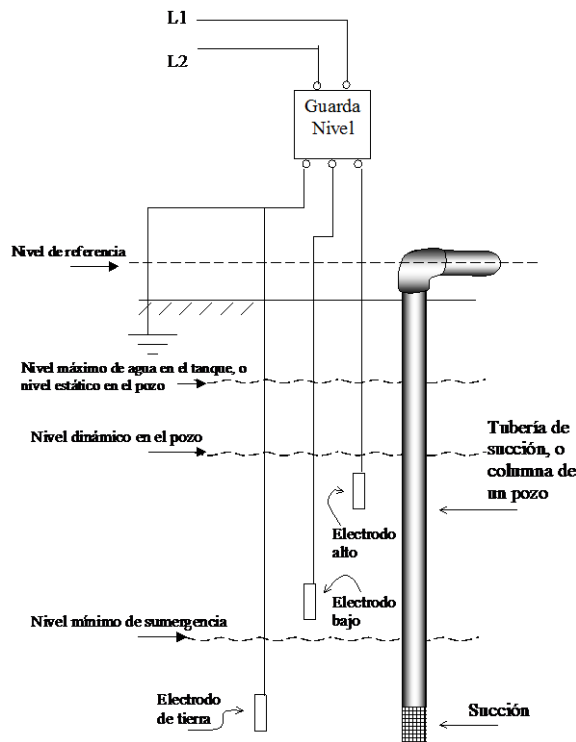
La forma de operar de este dispositivo es, si se presenta una descarga atmosférica, este estalla produciendo una desconexión del equipo de la alimentación.

Figura 25. **Apartarrayo básico utilizado en paneles en pozos profundos**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint 2007.

Figura 26. Diagrama de conexión básico de un guardanivel



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Paint 2007.

4.7. Submonitor

Es un dispositivo de protección programable para motores sumergibles trifásicos (para monofásicos se utiliza otro dispositivo).

Las características del submonitor le proporcionan las siguientes protecciones avanzadas para motores sumergibles:

- El submonitor 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 amperios. No requiere transformadores de corriente externos.
- 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 mostrados de 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 un riel u opción empotrable (para montarlo o instalarlo en el panel de control de arranque y protección).
- Unidad totalmente integrada, los transformadores de corriente están incorporados.

El submonitor ha sido preprogramado en fábrica con ajustes predeterminados para motores y bombas sumergibles. El ajuste es establecer los siguientes valores del motor: voltaje, frecuencia y amperaje máximo FS (factor de servicio).

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.

4.7.1. Instalación

- Desconectar como primer paso el suministro eléctrico y verificar que la corriente esté apagada antes de instalar el submonitor.
- Instalar el submonitor como se ilustra en el diagrama (ver figura 28). El submonitor puede montarse por arriba o debajo y fijarlo al riel.
- Conectar los cables de suministro trifásico a las terminales de alimentación al submonitor L1, L2 y L3, como se muestra en la figura 28. La longitud de cable pelado es de 5/16" (8 milímetros). Las conexiones deben hacerse en el lado de línea de los cables que pasan a través de las bobinas sensoras. (Esto es porque la señal de sobrecalentamiento del motor debe pasar primero a través de las bobinas sensoras y luego ir a las terminales de alimentación del submonitor).
- Conectar los cables del circuito de control a las terminales conectoras M1 y M2, donde M1 y M2 son salidas de control del submonitor y los cables

del circuito de señal a las terminales conectoras A1 y A2 (ver figura 28), donde A1 y A2 son salidas a una alarma. Apretar todas las terminales a 4.5 pulgadas-libras e instalar los conectores de clavija en el submonitor (las clavijas tienen cuñas de identificación para evitar conexiones incorrectas).

- Pasar los cables de corriente del motor T1, T2 y T3 (ver figura 28), a través de las bobinas sensoras que están en la unidad base.
- Nota: para un motor de 6 cables con panel de arranque suave con conexión estrella-delta, cada bobina sensora de la unidad base debe rodear un par de cables en la conexión delta, es decir, debe rodear los siguientes pares de cables del motor: T1-T6, T2-T4 y T3-T5. Donde las anteriores son los cables de salida del motor trifásico para su respectiva conexión.
- Como opción, la unidad de pantalla del submonitor es separable y puede montarse en el exterior de la puerta del panel (requiere un pequeño orificio para el acceso del cable de extensión, un empaque y dos orificios para tornillo). Usar el cable de extensión que se proporciona en el kit del modelo premium para conectar la unidad base a la unidad de pantalla.

4.7.2. Programación y opciones programables

En los puntos que se presentan a continuación se describe la navegación: cómo moverse por los dos menús y las diferentes pantallas. Asimismo, cómo cambiar un parámetro.

- En el encendido inicial, el circuito de control estará bloqueado hasta que se especifiquen el voltaje del motor, la fronzación de datos, a la pantalla del submonitor reportará ajustar alto: Amps FS que deberá ser el mismo que aparece en placa del motor. Observar la palabra menú en la esquina inferior derecha (la flecha indica que, oprimiendo la perilla se podrá ir al menú de configuración básica).
- Desde el menú de configuración básica girar y seleccionar motor y oprimir, y se llega a la pantalla de seleccionar motor donde se podrá establecer la frecuencia (Hertz), voltios y el amperaje de factor de servicio. Ajustar el amperaje de FS (SF amps) para que concuerde con el amperaje de FS del motor ajustando cada dígito individualmente.
- Cuando se termine con esta pantalla girar a ok (está en la perilla de selección de menús del submonitor) y oprimir, regresando así al menú de configuración básica.
- Observar que al seleccionar configuración avanzada pasa a un menú más largo con elementos identificados mediante letras. Cuando se esté en una pantalla seleccionada de configuración básica o de configuración avanzada y se desee cambiar un ajuste, hacer lo siguiente:

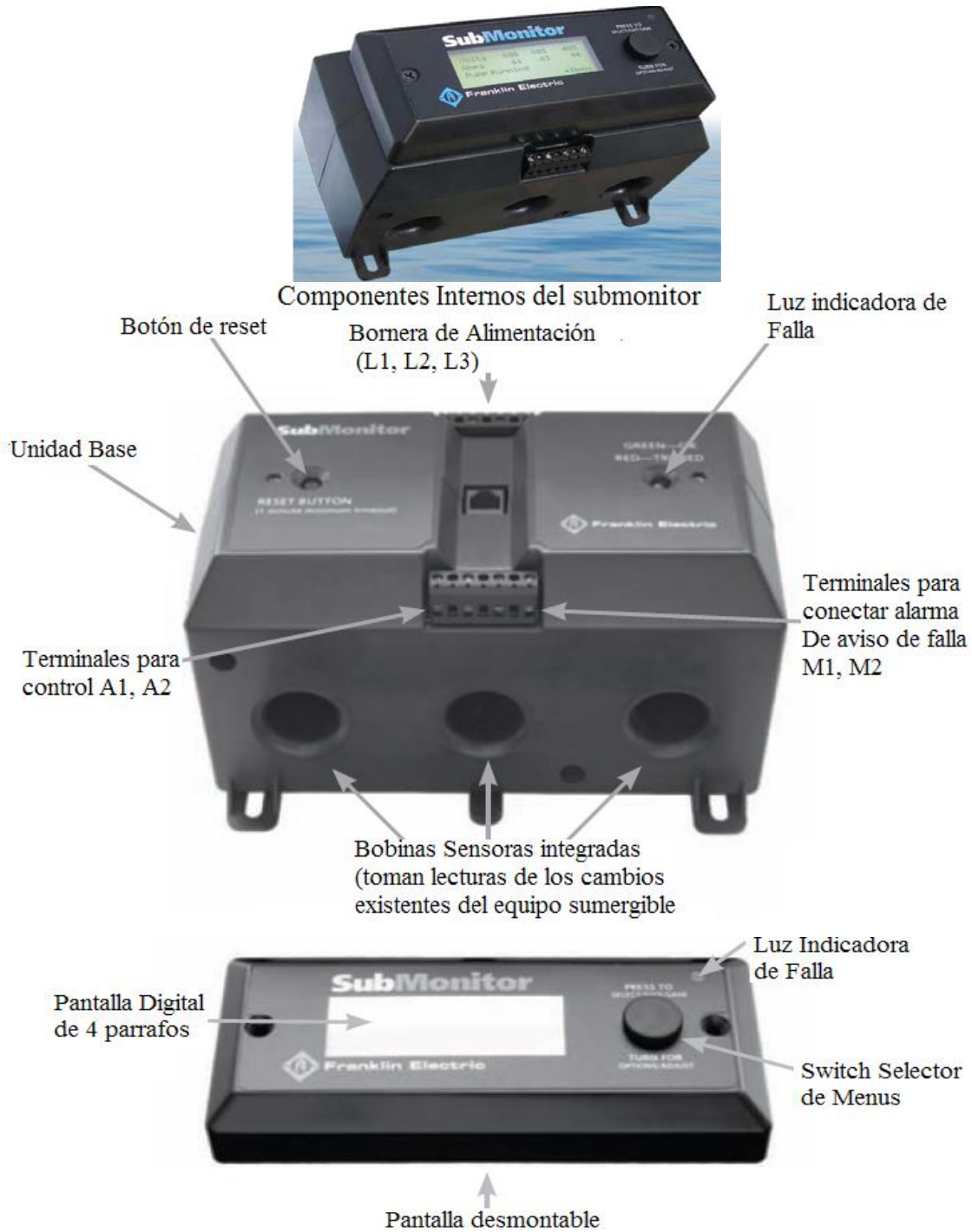
- Girar la perilla hasta que la flecha señale al elemento que se desee cambiar.
- Oprimir la perilla y la flecha parpadeará. Al girar la perilla se podrá cambiar el valor del elemento.
- Cuando el elemento esté ajustado correctamente, oprimir la perilla y la flecha dejará de parpadear.
- Ahora se debe girar la perilla para ir a otro elemento de las pantallas, seleccionando ok se regresa al menú superior.

El submonitor se ajusta para proteger el motor y la bomba y permitirá al motor arrancar cuando su regreso a la pantalla del monitor y seleccionar reinicio manual. Después de cualquier reinicio manual hay una demora de un minuto de apagado antes que el motor arranque.

Observar que el circuito de señal y el led rojo de falla están encendidos hasta que se introduzcan los datos del motor y se ha oprimido reinicio manual.

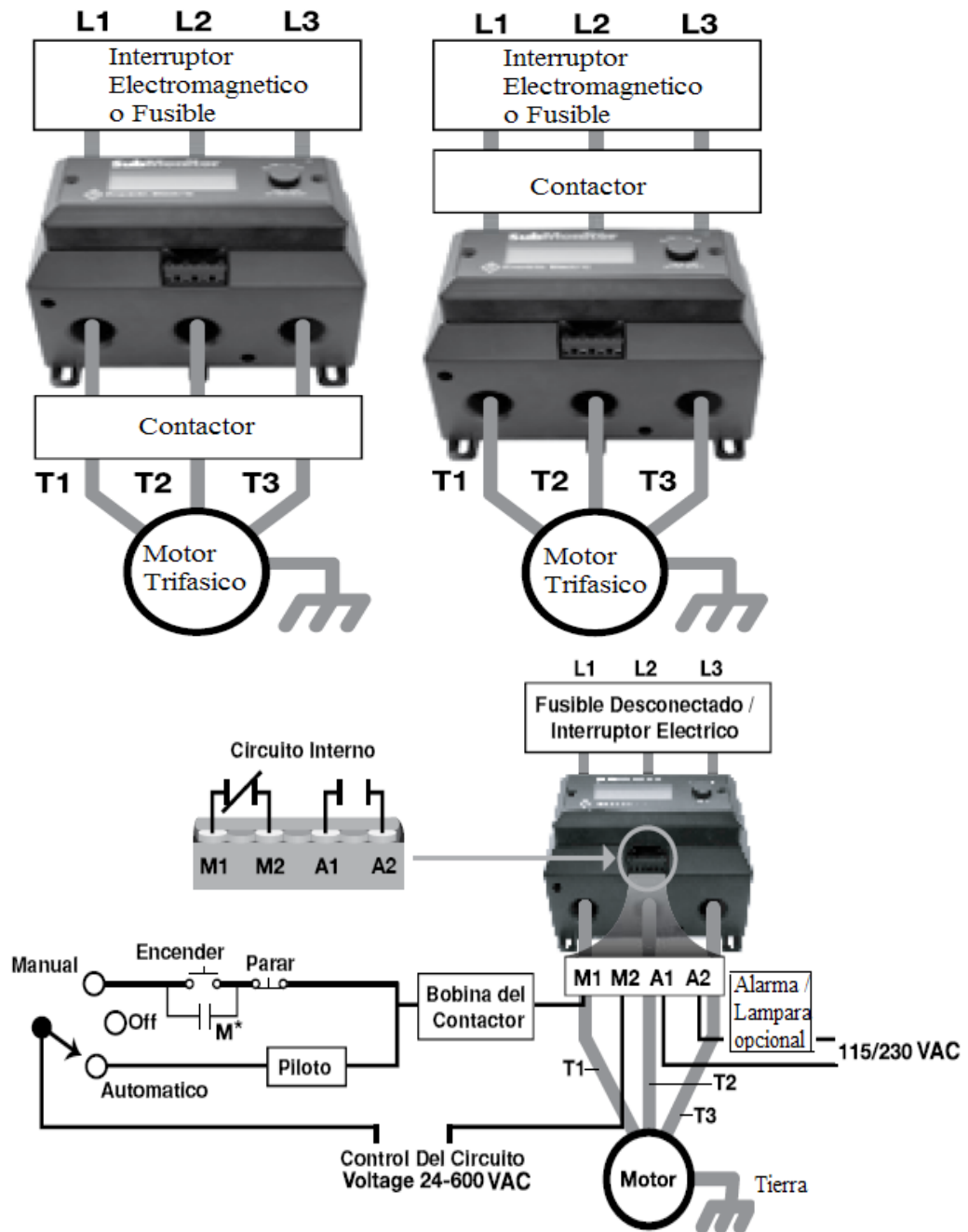
Inversión de fases: el submonitor tiene un medidor de secuencia de fases incorporado. Si en el encendido inicial aparece el mensaje fases invertidas, el voltaje entrante en las terminales L1, L2 y L3 del monitor están en secuencia negativa y el contactor está bloqueado hasta que se corrija la secuencia de las fases. Se deberá proporcionar una rotación apropiada del motor con el voltaje de línea en secuencia positivo.

Figura 27. **Submonitor**



Fuente: *Manual submonitor*. p. 24.

Figura 28. Diagrama de conexión y de control del submonitor



Fuente: *Manual submonitor*. p. 25.

4.7.3. Guía para detección y solución de fallas

Tabla demostrativa en el cual se presentan en posibles fallas como su respectiva solución y su respectiva causa.

Tabla II. **Guía de detección y solución de fallas**

Mensaje de falla	Problema/ condición	Causa posible
Ajuste alto : Amps FS (<i>SF Amps Set Too High</i>)	Ajuste de amperaje de factor de servicio arriba de 350 amperes	No se introdujo el amperaje de factor de servicio del motor
Fases Invertidas (<i>Phase reversal</i>)	La Secuencia de Fases de Voltaje Entrante está invertida	Problema del suministro eléctrico
Sobre rango (<i>Overrange</i>)	El Voltaje y la corriente real exceden a los valores seleccionados del Motor	Rangos seleccionados de voltaje o FSA incorrectos
		Voltaje de línea o consumo de corriente del motor excesivamente altos
Baja carga (<i>Underload</i>)	Corriente de línea normal	Ajuste incorrecto de amperes máximos de FS
	Corriente de línea baja	Abatimiento del pozo
		Entrada de la bomba tapada
		Válvula cerrada
		Impulsor de la bomba flojo
		Eje o acoplamiento roto
Pérdida de fase		
Sobrecarga (<i>Overload</i>)	Corriente de línea normal	Ajuste incorrecto de amperes máximos de FS
	Corriente de línea alta	Voltaje de línea alto o bajo
		Falla a tierra
		Arrastre del motor o bomba
		Motor viejo o bomba trabada

Continuación de la tabla II.

Alta temperatura (<i>Overheat</i>)	El sensor de temperatura del motor ha detectado una temperatura excesivamente alta en el motor.	Voltaje de línea alto o bajo.
		Motor sobrecargado.
		Desbalance excesivo de corriente.
		Enfriamiento deficiente del motor.
		Alta temperatura del agua.
		Ruido eléctrico excesivo.
Desbalance (<i>Unbalance</i>)	par de líneas excede el ajuste programado.	Transformador delta abierto.
Alto voltaje (<i>Overvoltage</i>)	El voltaje de línea excede el ajuste programado.	Suministro eléctrico inestable.
Bajo voltaje (<i>Undervoltage</i>)	El voltaje de la línea está por debajo del ajuste programado.	Malas conexiones en el circuito de alimentación del motor.
		Suministro eléctrico inestable o débil.
Falsos contactos (<i>False starts</i>)	El suministro eléctrico se ha interrumpido demasiadas veces en un período de 10 segundos.	Contactos falsos.
		Conexiones flojas en el circuito de alimentación del motor.
		Contactos que hacen arco de corriente.

Fuente: elaboración propia.

4.8. Arrancadores en rampa

Todos los motores sumergibles trifásicos son ideales para arranque a voltaje pleno. Bajo esta condición, la velocidad del motor empieza desde cero hasta alcanzar su velocidad máxima en medio segundo o menos. La corriente de carga empieza desde cero hasta alcanzar el amperaje del rotor bloqueado, luego baja el amperaje de operación a velocidad plena. Esto puede atenuar las luces, causar una depresión momentánea de voltaje en otro equipo eléctrico y choque de carga en los transformadores de distribución de energía.

Las compañías de energía (vendedoras de energía eléctrica), exigen de arrancadores de voltaje reducido, para limitar estas caídas de voltaje. En

ocasiones también es necesario reducir la torsión de arranque del motor, ya que disminuye la tensión en los ejes, coples, como también en la tubería de descarga. Los arrancadores de voltaje reducido, también reducen la aceleración inmediata del agua, en el inicio, para controlar el empuje axial y el golpe de ariete.

Los arrancadores de voltaje reducido no serán requeridos, si se usa la longitud máxima del cable recomendada. Con la longitud máxima de cable recomendada, hay un 5 por ciento de disminución de voltaje en el cable, y habrá un 20 por ciento de reducción de corriente en el arranque y 36 por ciento de reducción en la torsión de arranque comparado con el voltaje nominal del motor. Esto puede ser una reducción suficiente de corriente de arranque de modo que ya no se requieran los arrancadores de voltaje reducido.

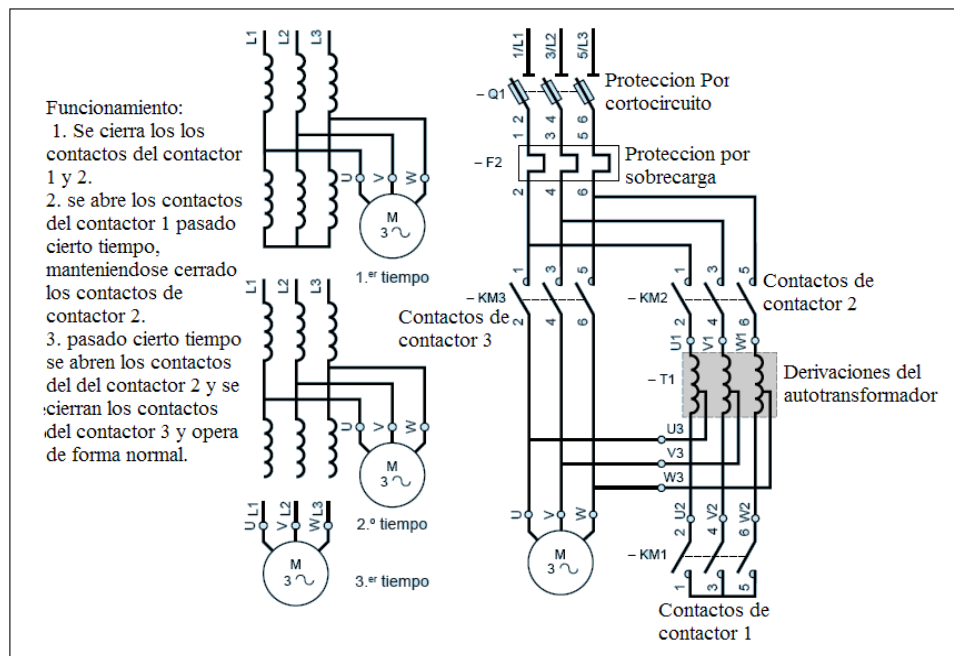
Cuando se usan los arrancadores de voltaje reducido, se recomienda suministrar al motor el 55 por ciento del voltaje nominal para asegurar una torsión de arranque adecuada. La mayoría de los arrancadores de autotransformador tienen derivaciones de 65 y 80 por ciento. El ajuste de las derivaciones en estos arrancadores depende del porcentaje de la longitud máxima del cable permisible que se usa en el sistema. Si la longitud del cable es menor del 50 por ciento del máximo permisible, se pueden usar las derivaciones de 65 u 85 por ciento. Cuando la longitud del cable es mayor al 50 por ciento del permisible, se debe usar una derivación de 80 por ciento.

Motores de 6 hilos: los arrancadores delta-estrella se usan para los motores delta-estrella de 6 hilos. Todos los motores trifásicos de 6 y 8 pulgadas están disponibles en construcción delta-estrella de 6 hilos. Los arrancadores de voltaje reducido tienen retrasos de tiempo ajustables para el arranque, por lo general están preestablecidos a 30 segundos. Deben ajustarse de modo que el

motor alcance el voltaje pleno en tres segundos máximo para prevenir desgaste radial y del cojinete de empuje excesivo.

Si se usa el submonitor, el tiempo de aceleración debe ponerse a dos segundos máximo debido al tiempo de reacción de tres segundos del submonitor.

Figura 29. **Conexión por autotransformador utilizado en arranque suave para pozo profundo**



Fuente: *Manual electrotécnico telesquemario*. p. 55.

4.9. Equipo de medición utilizado

- Mediciones eléctricas

Utiliza dispositivos para monitorear voltajes, amperajes así como equipo de protección de seguridad.

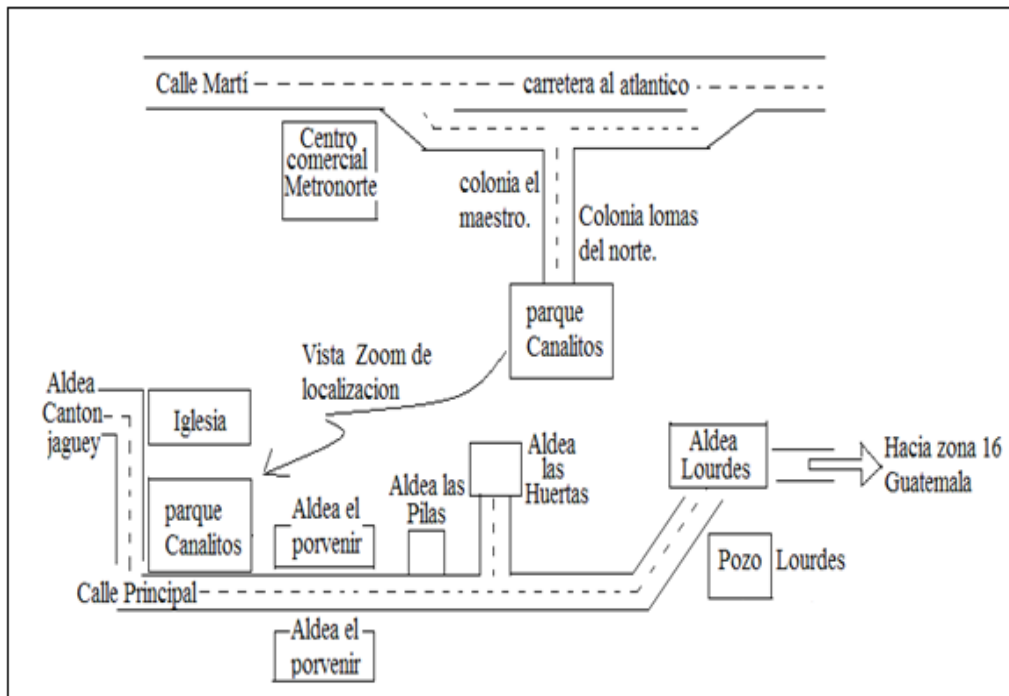
- Multímetro: monitorea el voltaje, amperaje,
 - Megger: mide la resistencia de aislamiento cuando se va instalando el equipo sumergible.
- Manómetro: mide la presión en el sistema.

5. DISEÑO Y CÁLCULO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO-HIDRÁULICO Y APLICACIÓN DEL EQUIPO SUBMONITOR, PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ALDEA LOURDES ZONA 24 GUATEMALA

5.1. Ubicación geográfica del pozo

Lourdes es una de las aldeas que conforman a Canalitos, zona 24 de la ciudad de Guatemala, se encuentra a 30 minutos de la ciudad. La empresa municipal de agua, Empagua, no le suministra agua potable por las condiciones topográficas para llevar este vital líquido, ya que la empresa municipal de agua tiene su pozo en la aldea el Porvenir y no se da abasto para cumplir con las necesidades de toda la zona 24 (Canalitos). Los pobladores de la aldea Lourdes realizaron su propio pozo mecánico para abastecerse de agua potable, cuya ubicación se muestra en la figura 30. Con esto es necesario realizar un diseño que cumpla con los requerimientos técnicos, ya que efectuando mediciones en cuanto al nivel estático como el dinámico, se notó que están realmente muy bajos y muy deficiente el pozo, por lo que se debe operar y controlar de una forma adecuada. La aplicación del submonitor es que este controlará mejor la operación del mismo y dará mayor tiempo de vida útil del equipo electromecánico-hidráulico, con ello se realizarán boletas para llevar el control del equipo y calendarizar los mantenimientos necesarios para que sus pobladores siempre estén con este líquido vital al nivel de sus necesidades.

Figura 30. **Localización del pozo aldea Lourdes**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint 2007.

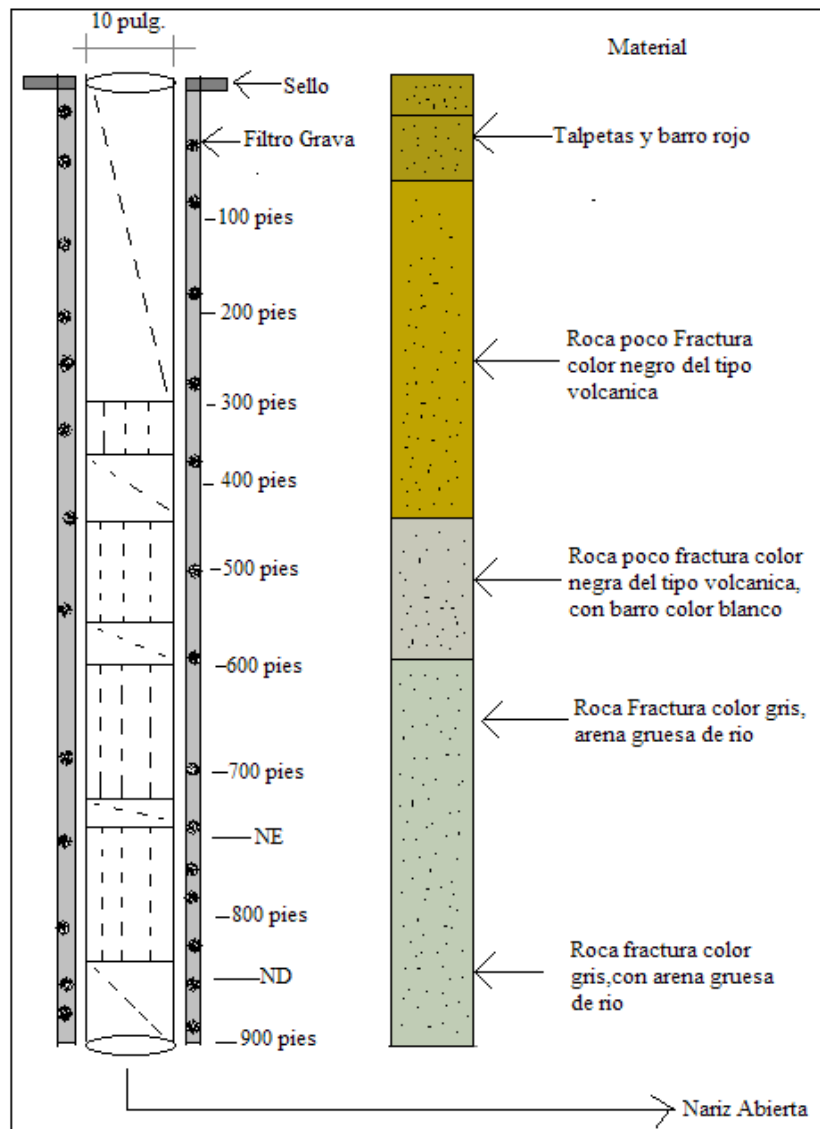
5.2. Características litológicas del pozo

Nombre de la estación de bombeo: pozo aldea Lourdes. Ubicación: aldea Lourdes, Canalitos zona 24, Guatemala

- Datos el pozo: según perforador
- Diámetro: 10 pulgadas
- Profundidad: 900 pies
- Nivel estático (NE): 750 pies
- Nivel dinámico (ND): 860 pies
- Producción: 30 Galones por minuto GPM
- Temperatura del agua: 20 Grados centígrados

- Total tubería ranurada: 450 pies
- Total de tubería: 900 pies
- Método de perforación: rotativa

Figura 31. Perfil litológico del pozo aldea Lourdes



Fuente: elaboración propia, basado en el perfil del pozo de aldea Lourdes, con programa de Microsoft Paint 2007.

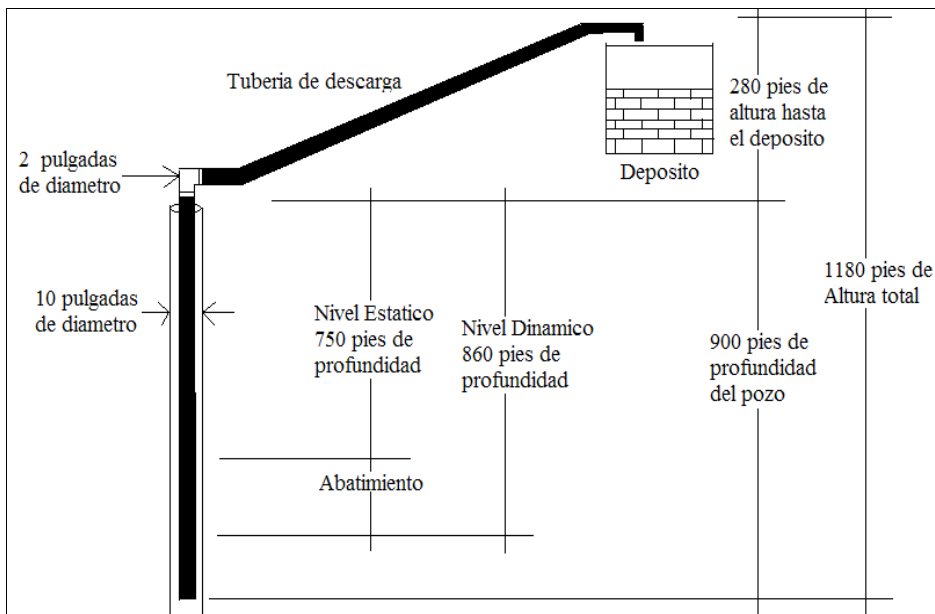
5.3. Características de perforación

El pozo fue perforado por la empresa DAHO Pozos en 1995. En los perfiles litológicos dejaron constancia que los niveles de agua están a las mismas alturas mencionadas.

Inicialmente el pozo daba abastecimiento directamente a todos los pobladores, pero con el paso del tiempo se fue reduciendo el nivel de agua, lo que conllevó a realizar modificaciones al sistema.

Así fue que los pobladores decidieron realizar un depósito elevado que llenan con el agua del pozo y, que este conduciría el agua potable por gravedad a todos los usuarios. Este conjunto se muestra con la figura 32.

Figura 32. Características para diseño de equipo sumergible

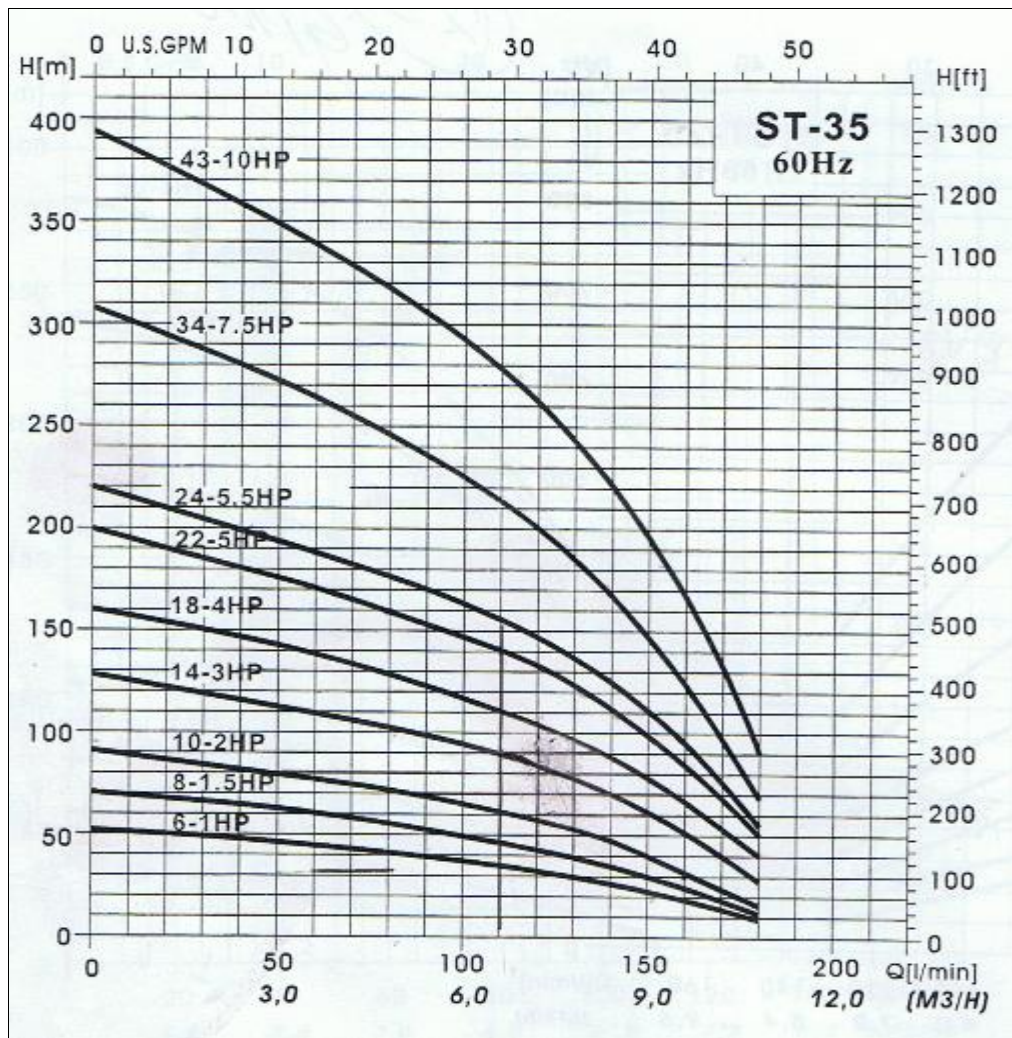


Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint 2007.

5.4. Cálculo de bomba y motor sumergible

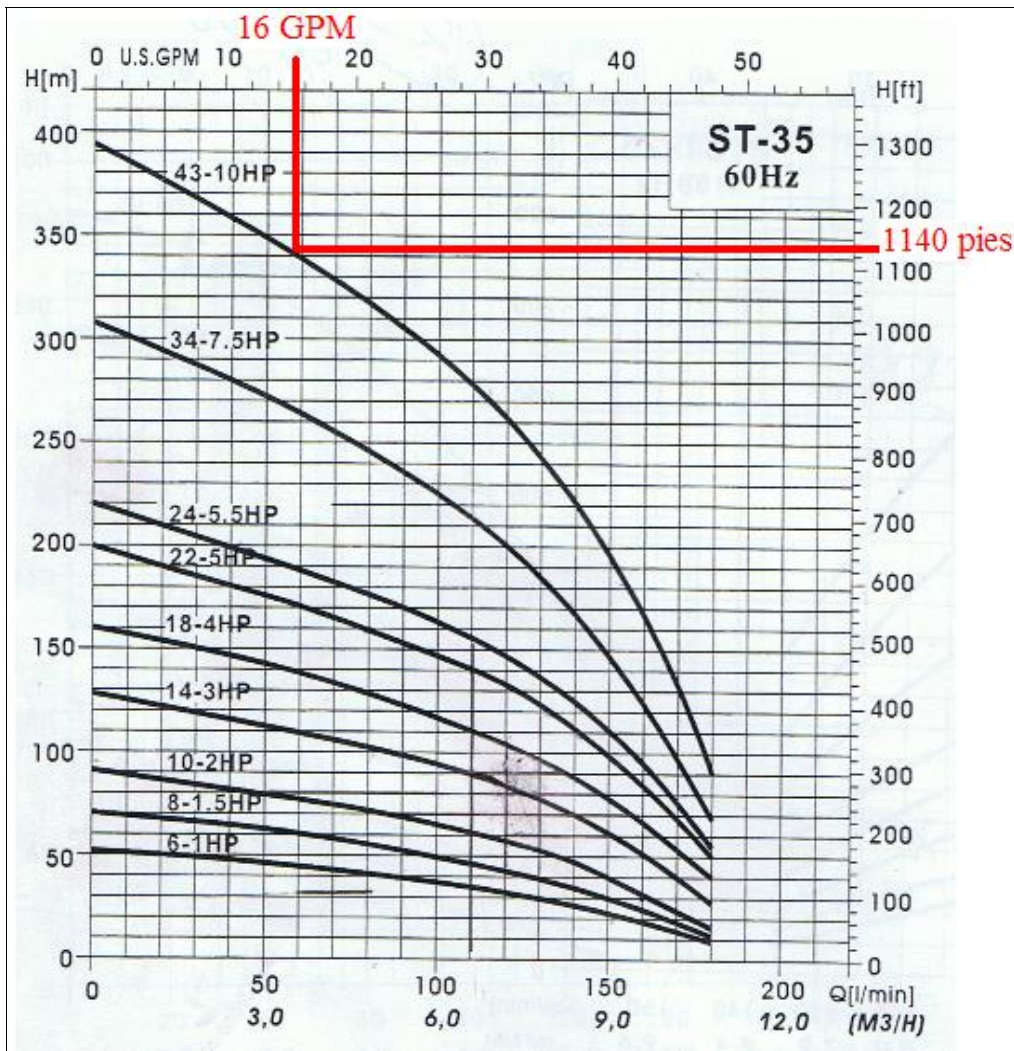
- Diámetro: 10 pulgadas
- Profundidad: 900 pies
- Nivel estático: 750 pies
- Nivel dinámico 860 pies

Figura 33. Curva bomba marca Apec- pump 35 galones



Fuente: Manual de curvas Apec- pump. p. 15.

Figura 34. Cálculo de bomba

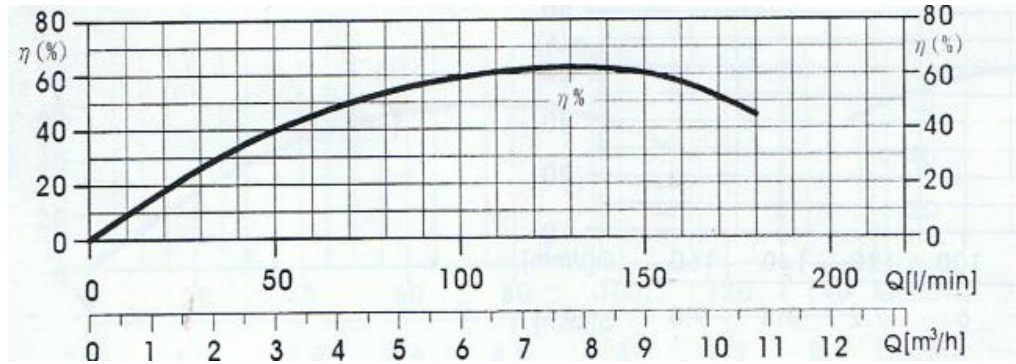


Fuente: Manual de curvas Apec Pump bombas sumergibles 4" serie ST. p.15.

La figura 34 resalta: 860 pies + 280 pies a que está el depósito = 1 140 pies de altura, es una bomba de acero inoxidable + impulsores de plástico.

La curva ya toma en consideración las pérdidas por fricción de las tuberías y por accesorios, estos son llaves de compuerta, cheques, codos, entre otros.

Figura 35. **Máxima eficiencia de la bomba seleccionada**



Fuente: *Manual de curvas Apec Pump bombas sumergibles 4" serie ST.* p. 15.

Figura 36. **Característica de la bomba propuesta**

TABLA DE SELECCIÓN																				
MODELO BOMBA	ETAPAS	Motor		Q = CAUDAL															BOMBA	
				l/min 0	35	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	250		
		KW	HP	m³/h 0	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	12	15	LARGO (mm)	PESO (kg)
H = ALTURA MANOMÉTRICA																				
ST-3506	6	0.75	1.0	52				44	43	42	40	38	33	27	18	9			359	3.4
ST-3508	8	1.10	1.5	70				60	58	55	52	50	43	35	24	12			421	4.0
ST-3510	10	1.5	2.0	91				77	75	72	69	65	58	48	32	17			483	4.6
ST-3514	14	2.2	3.0	128				109	106	102	99	94	83	70	51	29			607	5.7
ST-3518	18	3.0	4.0	160				139	133	129	123	117	104	89	67	40			731	6.9
ST-3522	22	3.7	5.0	200				170	165	159	152	147	132	111	84	50			893	8.1
ST-3524	24	4.0	5.5	220				189	182	177	170	162	148	125	95	55			955	8.7
ST-3534	34	5.5	7.5	308				263	255	246	236	225	200	167	122	69			1257	11.6
ST-3543	43	7.5	10	394				339	328	317	305	292	261	220	167	90			1318	14.2

TABLA DE SELECCIÓN																				
MODELO BOMBA	ETAPAS	Motor		Q = CAUDAL															BOMBA	
				l/min 0	35	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	250		
		KW	HP	m³/h 0	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	12	15	LARGO (mm)	PESO (kg)
H = ALTURA MANOMÉTRICA																				
ST-3506	6	0.75	1.0	52				44	43	42	40	38	33	27	18	9			359	3.4
ST-3508	8	1.10	1.5	70				60	58	55	52	50	43	35	24	12			421	4.0
ST-3510	10	1.5	2.0	91				77	75	72	69	65	58	48	32	17			483	4.6
ST-3514	14	2.2	3.0	128				109	106	102	99	94	83	70	51	29			607	5.7
ST-3518	18	3.0	4.0	160				139	133	129	123	117	104	89	67	40			731	6.9
ST-3522	22	3.7	5.0	200				170	165	159	152	147	132	111	84	50			893	8.1
ST-3524	24	4.0	5.5	220				189	182	177	170	162	148	125	95	55			955	8.7
ST-3534	34	5.5	7.5	308				263	255	246	236	225	200	167	122	69			1257	11.6
ST-3543	43	7.5	10	394				339	328	317	305	292	261	220	167	90			1318	14.2

Fuente: *Manual de curvas Apec Pump bombas sumergibles 4" serie ST.* p. 15.

La bomba es una Apec-Pump modelo ST-3543, 35 GPM con 43 etapas de impulsores de plástico, como se especifica en la figura 36.

- Cálculos matemáticos de selección de bomba sumergible:

Potencia al freno:

$$\text{potencia al freno} = \frac{Q \times \text{CDT}}{3\,960} \text{ (Hp)}$$

Donde:

Q = en GPM (16GPM)

CDT = en pies

Potencia al freno = en HP

Se tiene los accesorios siguientes:

- 2 cheques verticales de 2 pulgadas
- 1 válvula de compuerta
- 44 tubos de 2 pulgadas usados
- 1 codo a 90° de 2 pulgadas

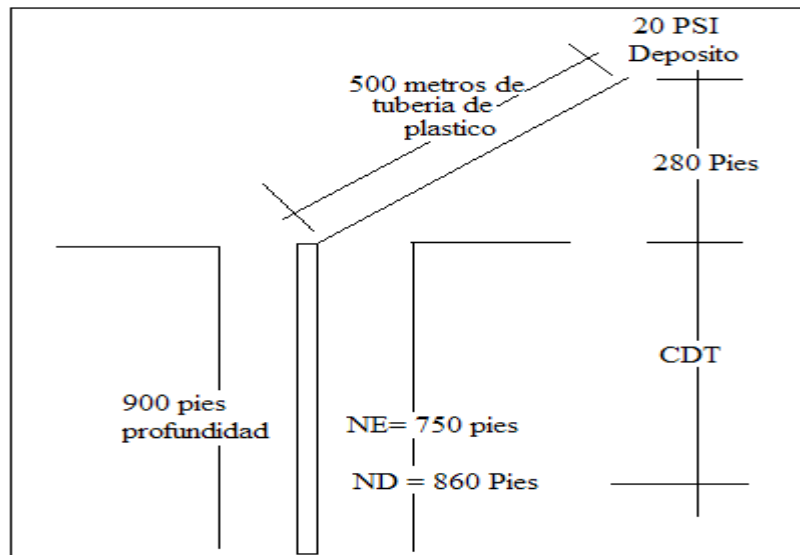
Tabla III. Pérdidas por fricción de accesorios dados en pies

CANTIDAD EQUIVALENTE DE PIES DE TUBERÍA RECTA PARA ACCESORIOS DIFERENTES

Tamaño de los accesorios, pulgadas	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
Codo en L de 90°	1.5	2.0	2.7	3.5	4.3	5.5	6.5	8.0	10.0	14.0	15	20	25
Codo en L de 45°	0.8	1.0	1.3	1.7	2.0	2.5	3.0	3.8	5.0	6.3	7.1	9.4	12
Codo en L abierto	1.0	1.4	1.7	2.3	2.7	3.5	4.2	5.2	7.0	9.0	11.0	14.0	
Curva en U estrecha	3.6	5.0	6.0	8.3	10.0	13.0	15.0	18.0	24.0	31.0	37.0	39.0	
Perfil T de paso recto	1	2	2	3	3	4	5						
Perfil T – entrada o salida lateral o adaptador sin depresión	3.3	4.5	5.7	7.6	9.0	12.0	14.0	17.0	22.0	27.0	31.0	40.0	
Válvula de bola o de globo abierta	17.0	22.0	27.0	36.0	43.0	55.0	67.0	82.0	110.0	140.0	160.0	220.0	
Válvula angular abierta	8.4	12.0	15.0	18.0	22.0	28.0	33.0	42.0	58.0	70.0	83.0	110.0	
Válvula de compuerta – completamente abierta	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.3	2.9	3.5	4.5	
Válvula de retención (a bisagra)	4	5	7	9	11	13	16	20	26	33	39	52	65
Válvula de retención en línea (a resorte) o válvula de aspiración	4	6	8	12	14	19	23	32	43	58			

Fuente: *Manual Guolds Pump*. p. 20.

Figura 37. Cálculo de CDT



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint 2007.

- Cálculo del CDT (carga dinámica total)

Pérdidas de fricción en accesorios. (Ver tabla II, pág. 109)

Tabla IV. **Cantidad de accesorios con su respectiva pérdida por fricción**

2 cheques = válvula de retención (a resorte) de 2 pulgadas	38 pies
1 válvula de compuerta, de 2 pulgadas	1,2 pies
Codo a 90°, de 2 pulgadas	5,5 pies
Total de accesorios en pies	44,7 pies
Total de accesorios en metros (1 metro = 3,28 pies)	13,63 metros
500 m tubería de plástico desde el pozo hasta el depósito	1 640 pies
Presión de 20 PSI, (1PSI = 2,31 pies)	46,2 pies 14,01 metros
Altura del pozo hasta el depósito	280 pies 85,37 metros

Fuente: elaboración propia.

- Ecuación de Hazen Williams

$$H_f = \frac{10,643}{\phi^{4,87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85} \times L$$

Donde:

H_f = pérdidas en tubería

\emptyset = diámetro de tubería dada en metros

Q = caudal en m³/s

C = constante y es una característica del material del tubo

C = 100 tubo de HG

C = 150 tubo de plástico o PVC

L = distancia de tubería

Introduciendo los valores en la ecuación se tiene:

$$H_f = \frac{10,643}{0,0508 \text{ metros}^{4,87}} \left(\frac{0,001008 \text{ m}^3/\text{s}}{150} \right)^{1,85} \\ \times \left(500 \text{ mts} + \left(280 \text{ pies} \times \frac{1 \text{ mts}}{3,28 \text{ pies}} \right) \right) \\ + \left(20 \text{ PSI} \times \frac{2,31 \text{ pies}}{1 \text{ PSI}} \times \frac{1 \text{ mts}}{3,28 \text{ pies}} \right) + = 3,451 \text{ metros}$$

Entonces la carga dinámica total es:

- Cálculo del CDT en metros:

CDT: altura hasta el depósito + nivel dinámico + pérdidas por accesorios
+ pérdidas por tuberías (H_f) + por presión PSI

CDT = 85,37 metros + 262,19 metros + 13,63 metros + 3,451 metros
+ 14,08 metros = 378,72 metros, (378,72 x 3.28) = 1 242,2 pies

- Potencia al freno

$$\text{Potencia al freno} = \frac{Q \times \text{CDT}}{3\,960} \text{ HP}$$

Donde:

Q = en GPM (16 GPM)

CDT = en pies

- Potencia al freno = en HP

$$\text{potencia al freno} = \frac{16 \text{ GPM} \times 1\,242,2 \text{ Pies}}{3\,960} = 5,02 \text{ HP}$$

- Potencia de motor (potencia de bomba)

Donde:

ρ = densidad del agua 1 000 kg/m³

η = eficiencia de la bomba (ver figura 35) = 0.62 (62%)

CDT= carga dinámica total (en metros) = 378,72 metros

Q = caudal a explotar. En metros cúbicos m³/s = 0,001008 m³/s

$$P = \frac{\rho \times Q \times \text{CDT}}{75 \times \eta} \text{ (cv)}$$

$$P = \frac{1\,000 \text{ kg/m}^3 \times 0,001008 \text{ m}^3/\text{s} \times 378,72 \text{ metros}}{75 \times 0,62}$$

$$P = 8,21 \text{ CV}$$

$$1 \text{ CV} = 0,986 \text{ HP}$$

$$8,21 \text{ CV} \times \frac{0,986 \text{ hp}}{1 \text{ CV}} = 8,1 \text{ HP}$$

Colocar una bomba de 10 HP.

Corroborando en la curva de bomba Apec Pump, concuerda una bomba de 10 HP bomba con impulsores de plástico, estas vienen diseñadas así de fábrica.

- Selección del motor

Así como se determina una bomba de 10 HP, el motor también debe ser de esa misma potencia. Las condiciones en esa aldea es que antiguamente se tenía un motor de 15 HP y se le hicieron sus mediciones correspondientes (explicadas en el capítulo 2), se notó que el motor se puede utilizar y corroborando con los transformadores que existen en el brocal del pozo que son 3 de 10 kilovatios suman 30kilovatios, comparando con las tablas del fabricante será lo siguiente:

Figura 38. **Capacidad del transformador**

CAPACIDAD DEL MOTOR		KVA TOTAL EFECTIVO REQUERIDO	CAPACIDAD MINIMA EN KVA DE CADA TRANSFORMADOR	
HP	KW		WYE ABIERTO O DELTA CON 2 TRANSFORMADORES	WYE CERRADO O DELTA CON 3- TRANSFORMADORES
1.5	1.1	3	2	1
2	1.5	4	2	1.5
3	2.2	5	3	2
5	3.7	7.5	5	3
7.5	5.5	10	7.5	5
10	7.5	15	10	5
15	11	20	15	7.5
20	15	25	15	10
25	18.5	30	20	10
30	22	40	25	15
40	30	50	30	20
50	37	60	35	20
60	45	75	40	25
75	55	90	50	30
100	75	120	65	40
125	90	150	85	50
150	110	175	100	60
175	130	200	115	70
200	150	230	130	75

Fuente: *Manual de Franklin Electric*. p. 4.

Se observa que los transformadores pueden utilizar un motor hasta de 25 HP de potencia.

- Cálculo de cable de alimentación al motor

Especificaciones de placa de motor

- Motor trifásico
- 10 HP
- 460 voltios
- 60Hz
- Amperaje a rotor bloqueado 116 amperios

	Amperios	Watts
Amperios a plena carga	15,9	10 000
Amperaje máxima Carga (F.S)	17,3	11 400

Según fórmula (2-9) por caída de tensión

$$A_{mm^2} = \frac{(I_N \times \sqrt{3} \times d)}{V \times K \times \%_{regulación}} (mm^2)$$

$$I_{conductor} = I_{FL} \times 1,25 \text{ Amperios}$$

I_{FL} = corriente a plena carga

1,25 es condición en el arranque del motor

$$I_{conductor} = 15,9 \times 1,25 = 19,875 \text{ Amperios}$$

Por corriente: conductor #12 THHN

Por caída de tensión:

Para d = 900 pies

$$900 \text{ pies} \times \frac{1 \text{ metro}}{3,28 \text{ pies}} = 274,4 \text{ metros}$$

$$A_{mm^2} = \frac{(19,875 \times \sqrt{3} \times 274,4)}{460 \times 57 \times 0,05} = 7,21 mm^2$$

Según tabla de conductores esta área corresponde a un conductor # 8
THHN

$$\left. \begin{array}{l} \text{Calibre 10} = 5,26 \text{ mm}^2 \\ \text{Calibre 8} = 8,37 \text{ mm}^2 \\ \text{Calibre 6} = 13,30 \text{ mm}^2 \\ \text{Calibre 4} = 21,15 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \text{Según tabla de sección de conductores (Ver apéndice)}$$

Para calibre # 8

$$d = \frac{8,37 \times 460 \times 57 \times 0,05}{19,875 \times 1,73} = 318,76 \text{ metros}$$

$$318,76 \text{ metros} \times \frac{3,28 \text{ pies}}{1 \text{ metro}} = 1045,53 \text{ pies}$$

El conductor # 8 se podrá utilizar hasta una profundidad de 1 045,53 pies.
Como el pozo tiene 900 pies de profundidad, se recomienda un calibre
número 8

Entonces: 900 pies de cable sumergible 3X8 AWG THHN O THWN.

Haciendo una comparación con la tabla (ver apéndice) muestra la
distancia máxima para varios motores trifásicos que la da el fabricante del
motor.

- Por corriente
 - El motor opera 15 horas continuas diarias (factor de corrección = 0,8)
 - Temperatura del pozo aproximadamente 32 grados centígrados (Factor corrección = 0,94)
 - Número de conductores (factor de corrección = 1,00)
 - Material del tubo (factor de corrección = 1,00)

- Por corriente

$$I_T = \frac{I_N}{F_{TA} \times F_{NC} \times F_{MT} \times F_{SC}} = \frac{19,875}{0,8 \times 0,94 \times 1 \times 1} = 26,45 \text{ Amp}$$

Viendo en tabla de conductores, se observa que se usa el calibre # 12 (ver apéndice).

Es crítico por caída de tensión.

Se usó: 900 pies de cable sumergible 3X8 AWG THHN o THWN.

También se puede utilizar la tabla propuesta en apéndice, donde está el calibre de conductor y las distancias máximas que se pueden usar, solamente para motores trifásicos 460 voltios 3 hilos.

- Instalación del submonitor y condiciones instaladas:
 - Condiciones para el óptimo desempeño del equipo electromecánico-hidráulico.

Descripción:

Se programó de la siguiente manera:

- Amperaje según placa del Motor (15,9 amperios a plena carga)
- 60 Hz
- Voltaje, se colocó 460 voltios
- Contraseña se colocó la siguiente “555”
- Se cambió el idioma de inglés al español

Tabla V. **Condiciones de programación de submonitor**

Alta carga 25% ± conforme trabaja el equipo	Las condiciones programadas, el equipo se suspenderá durante 1 hora después que suceda alguna de las fallas mencionadas.
Baja carga 25%± conforme trabaja el equipo	
Alto voltaje 10%± el voltaje nominal	
Bajo voltaje 10%± el voltaje nominal	
Por desbalance 10%	

Fuente: *Manual de submonitor*. p. 15.

- Por calentamiento 40 grados centígrados , suspender el equipo durante 20 minutos
- Otros arranques (apagones, atrancamiento de la bomba, ruptura de tubería)
 - Reinicios
 - Por calentamiento (3 reinicios)
 - Por falsos contactos (2 reinicios)

Si se supera lo anterior en reinicios, el submonitor se bloquea y suspende la operación del equipo sumergible.

- Tiempo de espera: cuando se acciona el interruptor (flipón) o arrancador se colocó 30 segundos de espera para encender el equipo.
- Retardador 15 minutos para emergencia.

Forma de operar el equipo sumergible:

Este tipo de bomba se encuentra sumergida; y es necesario realizar ciertas acciones y revisiones, antes de arrancar el equipo de bombeo.

Pasos para arrancar el equipo:

- Accionar el interruptor a la posición de conectado.
- Verificar en el voltímetro, operando el selector de fases, la existencia de voltaje entre las tres fases (460 voltios). Este instrumento se encuentra, generalmente, instalado en el gabinete del arrancador. Ver en la pantalla digital del submonitor.
- En el arrancador: revisión visual de conexiones, alambrado y aislamiento. Inspección visual del estado de los cables de fuerza.
- Medir el nivel del agua (nivel estático) mediante la línea de aire y anotar en bitácora.
- Si se cuenta con medidor de gasto, anotar la lectura indicada en el totalizador.
- Oprimir el botón de arranque del arrancador.
- Verificar en el amperímetro, que el amperaje demandado por el motor sea el correcto. Dado que el motor se encuentra sumergido, es deseable que los valores nominales de amperaje del motor se encuentren

disponibles en la estación de bombeo, para ser comparados con los valores medidos durante la operación.

- Medir el nivel del agua (nivel dinámico) en la línea de aire.
- Mantener limpio los controles y el área circundante de los equipos (mientras este apagado el motor sumergible).
- Anotar la hora de inicio del bombeo.
- Anotar lo realizado en la libreta de registro (bitácora).

Pasos para parar el equipo:

- Oprimir el botón de paro del arrancador.
- Si se cuenta con medidor de gasto, anotar la lectura indicada en el totalizador.
- Anotar la hora de paro del equipo de bombeo.
- Anotar lo realizado en la libreta de registro (bitácora).

5.5. Condiciones de instalaciones eléctricas

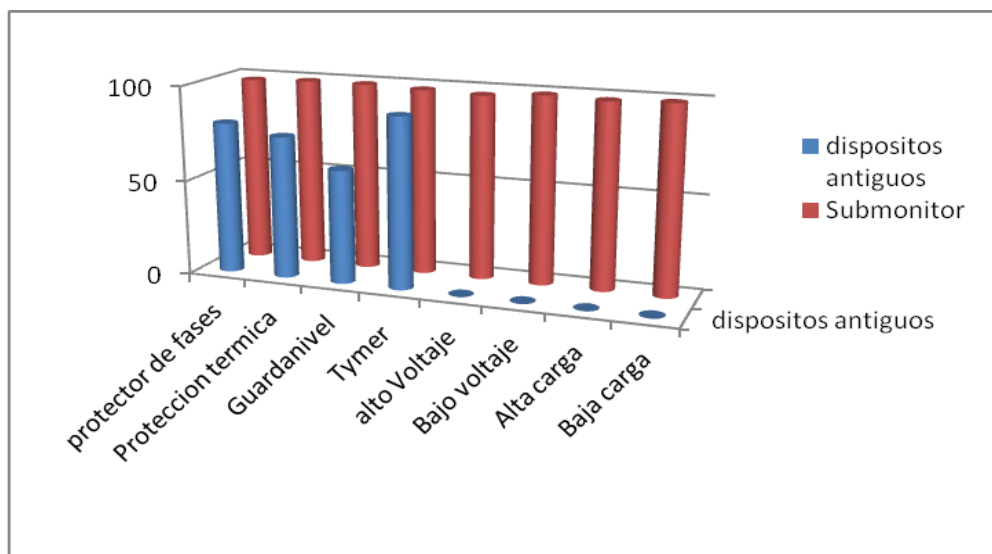
En el pozo de aldea Lourdes se tiene una instalación trifásica de 460 voltios, que es alimentada por una subestación aérea de 3 transformadores de 10 Kilovatios sumando 30 Kilovatios.

5.6. Comparación submonitor versus elementos de protección anterior

La aplicación del submonitor en la localidad del pozo, es debido a que existe una alimentación trifásica, las instalaciones anteriores ya no cumplían con los requerimientos, porque presentaban muchas anomalías, lo que llevó a que el motor sumergible se quemara y se dañara la bomba, las anomalías se

debieron a que los componentes como línea de aire no tenía, los electrodos del guardanivel no tenía los protectores de sobrecarga, no estaban en el rango adecuado y por esas causas se les comentó de las mejoras que podían tener con la aplicación del submonitor para el pozo mostrándoles, lo que es capaz de realizar el submonitor, que a su vez, se les iba a diseñar un equipo que cumpliera con las necesidades.

Figura 39. **Gráfica de comparación del submonitor con los dispositivos antiguos**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Paint 2007.

5.7. Ventajas y desventajas de utilización del submonitor

Ventajas de operación del submonitor

- Existe submonitor comercial y el submonitor de luxe, la diferencia entre ambos es que: el de luxe trae consigo puertos que puede adaptarse a la computadora e imprimir los eventos sucedidos, en cambio el comercial no tiene esa posibilidad de imprimir y mostrar los resultados obtenidos, con ello se realizan boletas para llevar el control de lo sucedido.
- Controla y monitorea el funcionamiento del equipo.
- Muestra qué tipo de falla se ha producido.
- Se puede imprimir todos los eventos producidos en el día.
- Puede controlar varias funciones a la vez, como bajo y alto voltaje, sobrecarga, desbalance de líneas, por otros arranque (en los que se pueden mencionar: apagones o suspensión de la corriente eléctrica momentáneamente, por atrancamiento de bomba, y por ruptura de tubería).
- Al momento de fallar con las condiciones de programación, el submonitor hace una comparación, si la falla no se corrige el submonitor se bloquea y para el equipo hasta que personal calificado corrija los elementos de falla.

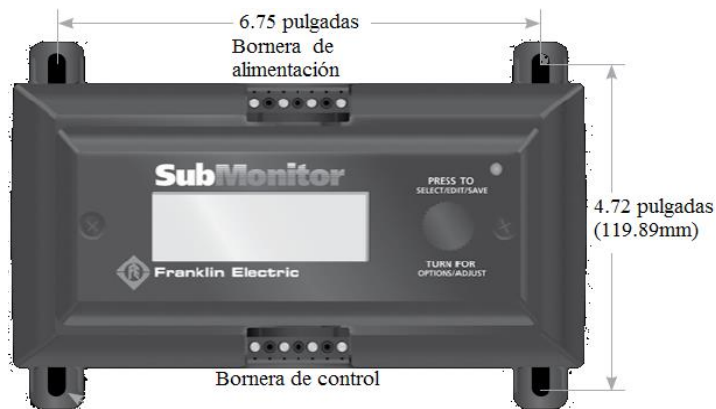
Desventajas

- El submonitor solamente puede operar con corriente trifásica
- El costo: comparando este costo es beneficioso para el que lo utiliza

5.8. Control mejorado en cuanto al manejo del equipo

El submonitor es un dispositivo de protección que resulta muy confiable ante cualquier anomalía o falla, es muy compacto siendo sus medidas las que se muestran en la figura 40.

Figura 40. Dimensiones del submonitor



Mecánicas

Dimensiones (Ancho x Altura x Profundidad)

Unidad Base	8,0" x 5,35" x 4,3" (20,3 x 13,6 x 10,9 cm)
Unidad de Pantalla	7,0" x 3,0" x 1,4" (17,8 x 7,6 x 3,6 cm)
Unidad completa	8,0" x 5,35" x 5,7" (20,3 x 13,6 x 14,5 cm)

Peso

Unidad Base	46 oz (1.3 kg)
Unidad de Pantalla	7 oz (0.2 kg)
Unidad completa	53 oz (1.5 kg)
Rango de Temperatura de Operación	-20 °C to +60 °C
Rango de Temperatura de Almacenamiento	-30 °C to +80 °C
Humedad Relativa	10-95% non-condensing
Clase de Protección	
Unidad de Pantalla	NEMA 3R
Unidad Base	NEMA 1

Fuente: *Manual de submonitor*. p. 37.

5.9. Comparación de economía entre submonitor y protección antigua

Básicamente el costo inicial del submonitor es elevado, pero haciendo un análisis de cuánto se puede optimizar en costos será de gran beneficio para los pobladores de la aldea Lourdes.

Tabla VI. Costo de equipo

Descripción del equipo	Costo
Submonitor (comercial)	Q.5 800,00
Motor sumergible trifásico	Q.13 900,00
Bomba sumergible	Q.14 600,00
Cable sumergible	Q.3 000, 00
Traslado, montaje y desmontaje de herramienta y equipo	Q.1 000,00
Instalación del equipo electromecánico-hidráulico e instalación del submonitor	Q.5 000,00
Desarrollo prueba de bombeo, prueba de limpieza del pozo (10 horas de limpieza).	Q.3 000,00
2 Válvulas <i>check</i> (válvula de retención).	Q.500,00
4 Tubos galvanizados de 2 pulgadas	Q.1 800,00
Total (usando submonitor comercial)	Q.48 600,00

Fuente: elaboración propia.

El costo pudo haber aumentado, se utilizaron algunos dispositivos como el arrancador (contactor), el interruptor o (flipón), tubería galvanizado, tubería que conduce al depósito, llaves de paso.

Los elementos o dispositivos de protección antiguos tendrían un costo evaluable de:

Tabla VII. Costo de dispositivos eléctricos antiguos

Dispositivo	costo
Protector de fases (no tenia incorporado)	Q. 250,00
Protección térmica	Q. 250,00
Guardanivel (no tenia incorporado)	Q. 1 500,00
Tymer (retardador de tiempo)	Q. 250,00
Otros elementos (cables, borneras, terminales etc.)	Q. 250,00
Total	Q. 2 500,00

Fuente: elaboración propia

Submonitor: costo Q.5 800,00

Dispositivos antiguos: costo Q.2 500,00

Relativamente la ventaja en costos es de: Q. 3 300,00

Pero el funcionamiento de operación es realmente distinto.

Submonitor: controla y registra y muestra resultados en una pantalla y muestra cual es la falla generada, comparando con los dispositivos antiguos que no muestra el porqué de la falla.

- Cronograma

Tabla VIII. **Cronograma de instalación**

Cronograma Actividad	Tiempo en días											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Traslado de equipo montaje	■	■										
Compra de bomba, motor, submonitor y demás accesorios (tubos, <i>check</i> , codos)			■									
Instalación del equipo electromecánico				■	■							
Conexión del circuito de control						■						
Limpieza del pozo							■	■				
Prueba de bombeo									■			
Desmontaje de equipo y maquinaria										■	■	
Entrega del proyecto finalizado												■

Fuente: elaboración propia

El tiempo de este cronograma podrá cambiar si no se tiene el financiamiento para la compra del equipo electromecánico-hidráulico.

5.10. Vida útil económica de un pozo

La vida útil de operación, económica tanto del equipo como del pozo vienen determinadas por los mantenimientos, para mejorar el control de suministro a los aldeanos. La forma de programar los mantenimientos para llevar el control del caudal que está explotando y si varía el caudal, hacer una boleta que denote todo lo acontecido por el pozo, y así lograr calendarizar los mantenimientos mencionados en el capítulo 2 y la forma de darle mantenimiento al pozo como al equipo y no hacer un gasto innecesario por no llevar un control del equipo electromecánico-hidráulico.

5.11. Mantenimiento al pozo

Con las características mencionadas durante la elaboración de este trabajo se han indicado pasos y la forma correcta de operar el equipo sumergible.

Al operador del pozo se le recomienda que se les capacite para que lleven un control y manejo del equipo, con ello se puede programar y calendarizar la limpieza al pozo para quitar el sedimento y aplicar la limpieza propuesta en los capítulos anteriores.

CONCLUSIONES

1. El agua subterránea como fuente de abastecimiento es un recurso natural y limitado, y debe ser explotado en forma racional.
2. Para calcular la potencia del conjunto motor-bomba sumergible de un pozo mecánico de agua, es necesario conocer las características hidráulicas del pozo, como: diámetro, profundidad, caudal y carga dinámica total.
3. Para el cálculo de la producción máxima de caudal a extraer se debe tener en cuenta la altura total desde el depósito hasta la profundidad de instalación del equipo, caballos de fuerza de la bomba y las curvas proporcionadas por el fabricante del equipo sumergible se determina cantidad de agua que se extrae del pozo profundo.
4. En cualquier instalación que exista una alimentación trifásica, la aplicación del submonitor permite una protección programable, eficaz y capaz de prolongar la vida útil del equipo electromecánico-hidráulico.
5. El equipo submonitor es utilizable únicamente en motores trifásicos sumergibles y en ningún otro motor trifásico
6. Por seguridad de las personas que se involucran en la instalación o mantenimiento del equipo de bombeo sumergible, se deben seguir las normas de seguridad.

RECOMENDACIONES

1. La limpieza del pozo debe realizarse una vez por año, debido a que algunos minerales que se encuentran disueltos en el agua tienden a desarrollar incrustaciones en la rejilla, lo que obstaculiza la entrada de agua a la succión de la bomba produciendo un menor caudal para extraer.
2. La bomba debe ser instalada en una sección de la camisa de tubería y no en la sección del filtro, para evitar la absorción de sólidos que puedan dañar su funcionamiento.
3. 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.
4. Antes de realizar un tipo de mantenimiento 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 para la seguridad del personal y del equipo sumergible.

5. 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 que es el aforo o prueba de bombeo, para tener un control, de que el equipo instalado esté operando en condiciones óptimas y confiables durante el proceso de bombeo.
6. 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.
7. Las programaciones que se hagan o las que ya vienen en el submonitor nunca son idénticas, porque para cada pozo las condiciones del equipo eléctrico serán diferentes, por lo que deben tomarse muy en cuenta los pasos de programación propuestos en el trabajo de graduación, y que será a consideración del profesional instalador las condiciones eléctricas programadas al equipo sumergible.
8. Para la programación del submonitor debe tenerse en cuenta los datos de placa del motor, si este es de la misma potencia que la bomba.
9. Si el motor es de mayor potencia que la bomba, la programación en el submonitor deberá dejarse con base en las mediciones realizadas en cuanto el amperaje y voltaje, para estar en el rango de protección óptima para la bomba hidráulica, así y como al motor sumergible.

BIBLIOGRAFÍA

1. BEBER, María Rebeca. *Características del agua subterránea y su utilización*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 135 p.
2. FIGUEROA CABALLEROS, Mario René. *Explotación de aguas subterráneas su operación control y mantenimiento*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990. 120 p.
3. HERNÁNDEZ KRAHE, Julio. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. 6a. ed. 1976. 423 p.
4. KREDITANSTAL FUR, Wiederaufbau. Manual: *limpieza, desarrollo y aforo de pozos*. KFW, Guatemala: INFOM, 2001. 50 p.
5. Manual Grundfos Stainless Steel Pumps, For Groundwater applications. EE.UU. 2000. 35. p.
6. MCNAUGHTON, Kenneth. *Selección, uso y mantenimiento de bombas*. México: McGraw Hill, 1992. 123. p.

7. MÉNDEZ BATRES, Facundo Enrique. *Aplicación de variadores de frecuencia y controles lógicos programables en las estaciones de bombeo de Empagua*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2001. 304 p.
8. Motores Sumergibles. *Manual de aplicación, instalación y mantenimiento*. Franklin Electric. EE.UU., 2005. 48. p.
9. VÉLEZ MATHURIN, Juan Carlos. *Óptimo equipamiento de pozos mecánicos para la explotación de agua subterránea de acuerdo a su requerimiento*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 126 p.

APÉNDICE

Boleta No. 1

BOLETA DE DATOS INICIALES DEL POZO

Ubicación del pozo	_____
Perfil litológico	_____
Profundidad del pozo	_____
Diámetro brocal del pozo	_____
Telescopiado	_____
Nivel estático	_____
Nivel dinámico	_____
Nivel de instalación	_____
Fecha de perforación	_____
Inicio de operación	_____
Presión en red	_____
Horario de trabajo	_____

Fuente: elaboración propia.

Boleta No. 2

MONITOREO DE LA PRUEBA DE BOMBEO								
Localidad:						Hoja No.		
Fecha	Tiempo (horas)	Etapa	Nivel dinámico (pies)	Abatimiento	Caudal		H	Observaciones
					L/s	m ³ /h		

Fuente: elaboración propia.

Boleta No. 3

MONITOREO DE LA RECUPERACIÓN DEL POZO				
Localidad:				Hoja No.
Fecha:	Tiempo de recuperación (minutos)	Nivel dinámico (pies)	Abatimiento (pies)	Observaciones

Fuente: elaboración propia.

Boleta 4

REGISTRO DE INSTALACIÓN DEL MOTOR SUMERGIBLE

Motor: _____ Voltaje _____ HP _____ # fases _____ # de hilos _____

Cable: del control al motor _____ pies _____ AWG

Transformadores: KVA _____ #1 _____ #2 _____ #3 _____

Voltaje de entrada:	Sin carga	L1-L2 _____	L2-L3 _____	L1-L3 _____
	Carga total	L1-L2 _____	L2-L3 _____	L1-L3 _____

Amperaje máximo de la carga L1 _____ L2 _____ L3 _____

Panel de dispositivo para fusibles _____ estándar _____ control cortocircuito _____

Submonitor _____ Falla generada _____

Hora de falla _____ fecha _____

Otro dispositivo de control _____

Fuente: elaboración propia.

Sección de conductores

Calibre AWG o MCM	Sección del cobre <i>mm²</i>	Diámetro del conductor milímetros	Suma de las secciones para cada cantidad de conductores				
			1	2	3	4	5
14	2.08	3.43	9.2	18.5	27.7	37.0	46.2
12	3.31	3.91	12.0	24.0	36.0	48.0	60.0
10	5.26	4.52	16.1	32.1	48.1	64.2	80.2
8	8.37	6.10	29.2	58.5	87.7	116.9	146.1
6	13.30	7.82	48.0	96.1	144.1	192.1	240.1
4	21.15	9.04	64.2	128.4	192.6	256.7	321.9
2	33.63	10.57	87.8	175.5	263.3	351.0	438.7
1/0	53.48	13.44	142	284	425.6	567.5	709.3
2/0	67.43	14.61	168	335	502.9	670.6	838.2
3/0	85.05	15.90	199	397	595.7	794.2	992.8
4/0	107.2	17.37	237	474	710.9	947.9	1185
250	126.7	19.38	295	590	885	1180	1475
300	152.2	20.78	339	678	1017	1357	1696
350	177.6	22.07	383	765	1148	1530	1913
400	202.6	23.27	425	851	1276	1701	2127
500	253.1	25.43	508	1016	1524	2032	2540
600	303.7	28.22	626	1251	1876	2502	3127
750	379.3	30.89	749	1499	2248	2998	3747
1000	506.7	34.80	951	1902	2853	3805	4756

Fuente: *National Electrical Code (NFPA No.70) 1978.*

Cálculo de calibre conductor según fabricante para motores trifásico

		75°C											
Capacidad del Motor		Aislamiento a 75°C – Calibre del cable de cobre AWG											
volts	HP KW	14	12	10	8	6	4	2	1/0	2/0	3/0	4/0	
230 v Trifásico 3 hilos	½	0.37	930	1490	2350	3700	5760	8910					
	¾	0.55	670	1080	1700	2580	4190	6490	9860				
	1	0.75	560	910	1430	2260	3520	5460	8290				
	1.5	1.1	420	670	1060	1670	2610	4050	6160	9170			
	2	1.5	320	510	810	1280	2010	3130	4770	7170	8780		
	3	2.2	240	390	620	990	1540	2400	3660	5470	6690	8020	9680
	5	3.7	140	230	370	590	920	1430	2190	3290	4030	4850	5870
	7.5	5.5	0	160	260	420	650	1020	1560	2340	2870	3440	4160
	10	7.5	0	0	190	310	490	760	1170	1760	2160	2610	3160
	15	11	0	0	0	210	330	520	800	1200	1470	1780	2150
20	15	0	0	0	160	250	400	610	930	1140	1330	1680	
25	18.5	0	0	0	0	200	320	500	750	920	1120	1360	
30	22	0	0	0	0	0	260	410	620	760	930	1130	
460 v trifásico 3 hilos	½	0.37	3770	6020	9460								
	¾	0.55	2730	4350	6850								
	1	0.75	2300	3670	5770	9070							
	1.5	1.1	1700	2710	4270	6730							
	2	1.5	1300	2070	3270	5250	8050						
	3	2.2	1000	1600	2520	3970	6200						
	5	3.7	590	950	1500	2360	3700	5750					
	7.5	5.5	420	680	1070	1690	2640	4100	6260				
	10	7.5	310	500	790	1250	1960	3050	4680	7050			
	15	11	0	340	540	850	1340	2090	3200	4810	5900	7110	
	20	15	0	0	410	650	1030	1610	2470	3730	4580	5530	
	25	18.5	0	0	330	530	830	1300	1990	3010	3700	4470	5430
	30	22	0	0	270	430	680	1070	1640	2490	3060	3700	4500
	40	30	0	0	0	320	500	790	1210	1830	2250	2710	3290
	50	37	0	0	0	0	410	640	980	1480	1810	2190	2650
	60	45	0	0	0	0	0	540	830	1250	1540	1850	2240
	75	55	0	0	0	0	0	440	680	1030	1260	1520	1850
100	75	0	0	0	0	0	0	500	760	940	1130	1380	
125	90	0	0	0	0	0	0	0	600	740	890	1000	
150	110	0	0	0	0	0	0	0	0	630	760	920	
175	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	370	810	
200	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	590	710	

Fuente: National Electrical Code (NFPA No.70) 1978.

**TABLA 310- 16 conductores de Cobre Aislados Corriente
Admisible en amperes temperatura ambiente 30°C**

CALIBRE AWG	MCM	TEMPERATURA PERMITIDA EN EL CONDUCTOR		
		60°C	75°C	90°C
		Tipos T, TW, RUW	Tipos THW, THWN, RH, RHW, RUH	Tipos THHN, RHH, (R-90), TA
18				21
16				22
14		15	15	25
12		20	20	30
10		30	30	40
8		40	45	50
6		55	65	70
4		70	85	90
2		95	115	120
1/0		125	150	155
2/0		145	175	185
3/0		165	200	210
4/0		195	230	235
250		215	255	270
300		240	285	300
350		260	310	325
400		280	335	360
500		320	380	405
600		355	420	455
750		400	475	500
1000		455	545	585

FACTORES DE CORRECCION PARA TEMPERATURA MAYORES A 30°C

Temp °C	60°C	75°C	90°C
21 - 25	1.08	1.05	1.04
26 - 30	1.00	1.00	1.00
31 - 35	.91	.94	.96
36 - 40	.82	.88	.91
41 - 45	.71	.82	.87
46 - 50	.58	.75	.82
51 - 55	.41	.67	.76
56 - 60	.....	.58	.71
61 - 70	.....	.33	.58
71 - 80	.....	.....	.41

Fuente: National Electrical Code (NFPA No.70) 1978.

TABLA 310-17 conductores de Cobre Aislados Corriente Admisible en amperes temperatura ambiente 30°C AIRE LIBRE

CALIBRE AWG	MCM	TEMPERATURA PERMITIDA EN EL CONDUCTOR		
		60°C	75°C	90°C
		Tipos T, TW, RUW	Tipos THW, THWN, RH, RHW, RUH	Tipos THHN, RHH, (R-90), TA
18		18
16		24
14		25	30	35
12		30	35	40
10		40	50	55
8		60	70	80
6		80	95	105
4		105	125	140
2		140	170	190
1/0		195	230	260
2/0		225	265	300
3/0		260	310	350
4/0		300	360	405
250		340	405	455
300		375	445	505
350		420	505	570
400		455	545	615
500		515	620	700
600		575	690	780
750		655	785	885
1000		780	935	1055

FACTORES DE CORRECCION PARA TEMPERATURA MAYORES A 30°C

Temp °C	60°C	75°C	90°C
21 - 25	1.08	1.05	1.04
26 - 30	1.00	1.00	1.00
31 - 35	.91	.94	.96
36 - 40	.82	.88	.91
41 - 45	.71	.82	.87
46 - 50	.58	.75	.82
51 - 55	.41	.67	.76
56 - 60	.....	.58	.71
61 - 70	.....	.33	.58
71 - 80	.....	.....	.41

Fuente: *National Electrical Code (NFPA No.70) 1978.*

Grúa para instalar el equipo electromecánico-hidráulico



Fuente: empresa PROSIGUA Guatemala.

