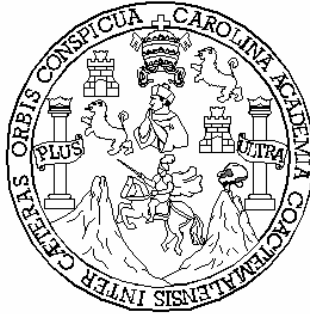


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I: Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II: Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III: Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV: Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA: Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Jorge Mario Morales González
EXAMINADOR: Ing. David Enrique Aldana Fernández
EXAMINADOR: Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR: Ing. Rodolfo Guillermo Sánchez Mendoza
SECRETARIO: Ing. Edgar José Aurelio Bravatti Castro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL PARA LAS OFICINAS MUNICIPALES DE PLANIFICACIÓN
-OMP- Y CORPORACIONES EDILES PARA LA TOMA DE
DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DE UN POZO MECÁNICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

FREDY AGUIRRE GONZÁLEZ

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO


GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2007

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**MANUAL PARA LAS OFICINAS MUNICIPALES DE PLANIFICACIÓN
-OMP- Y CORPORACIONES EDILES PARA LA TOMA DE
DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DE UN POZO MECÁNICO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 14 de marzo de 2006.



Fredy Aguirre González

Guatemala, 31 de agosto de 2007

Fredy Mauricio Monroy Peralta
Director de la escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la revisión final del trabajo de graduación titulado, **MANUAL PARA LAS OFICINAS MUNICIPALES DE PLANIFICACIÓN -OMP- Y CORPORACIONES EDILES PARA LA TOMA DE DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DE UN POZO MECÁNICO**, presentado por el estudiante Fredy Aguirre González, con carné No. 8014341.

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

Finalmente, considero importante resaltar la utilidad que el trabajo tendrá como apoyo a las municipalidades y empresas que se dedican a estas actividades, y en general a profesionales que tienen relaciones con la perforación.

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

Atentamente.



Ing. José Ismael Véliz Padilla
Colegiado No. 3646



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado MANUAL PARA LAS OFICINAS MUNICIPALES DE PLANIFICACIÓN -OMP- Y CORPORACIONES EDILES PARA LA TOMA DE DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DE UN POZO MECÁNICO, del estudiante Fredy Aguirre González, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, septiembre de 2007.

/behdei



FACULTAD DE INGENIERÍA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria al Trabajo de Graduación titulado MANUAL PARA LAS OFICINAS MUNICIPALES DE PLANIFICACIÓN - OMP- Y CORPORACIONES EDILES PARA LA TOMA DE DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DE UN POZO MECÁNICO, del estudiante Fredy Aguirre González, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
DIRECTOR



Guatemala, septiembre de 2007.

/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **MANUAL PARA LAS OFICINAS MUNICIPALES DE PLANIFICACIÓN -OMP- Y CORPORACIONES EDILES PARA LA TOMA DE DECISIÓN EN LA SELECCIÓN DE UN POZO MECÁNICO**, presentado por el estudiante universitario **Fredy Aguirre González** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, septiembre de 2007

/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

Dios: Por darme la sabiduría, por aumentar mi porción de fe y llenarme de la paciencia y perseverancia necesaria para obtener este logro tan anhelado e importante en mi vida.

La USAC: Fuente de mis conocimientos, que me instruyó, educó dándome albergue como mi casa de estudios, proporcionándome tanto las herramientas intelectuales como tecnológicas para ser un profesional competitivo.

Mi asesor: Por el apoyo, el tiempo y la dedicación prestada para asesorar mi trabajo de graduación.

Las empresas: Y, a todas las personas que con excelencia me brindaron su apoyo y guía en aspectos técnicos y profesionales, durante esta etapa de mi vida.

Mi familia: En general con profundo amor y cariño, a Emérita y Guillermo por apoyarme en el cumplimiento de este objetivo, que Dios los bendiga y proteja siempre.

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Por proporcionarme la fe necesaria y de los recursos en esta etapa de mi vida para el logro de este objetivo.
- Mis padres:** Israel Aguirre Sandoval, Amanda González de Aguirre (D.E.P) por su gran amor y apoyo incondicional en todo momento, que Dios los bendiga en gran manera.
- A mi esposa** Antonieta, con todo mi amor, por ser mi ayuda idónea que Dios me dio, en el cumplimiento de este objetivo, también es el de ella.
- Mis hijos:** Dora Amanda, Daniel Guillermo, Fredy Antonio, Aura Saraí. Por su comprensión en los momentos difíciles del desarrollo de este trabajo de graduación. También es una muestra de los objetivos que deben tener en el transcurso de sus vidas.
- Mis hermanos:** Rosa Maria, Dora Luz, Anilú, Guadalupe, Clelia Edith, Elem, Armando Arturo, Buenaventura Joel, Fernando, Remberto, Álvaro. Por el animo y el amplio apoyo brindado en los momentos difíciles.
- Mis amigos:** Y compañeros de estudios por las vivencias estudiantiles, por esos momentos inolvidables, y por ser parte de mi vida

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. ESTUDIO DE LA TOPOGRAFÍA DEL LUGAR.....	1
1.1 Vías de acceso.....	1
1.2 Ubicación de las líneas de conducción eléctrica	2
1.3 Ubicación del terreno para un tanque elevado.....	4
1.4 Aspectos legales.....	5
1.4.1 Respecto al terreno.....	5
1.4.2 Nombramiento de las escrituras del terreno (si el terreno se encuentra a nombre de la comunidad o de la municipalidad etc.).....	5
1.4.3 Garantía de los derechos de paso de servidumbre.....	6
2 BÚSQUEDA DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	7
2.1 Estudio Hidrogeológico.....	7
2.1.1 Agua subterránea.....	7
2.1.2 El estudio hidrogeológico.....	10
2.2 Análisis de fallas geológicas.....	11
2.2.1 Análisis de las fallas.....	13
2.2.2 Marco tectónico (fallas) en Guatemala.....	14
2.3 Mantos subterráneos o acuíferos	16
2.4 Humedales.....	18
2.4.1 Análisis de humedades del suelo.....	21
2.5 Niveles y profundidades estimadas.....	23
2.5.1 Diámetros a perforar según requerimientos de agua de la población.....	25
2.5.2 La estimación del caudal del área en estudio	

realizada mediante el aforo del pozo.....	27
3. PERFORACIÓN Y EQUIPAMIENTO DEL POZO.....	29
3.1 Descripción de las operaciones en la perforación de un pozo mecánico.....	29
3.1.1 Métodos de perforación.....	29
3.1.1.1 Método de perforación por percusión.....	29
3.1.1.2 Método de perforación por rotación.....	34
3.1.1.3 Método de perforación por roto-percusión.....	38
3.1.1.4 Método de perforación rotatorio de circulación inversa.....	39
3.1.1.5 Método de perforación a Chorro.....	40
3.1.1.6 Método de perforación por percusión hidráulica.....	40
3.1.1.7 Método de perforación rotatoria por aire comprimido.....	41
3.1.2 Movimiento y traslado de la maquinaria.....	42
3.1.3 Nivelación de la maquinaria.....	42
3.1.4 Perforación propiamente del pozo.....	43
3.1.4.1 La importancia del uso de los fluidos o lodos no tradicionales de perforación.....	44
3.1.4.2 Análisis de las funciones de los fluidos de perforación.....	46
3.1.4.3 Descripción de la minimización de los efectos de los fluidos de perforación.....	48
3.1.4.4 Ensayos en el campo sobre los fluidos de perforación.....	50
3.2 Análisis litológico y de registros de las formaciones subterráneas.....	50
3.2.1 Análisis de muestreo de los estratos o formaciones obtenido durante la perforación.....	50
3.2.2 Perfil estratigráfico según el muestreo de la perforación.....	51
3.3 Registro eléctrico.....	51
3.4 Registro mediante rayos gama.....	55
3.5 El entubamiento	58
3.5.1 Tubería de acero al carbón (tubería de ademe).....	58

3.5.1.1	Cementación de la tubería de ademe.....	59
3.5.1.2	Dosificación de la pasta de cemento.....	59
3.5.2	Instalación de tubería, verificando la verticalidad, y alineamiento del pozo (tubería con unión de soldadura a tope).....	60
3.5.3	Utilización de rejillas diseñadas para la buena captación del agua, según perfil litológico y/o registro eléctrico y rayos gama del pozo.....	62
3.5.4	Filtro de grava, ubicado fuera de la tubería con rejilla, diámetro de la grava.....	72
3.5.5	Sello Sanitario, ubicado arriba del filtro de grava instalado.....	75
3.5.6	El cabezal de descarga (donde va la tubería).....	76
3.5.7	Desarrollo y limpieza del pozo, métodos que se utilizan y numero de horas mínimo.....	77
3.5.7.1	Desarrollo del pozo.....	77
3.5.7.2	Limpieza del pozo.....	77
3.5.7.2.1	Método de lavado por chorro.....	78
3.5.7.2.2	Pistón de limpieza.....	78
3.5.7.2.3	Cepillo de Limpieza.....	78
3.5.7.2.4	Limpieza por lavado químico.....	79
3.5.7.2.5	Sistema de desinfección por cloro.....	79
3.5.8	Prueba de bombeo (aforo del pozo) determinación del caudal, tiempo de la prueba (corta, larga, o escalonada).....	80
3.5.9	Entrega del perfil stratigráfico.....	82
3.5.9.1	Determinación del nivel estático y nivel dinámico del pozo.....	83
3.6	El equipamiento de un pozo mecánico.....	86
3.6.1	Selección de la bomba según requerimientos de la demanda y caudal que produce el pozo.....	86
3.6.2	Instrumentación y controles.....	92
3.6.3	Diseño de acometida eléctrica	

(dependero del equipo a utilizar).....	95
3.6.4 Diseño de la caseta para la acometida eléctrica y controles del sistema de bombeo.....	97
4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL POZO MECÁNICO.....	99
4.1 Operación del sistema.....	99
4.1.1 Operación automática.....	99
4.1.2 Operación manual.....	104
4.2 Mantenimiento del sistema (pozo y bomba).....	104
4.2.1 Mantenimiento preventivo.....	104
4.2.1.1 Análisis de la calidad del agua.....	105
4.2.1.1.1 Normas e instrucciones para el muestreo del agua.....	107
4.2.1.1.2 Análisis bacteriológico(AB), parámetros que se determinan.....	109
4.2.1.1.3 Método de los tubos múltiples de fermentación(AB).....	110
4.2.1.1.4 Análisis fisicoquímico(AFQ), parámetros que se determinan.....	113
4.2.1.1.5 Limpieza del pozo (mínimo a cada dos años).....	119
4.2.1.1.6 Tarjeta de control de operación Se medirán las variaciones de los, análisis bacteriológicos y físico-químicos, y el estado del pozo.....	120
4.2.1.2 Análisis mensual de niveles, método de la línea de aire –MLA-.....	121
4.2.1.2.1 Medición del nivel estático (NE).....	122
4.2.1.2.2 Medición del nivel dinámico(ND).....	123
4.2.1.2.3 Tarjeta de control de niveles.....	124
4.2.1.3 Revisión programada del sistema eléctrico.....	125
4.2.1.3.1 Revisión de acometida.....	125
4.2.1.3.2 Revisión del banco de transformadores.....	125

4.2.1.3.3	Revisión de la oscilación del consumo eléctrico.....	126
4.2.1.3.4	Revisión de empalmes y fusibles.....	126
4.2.1.3.5	Revisión de guarda-niveles y electrodos.....	127
4.2.1.3.6	Adecuado contrato de la potencia eléctrica requerida para evitar penalización, y tarjeta de control.....	128
4.2.2	Mantenimiento correctivo.....	130
4.2.2.1	Análisis del equipo y del pozo, esto nos sirve para efectuar un dictamen de la situación.....	130
4.2.2.1.1	Cepillado de la columna del pozo.....	130
4.2.2.1.2	Inyección de químicos de limpieza.....	130
4.2.2.1.3	Extracción de sedimentos acumulados.....	131
4.2.2.1.4	Limpieza y desinfección por cloro.....	131
4.2.2.2	Sistema de bombeo (dependiendo del tipo de bomba).....	131
4.2.2.2.1	Limpieza general.....	131
4.2.2.2.2	Revisión de los impulsores.....	131
4.2.2.2.3	Evaluación de cambio del rotor de la bomba.....	133
4.2.2.2.4	Evaluación de fisuras de la carcasa de la bomba.....	133
4.2.2.2.5	Evaluación de los rodamientos del eje de la bomba (según el tipo de bomba).....	133
4.2.2.2.6	Evaluación del sistema de cableado.....	134
4.2.2.3	Sistema eléctrico y controles de paro y arranque.....	134
4.2.2.3.1	Análisis de cambio de fusibles.....	135
4.2.2.3.2	Análisis de cambio de rotor eléctrico del motor sumergible.....	135
4.2.2.3.3	Análisis de cambio de transformador.....	135
4.2.2.3.4	Análisis del sistema eléctrico y/o electrónico del bombeo y paro automático.....	136

4.2.2.3.5	Mediciones y observaciones del motor.....	136
5.	CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE Y SU ESTRUCTURA.....	139
5.1	Materiales a utilizar en la construcción	
	de tanques elevados y estructuras.....	139
5.1.1	Tanques elevados.....	139
5.1.2	Torres o estructuras de tanques elevados.....	145
5.1.3	Pintura base anticorrosivo y acabado final.....	145
5.1.4	Accesorios del conjunto tanque estructura.....	146
5.1.5	La cimentación del conjunto,	
	soporte del peso del tanque-estructura.....	152
5.1.6	Especificaciones de la estructura y tanque metálico.....	154
5.1.7	Diseño sugerido del tanque y su estructura,	
	según la necesidad de la población a servir.....	159
5.1.7.1	Diseño sugerido del tanque de acuerdo	
	a su requerimiento.....	162
5.1.7.2	Diseño de la estructura del tanque.....	174
5.1.7.3	Diseño de la cimentación.....	200
	CONCLUSIONES.....	201
	RECOMENDACIONES.....	203
	BIBLIOGRAFÍA.....	205
	ANEXOS.....	209

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema del agua del subsuelo.....	9
2.	Los cuatro tipos principales de fallas.....	12
3.	Mapa de las fallas más importantes que existen en Guatemala.....	15
4.	Gradiente de humedad.....	23
5.	Reducción del diámetro de tubo con rejillas.....	28
6.	Sarta de herramientas de perforación-método de percusión.....	31
7.	Componentes de un equipo de perforación por percusión.....	32
8.	Componentes principales del sistema de perforación por rotación.....	36
9.	Martillo de fondo método de perforación por roto-percusión	39
10.	Martinete neumático.....	42
11.	Perfil estratigráfico del pozo, Buena Vista Chinautla Guatemala.....	53
12.	Configuración de electrodos registro eléctrico.....	55
13.	Registro de formaciones geológicas de rayos gama.....	56
14.	Actividad relativa de rayos gama.....	57
15.	Esquema de soldadura a tope.....	62
16.	Esquema de instalación de rejilla.....	64
17.	Tamaño efectivo del grano.....	66
18.	Disposición de rejilla con reducción de diámetro.....	68
19.	Curvas que constituyen un acuífero de nueve metros de espesor.....	73
20.	Sonda eléctrica para medición de niveles.....	84
21.	Método de la válvula de aire para calcular el nivel dinámico del pozo.....	85
22.	Combinación de perfil litológico y estratigráfico...del pozo.....	98
23.	Diagrama de conexión básico de un guarda-nivel.....	101
24.	Método de la línea de aire.....	123
25.	Esquema seccionado de una bomba sumergible.....	132
26.	Partes del conjunto torre-tanque elevado.....	140
27.	Elevación de tanque.....	141
28.	Diagrama esfuerzo-deformación.....	143

29.	Separación de anillos.....	147
30.	Escalera externa.....	148
31.	Escotilla del techo o man hole.....	149
32.	Detalle de ménsula de apoyo.....	150
33.	Detalle que muestra el respiradero del tanque.....	151
34.	Detalle de la viga de amarre de la cimentación.....	152
35.	Planta de bases de la cimentación.....	153
36.	Detalle de las bases de la cimentación.....	153
37.	Planta de la zapata de la cimentación.....	154
38.	Detalle de soldadura.....	155
39.	Detalles “A” y “B” de armado de torre.....	156
40.	Perno de anclaje tipo “jota”.....	157
41.	Detalle de refuerzo interno del tanque.....	158
42.	Elevación del tanque con la indicación de los pañuelos.....	159
43.	Elevación del tanque con acotamiento de las figuras geométricas.....	162
44.	Elevación del tanque con descripción de los anillos.....	165
45.	Elevación del tanque con acotamientos.....	167
46.	Torre acotada.....	168
47.	Esfuerzos en cilindros de pared delgada.....	169
48.	Triangulo de fuerzas de un fluido en un deposito cilíndrico.....	171
49.	Área de cono y corona circular delgada.....	184
50.	Área de cilindro recto y corona circular delgada.....	185
51.	Torre-tanque con descripción de centros de gravedad.....	190
52.	Detalle “B” con indicación de fuerzas.....	195
53.	Detalle del área y relleno de la soldadura.....	196
54.	Detalle de ménsula atornillada al deposito.....	198

TABLAS

I. Materiales utilizados en las líneas para el suministro eléctrico.....	4
II. Movimientos sísmicos en Guatemala.....	16
III. Diámetros recomendados del pozo.....	26
IV. Diámetros recomendados de tubería de pozos.....	44
V. Abertura de rejillas.....	69
VI. Diámetro de rejillas.....	71
VII. Datos del aforo del pozo.....	81
VIII. Protección de sobre carga eléctrica.....	96
IX. Capacidad de los transformadores eléctricos.....	97
X. Normas COGUANOR NGO AGUA.....	109
XI. Número más probable de 10 ml de muestra.....	111
XII. Prueba de los nueve tubos de 10 ml de muestra.....	112
XIII. Tubos de reacción positiva.....	113
XIV. Características físicas del agua.....	114
XV. Características químicas del agua.....	115
XVI. Límites de toxicidad del agua.....	116
XVII. Límite máximo permisible(LMP) de sustancias biocidas sintéticas.....	117
XVIII. LMP de sustancias no deseadas en el agua.....	118
XIX. LMP de sustancias orgánicas con significado para la salud.....	118
XX. Inicio del historial del muestreo del agua.....	120
XXI. Seguimiento del historial del muestreo del agua.....	121
XXII. Control de niveles del agua del pozo.....	124
XXIII. Control mensual del fluido eléctrico.....	127
XXIV. Valores de penalización por contrato eléctrico.....	129
XXV. Esfuerzos unitarios por tracción.....	175
XXVI. Esfuerzos unitarios por compresión.....	176
XXVII. Esfuerzos unitarios por flexión.....	176
XXVIII. Esfuerzos unitarios por corte.....	177
XXIX. Esfuerzos unitarios por aplastamiento.....	177
XXX. Esfuerzos unitarios por corte simple y doble.....	178

XXXI. Valores de diseño de la soldadura.....	180
XXXII. Máxima relación de esbeltez.....	181
XXXIII. Valores de sismos.....	188
XXXIV. Pérdida de fricción en tubos.....	214
XXXV. Pérdida de fricción en tubería sumergida.....	215
XXXVI. Tabla para motores trifásicos (60HZ).....	216
XXXVII. Especificaciones del motor trifásico (60HZ).....	217

RESUMEN

Actualmente, la demanda del agua de consumo humano como un recurso natural indispensable para el buen desenvolvimiento integral del hombre, y de la vida moderna, esto nos motiva a realizar un uso racional de este vital líquido, dado que, cada día es más difícil disponer de ella.

Los pozos de extracción de agua subterránea se han convertido en un medio de abastecimiento de agua potable a la población en general; debido a la escasez de fuentes superficiales, se ha considerado la redacción de un documento investigativo que abarque los conceptos técnicos y económicos, con relación a: la exploración, evaluación, y la explotación del agua subterránea. Describiendo todo el procedimiento a seguir para la selección y decisión de perforar un pozo mecánico.

Con el propósito de llevar un control preciso del estado del pozo y de su equipamiento, se han elaborado tarjetas de monitoreo de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos que determinan la calidad del agua de consumo humano; así como las tarjetas de control del nivel estático y nivel dinámico, control del fluido eléctrico y guarda-niveles. Esto permitirá la decisión de continuar el abastecimiento del agua, proporcionándonos también la información necesaria para la programación del mantenimiento del equipo de bombeo y el sistema de control eléctrico.

Con respecto a la construcción del tanque y la estructura de la torre, se han expuesto las especificaciones de los materiales de construcción del sistema; así como; los criterios de ingeniería para: el cálculo del volumen del tanque, el método de soldadura de tanques, los criterios de selección del espesor de lamina; así como el análisis de la estructura de soporte de las bases y de los tensores diagonales y horizontales. Se presenta un lineamiento general sobre la cimentación de las bases de la estructura, efectuando la observación que cada área tiene un estudio particular del suelo.

OBJETIVOS

General

Proporcionar a la población y al lector en general, una fuente de datos confiables, con los elementos necesarios para tomar una decisión de perforar un pozo mecánico, para la extracción de agua subterránea de consumo humano.

Específicos

1. Ser un documento útil de consulta a estudiantes, técnicos y profesionales; así como a toda persona interesada en la perforación de un pozo mecánico.
2. Describir en un orden lógico los distintos pasos a seguir; así como la información de las formaciones geológicas a través del método de perforación idóneo, y la adecuada selección del equipamiento del pozo.
3. Seleccionar los materiales y sus normas de confiabilidad, con los estudios técnicos y procesos contractivos de un pozo y el sistema tanque-estructura.
4. Establecer las tarjetas de control de los distintos parámetros que involucran la calidad del agua y la operatividad de un pozo mecánico.
5. Capacitar al personal operativo del pozo mecánico sobre el sistema de paro y arranque del equipo sumergible de bombeo, tanto en su operación manual, como automática, para garantizar su buen funcionamiento.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de graduación pretende poner a disposición de ingenieros, Concejos Municipales, Coordinadores de planificación de las municipalidades, empresas, estudiantes y lectores en general interesados en el tema relacionado, con la toma de decisión en la perforación de un pozo mecánico para abastecer de agua de consumo humano a una población determinada. Este estudio es una recopilación de información e investigación donde se evidencian criterios de diversas especialidades como: hidrogeología, técnicos e ingenieros en perforación y equipamiento de pozos y sistemas eléctricos de control. Presentando una guía práctica para nuestro medio.

Esta investigación se realizó basado en tres fases: **1.-** Selección del área de perforación y legalidad del terreno. **2.-** Exploración y Evaluación. **3.-** Explotación y distribución, de Agua Subterránea. Cada una de estas fases se apoya en ciencias que requieren atención por parte de especialistas y ejecutores de proyectos con amplia experiencia en programas de estudio e investigación.

La primera fase trata sobre cómo no incurrir en errores de ejecutar una obra de perforación, en un terreno que no sea propio de una comunidad, ya que construida la obra pueda ser reclamada por una entidad privada. En la fase exploratoria se hace énfasis en el estudio hidrogeológico para definir la zona de interés y las condiciones de una formación con un potencial hídrico adecuado a ser explotado, de forma que se proceda a evaluar las condiciones hidrogeológicas de precipitación, evo-transpiración y escorrentía, con estos estudios afines se procede a: la explotación del agua por medio de la perforación de un pozo mecánico con su debido equipamiento; así como a su buena distribución, que es el objetivo principal de esta investigación.

1. ESTUDIO DE LA TOPOGRAFÍA DEL LUGAR

1.1 Vías de acceso

Para la construcción de un pozo mecánico, es importante tomar muy en cuenta que se debe disponer de una vía de acceso que sea capaz de ser transitada en toda época del año, de manera que la maquinaria pueda llegar al lugar que se ha predeterminado para la perforación del pozo mecánico, en todo caso, esta vía, si es camino de terracería debe de tener buen balastro y carecer de baches grandes que puedan dar lugar; a que una camión averíe sus partes móviles para transitar, se debe de realizar un monitoreo del área, sobre la existencia de puentes y verificar, si estos son capaces de soportar el peso de la maquinaria que transitara por los mismos, estas medidas se tomaran en el área rural; así como en el área urbana, toda esta información son datos muy importantes que hay que verificarlos al 100%. También se debe de considerar la condición de rodadura de la vía, si es asfaltada, o tiene otro tipo de recubrimiento etc. De forma que se pueda llegar al área de la perforación sin ningún inconveniente.

En la mayoría de casos la vía de acceso para construir un pozo mecánico es por vía terrestre; sin embargo; se dan situaciones, que para llegar al área de perforación del pozo, se tenga que llegar a pasos de río, una hondonada o cualquier otro tipo de inconveniente, por lo cual se dificulta el paso de la maquinaria, y esta se vea obstaculizada, o en el peor de los casos quedar varada, en de zona de riesgos de derrumbes, atascaderos por fangos, terrenos pedregosos etc. Puedan existir lugares donde la necesidad de atravesar un río caudaloso, un canal (canal de Chiquimulilla, por ejemplo) o un lago, es necesario prever el medio de transporte, que podrían ser lanchones; ferry, etc. Este tipo de transporte tiene que ser capaz de soportar el peso del camión mas la maquinaria de perforación, aunado a las personas que viajaran (operadores de maquinaria, ayudantes etc.). Los siguientes esquemas nos muestran parte de estos inconvenientes para los caminos de acceso.

1.2 Ubicación de las líneas de conducción eléctrica

Este es un tema muy importante, en cuanto a los costos que están fuera de lo que es la perforación en si, de manera que es necesario que se estimen al detalle, y que no afecten de una forma dramática el costo final de la habilitación de un pozo mecánico, es decir, la perforación mas su equipamiento; estos aspectos son:

Las líneas de conducción eléctrica trifásicas no deben de estar mas allá de cinco kilómetros (como una referencia máxima) del punto de perforación (en cuanto mas cerca el costo económico es mas bajo), dado que esto incrementaría considerablemente los costos, el costo de cada 100 metros de cableado y posteo, también se toma en cuenta el costo del estudio eléctrico realizado por una empresa competente (privada, municipal, otra). Este estudio se realizara para determinar la factibilidad y todos los costos de llevar la energía eléctrica desde la toma del fluido al lugar en donde estará el pozo mecánico.

Una vez, se tome la decisión sobre la factibilidad y el entendido sobre los costos de la instalación, con la empresa escogida, se procede a la realización del contrato con la comercializadora del fluido eléctrico la comercializadora eléctrica o empresa privada no deberá de excederse de sesenta días calendario para estar en capacidad de dar el suministro del fluido eléctrico en el lugar indicado.

Cuando se ha solucionado el asunto del fluido eléctrico, nos atenderemos del área de perforación, y de la superficie donde se colocara la caseta de controles que formara parte del equipamiento de un pozo mecánico, la distancia como parámetro medio que debemos tener entre el punto de perforación y, la caseta de controles es de 50 metros, y la distancia media entre la caseta (la cual llevara caja de flipones y controladores automáticos) y la línea trifásica que nos brindara el proveedor de energía es de treinta metros; distancia a la cual existirá una excelente acometida.

Para evitar caída de tensión o de voltaje, es aconsejable la instalación del banco de transformadores, que va de un sistema de alta tensión a uno de baja tensión.

Los transformadores deberán tener la misma impedancia (es decir el cociente entre el voltaje eficaz aplicado al circuito, y la corriente que circula por el circuito) este y otros datos los traen los transformadores en una plaquita inserto en el cuerpo lado externo del mismo, este requerimiento es necesario porque la bomba funcionara en un voltaje y una corriente determinada, y si uno de los transformadores tiene una impedancia distinta, tendremos una falla(lo mas seguro es que se queme el motor) en el mediano o corto plazo, también es necesario tener por lo menos un transformador de reserva en caso exista una falla en uno de ellos ,o que por diversas circunstancias amerite el cambio de uno de ellos.

La capacidad instalada del banco trifásico (es decir el voltaje de los tres transformadores) no debe de variar a la hora de existir un cambio de transformador. Es necesario que se estime la capacidad de los transformadores con un 20% por arriba de la carga que será consumida; es decir; la sumatoria de la energía del motor trifásico de la bomba, la energía de la fuerza y alumbrado de la caseta, otros aspectos de uso de energía, etc.

En el medio guatemalteco existen tres empresas que se encargan del suministro y comercialización de energía 1. INDE es el Instituto Nacional de Electrificación, 2. DEORSA, Distribuidora de Energía de Oriente Sociedad Anónima, 3. DEOCSA Distribuidora de Energía de Occidente Sociedad Anónima, las dos últimas propiedades de la empresa española UNION FENOSA S.A. dependiendo donde se encuentre el área en estudio de un requerimiento eléctrico sabremos a donde abocarnos. En la tabla I se presenta una lista de materiales que mas se utilizan en una línea de conducción eléctrica.

Tabla I. Materiales utilizados en las líneas para el suministro eléctrico¹

Materiales utilizados en las líneas para el suministro del fluido eléctrico			
núm.	Alta o Media Tensión	núm.	(continuación)Alta o Media Tensión
1	Poste de 10,60 mt(35 pies) concreto	25	cotados o corto circuito
2	grapas de remate	26	transformadores
3	aislantes de suspensión	27	módulos para transformadores
4	varilla de protección	28	conectores fargo
5	conectores de compresión	29	alambre de amarre de aluminio
6	pernos de rosca corrida	30	cable de polipropileno
7	pernos tipo maquina o abrazaderas	31	gancho tipo clevis o adaptadores
8	crucetas de madera	32	pararrayos
9	breisas	33	cable núm. 2 a 3/0
10	fijadores de ángulo		Baja Tensión
11	tuercas de ojo	1	poste de 9 metros o de 30 pies de madera
12	pernos de 1/2" X 6" galvanizados	2	estribos no aislados
13	cable galvanizado de 3/8"	3	conectores de compresión
14	remate preformado de 3/8"	4	pernos tipo maquina o abrazaderas
15	anclas	5	fijadores de ángulo
16	varillas para anclas	6	anclas
17	cable de cobre para puesta a tierra	7	varillas para anclas
18	varilla cobrizada de 3/4" y de 5/8"	8	mordazas
19	mordazas	9	estribo no aislado
20	estribo no aislado	10	aislador de carrete
21	aislador de carrete	11	arandelas (guashas planas y de presión)
22	espigas de punta de poste	12	alambre de amarre de aluminio
23	aislador de pin	13	cable núm. 2 ACSR o Iris
24	arandelas (guashas planas y de presión)	14	remates para cable núm. 2

1.3 Ubicación del terreno para un tanque elevado

La ubicación del terreno para un tanque elevado debe de estar comprendido en el área donde se realiza la perforación del pozo mecánico, y la distancia media entre el pozo mecánico y el tanque elevado esta comprendida en un radio que va de 5 metros a 10 metros, es menester aclarar, que, no necesariamente debe de ser un tanque metálico (o de concreto en su defecto, considerando la situación de costos) elevado, ya que, si la topografía del terreno tiene suficiente pendiente para la distribución del agua por gravedad se podrá optar por la construcción de un tanque de block y concreto (que es obra civil, y para esto se podrá consultar a un constructor de este tipo de tanque, proporcionándole, como dato el volumen de agua que se necesita captar) en la superficie de la tierra, o si las condiciones de pendiente lo permiten se podrá usar un

¹ Fuente: Grupo, UNION FENOSA, Linieros de la Región Sur-Oriente DEORSA

tanque cisterna. Para la captación del agua que producirá el pozo mecánico, es indispensable tomar la distancia más corta entre el depósito del agua y el pozo mecánico, debido a que; de esta forma tendremos un llenado más rápido del depósito, ahorro de energía eléctrica ya que la bomba tendrá un menor tiempo de funcionamiento, ahorro de tubería de conducción de agua etc.

Para este diseño (de la cimentación) el lector tendrá un indicador contra lo que presenta el contratista del proyecto. (Ver detalle capítulo 5)

1.4 Aspectos legales

Para desarrollar un proyecto de perforación de un pozo mecánico debemos de tomar en cuenta las características del terreno, con respecto a la propiedad del terreno donde se efectuara la perforación, y que a la vez se contemple la ubicación de la caseta de controles, área de la torre del tanque elevado; así como; los requerimientos sobre el derecho de paso, si este terreno no se encuentra a la orilla del camino o carretera.

1.4.1 Respetto al terreno. El terreno mínimo para desarrollar un proyecto de esta índole será de 900m²; sin embargo; un terreno mas grande nos permitirá, tener el área de perforación, la caseta de controles, área de estructura del tanque elevado, y algo muy importante, un área que se destinara para la jardinización del conjunto es decir; la siembra de árboles áreas de descanso, fuentes etc.

1.4.2 Nombramiento de las escrituras del terreno (si el terreno se encuentra a nombre de la comunidad, o de la municipalidad etc.)

Para el caso que el terreno sea un terreno baldío de área urbana o rural, para la verificación de su propiedad, procederemos a rastrearlo con su respectiva acreditación en el IUSI, (Impuesto Único Sobre Inmuebles), si no lo tiene registrado, esta oficina lo rastreara, en la base de datos del Registro

de la Propiedad (Inmueble), con sede central en la ciudad de Guatemala, y verificará a quien pertenece.

Habiendo encontrado a quien pertenece un determinado terreno tenemos

1. Si el terreno pertenece a una persona en particular, finca, o, compañía se procederá a una negociación con esta entidad, luego en común acuerdo la parte interesada (vecinos de una comunidad) el ente de cobertura si es municipal, o nacional se dará escritura del terreno a quien por consenso se crea conveniente,
2. En el caso de que el terreno pertenezca a una comunidad o, a una municipalidad solo se buscaran los mecanismos necesarios, (alcalde, su consejo y comité de vecinos) que permitan desarrollar el proyecto, y
3. Si el terreno en mención es nacional la municipalidad como ente rector dará los pasos necesarios, para llegar a una negociación (compra o donación).

1.4.3 Garantía de los derechos de paso de servidumbre. Cuando el terreno en donde se construirá el proyecto, no se encuentra enfrente del camino, y este tenga que atravesar uno o más terrenos, podemos para solucionar estas circunstancias.

1. comprar una franja de terreno de un ancho mínimo de siete (7) metros, con tal que sea suficiente para el paso de la maquinaria de perforación, y otro vehículo que se conduzca contra vía,
2. si el terreno (área del proyecto) esta demasiado lejos se procederá a negociar el derecho de paso con el dueño, o los dueños, según sea el caso. Esta negociación tendrá carácter legal como lo establece el Capítulo II de la servidumbre de paso, artículos 760 a 785 del código civil. Y será de común acuerdo donde el aterrizaje de intereses de ambas partes quede plasmado en una escritura efectuada por un notario competente.

2. BÚSQUEDA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Comenzaremos por definir los conceptos que hacen referencia al estudio del agua, en la corteza terrestre.

Hidrología: Parte de la geología que se ocupa del estudio de las aguas dulces, y en particular de las aguas subterráneas; así como de su aprovechamiento².

Geología. Geología (del griego, geo, “tierra” y logos, “conocimiento”, por lo tanto, tratado o conocimiento de la Tierra), campo de la ciencia que se interesa por el origen del planeta Tierra, su historia, su forma, la materia que lo configura y los procesos que actúan o han actuado sobre él.³

2.1 Estudio Hidrogeológico

2.1.1 Agua subterránea

Definición. El agua subterránea, es el total de agua que se ha infiltrado y que encuentra bajo la superficie terrestre. Se encuentra en el interior de poros entre partículas sedimentarias y en las fisuras de las rocas más sólidas.⁴

Estas incluyen las corrientes subterráneas. En las regiones árticas el agua subterránea puede helarse. En general mantiene una temperatura muy similar al promedio anual en la zona. El agua subterránea más profunda puede permanecer oculta durante miles o millones de años. No obstante, la mayor parte de los yacimientos están a poca profundidad y desempeñan un papel discreto pero constante dentro del ciclo hidrológico. A nivel global, el agua subterránea representa cerca de un 20% de las aguas dulces, que a su vez constituyen el 3% del total; el 80% restante está formado por las aguas superficiales; un 79% es hielo y el 1% representa el agua presente en ríos, lagos y arroyos.

² Fuente: Enciclopedia Encarta, Microsoft Corporation

³ Fuente: Enciclopedia Encarta, Microsoft Corporation

⁴ Fuente: Enciclopedia Encarta, Microsoft Corporation

Es de esencial importancia para la civilización, porque supone la mayor reserva de agua potable en las regiones habitadas por los seres humanos. **El agua subterránea puede aparecer en la superficie en forma de manantiales o puede ser extraída mediante pozos.** En tiempos de sequía, puede servir para mantener el flujo de agua superficial, pero incluso cuando no hay escasez, el agua subterránea es preferible porque no tiende a estar contaminada por residuos o microorganismos.

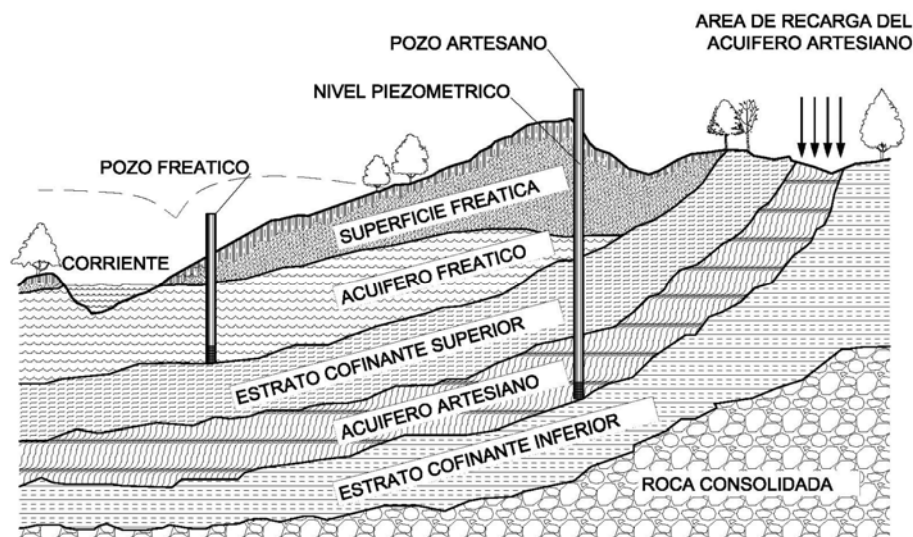
La movilidad del agua subterránea depende del tipo de rocas o litología dominante en cada lugar. Las capas permeables saturadas capaces de aportar un suministro útil de agua son conocidas como acuíferos. Suelen estar formadas por arenas, gravas, calizas o basaltos. Otras capas, como las arcillas, pizarras, morrenas glaciares y limos tienden a reducir el flujo del agua subterránea. Las rocas impermeables son llamadas acuífugas, o rocas basamentarias. **En zonas permeables, la capa o zona límite de la superficie de saturación de agua se llama nivel freático.** Sobre este nivel se encuentra la zona de aireación, cuya capa más inmediata al nivel freático se denomina franja capilar, ya que en ella el agua se mueve por capilaridad, de forma que existen movimientos ascendentes de agua en sentido contrario a la fuerza de la gravedad. Sobre la franja capilar, en la zona de aireación, se encuentra la zona intermedia o de agua vadosa, donde el movimiento de agua se produce por gravedad, y es descendente. Evidentemente, en función de la cantidad de agua existente en el acuífero, la zona de saturación y, consecuentemente, la capa freática oscilan en nivel, alcanzando en ocasiones zonas superficiales donde descargan dando lugar a charcas, lagunas o aguas corrientes.

Los ríos se alimentan de aguas superficiales, pero en la mayoría de los casos, la mayor proporción de agua que circula por ellos proviene del subsuelo, alimentado de aguas de precipitación por infiltración que circulan subterráneamente hasta descargar en los propios ríos. Hay tramos en que los ríos no se alimentan del agua subterránea sino que ceden agua a los acuíferos, contribuyendo a elevar su caudal. Un caso extremo de esta situación se da en el río Okavango, en Botsuana, que en vez de desembocar en el mar lo hace en un desierto donde pierde el agua por

infiltración y evaporación. En España son conocidos los casos de los ríos Guadiana (el cual desaparece varias veces a lo largo de su trayecto) y Vinalopó. Cuando en lugares muy poblados o zonas áridas muy irrigadas se extrae agua del subsuelo de forma continuada y en grandes cantidades, el nivel freático puede descender con gran rapidez (ya que la velocidad de extracción es mayor que la recarga), haciendo que sea imposible acceder a él, aún recurriendo a pozos muy profundos. El agua subterránea puede localizarse en la zona superior del suelo, denominándose entonces sub.-superficial.

La contaminación del agua subterránea, aunque es menor que la del agua superficial, se debe especialmente a la agricultura, al arrastrar el agua infiltrada numerosos compuestos químicos utilizados como fertilizantes o abonos, o también productos fitosanitarios (para la lucha contra las enfermedades y plagas), o incluso por regar con agua salada o salobre, y se ha convertido también en una preocupación en los países industrializados. La Figura 1 representa un esquema del agua en el subsuelo.

Figura 1. Esquema del agua del subsuelo⁵



⁵ Fuente: Enciclopedia Encarta, Microsoft Corporation.

2.1.2 El estudio hidrogeológico

Definición. El estudio hidrogeológico es aquel que tratara sobre, la localización de aguas dulces, sean estas subterráneas, o superficiales, apoyándose en mapeo de fuentes de agua existentes, con métodos de muestreo de aguas subterráneas, y monitoreo de la caída de aguas lluvias; así como del análisis de la calidad del agua⁶.

Se puede decir que la preparación del mapa geológico y secciones transversales es muy importante, ya que nos mostraran los sitios de afloramiento de las diferentes rocas, con esto se observa como han sido afectadas por presiones terrestres en el pasado, nos mostrara, que rocas son susceptibles de contener agua y donde se encuentran estas por debajo del terrenos.

También hay que obtener la información sobre pozos existentes, su localización, su profundidad, el nivel estático, nivel dinámico, cantidad de agua que se extrae por bombeo y que clase de rocas fueron penetradas por estos pozos.

Dentro de este estudio se debe de incluir un registro, con muestras de roca, información referente a cual estrato rinde agua y cuan libremente es, el nivel estático del agua en cada estrato sucesivo, progresivamente mas profundo, y los datos de cualquier prueba de bombeo, mostrando cuanta agua se obtuvo y cuanto descendió el nivel, para una razón dada de bombeo.

El hidrólogo trazará un mapa de contornos de igual nivel de la superficie freática, midiendo la profundidad de la superficie del terreno hasta el nivel del agua en los pozos determinara por nivelación cuan alto se halla el terreno sobre el nivel del mar. Finalmente trazara líneas que conecten todos los puntos en donde la elevación del nivel del agua sea la misma, para que el mapa muestre la forma de superficie del terreno. Cuando no existen pozos en el área, el hidrólogo tiene que

⁶ Fuente: Enciclopedia Encarta, Microsoft Corporation

perforar algunos agujeros de prueba, y con las muestras de roca perforada podrá obtener cual es el estrato acuífero y cuan extensamente contiene el agua.

Para el estudio se debe tener certeza, que en determinado lugar existe un reservorio de agua, será el estudio hidrogeológico, independientemente de los métodos usados por el hidrólogo, quien definirá esta situación, de forma que no perforemos un pozo, de una forma caprichosa; o en otro caso; por conveniencia de la cercanía del lugar etc.

2.2 Análisis de fallas geológicas

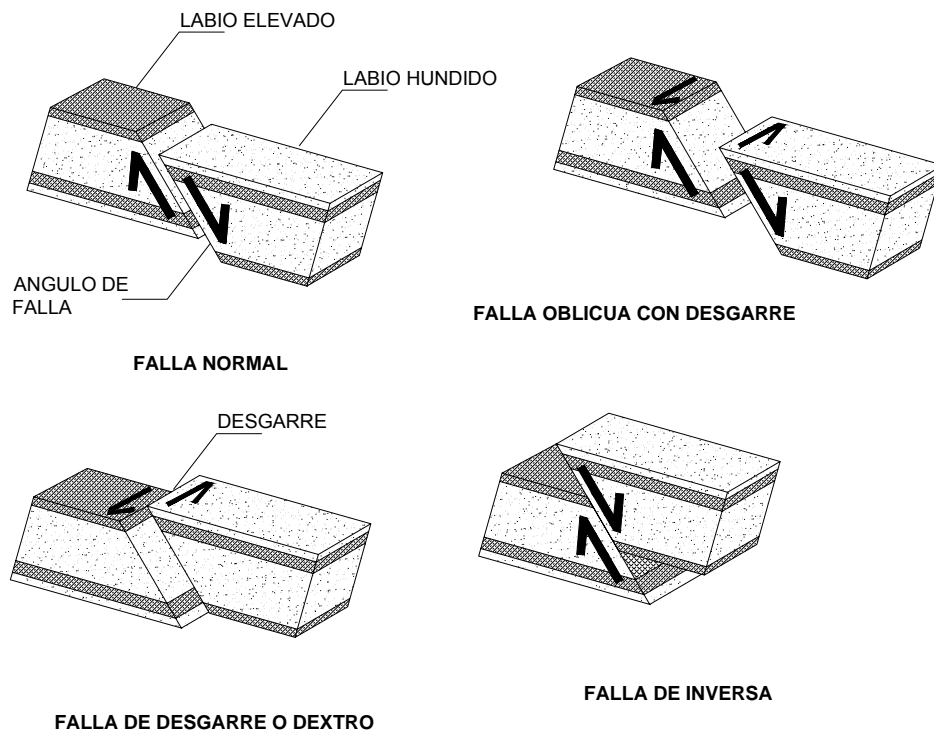
Falla: definición. Una falla, en geología, es una línea de fractura a lo largo de la cual una sección de la corteza terrestre se ha desplazado con respecto a otra. El movimiento responsable de la dislocación puede tener dirección vertical, horizontal o una combinación de ambas.⁷

En las masas montañosas que se han alzado por movimiento de fallas, el desplazamiento puede ser de miles de metros que representan el efecto, acumulado a largo plazo, de desplazamientos pequeños e imperceptibles en vez de un gran levantamiento único. Sin embargo, cuando la actividad en una falla es repentina y abrupta, se puede producir un fuerte terremoto e incluso una ruptura de la superficie dando lugar a una formación topográfica llamada escarpe de falla. Tras millones de años, el movimiento horizontal a lo largo de la falla de San Andrés ha desplazado una sección de las zonas costeras del estado de California (EEUU) hacia el noroeste y ha producido poderosos terremotos. Las fallas más grandes, como esta última, que forman las fronteras entre las distintas placas de la corteza terrestre, se activan por las fuerzas que causan la deriva continental. Es el caso de la Placa de Cocos, que afecta a toda la zona del Caribe. El movimiento en fallas locales menores puede ser debido a tensiones, como en las fallas que definen algunas cordilleras montañosas (por ejemplo, en el océano Pacífico), o a compresión, como en fallas donde se apilan estratos sedimentarios para formar también cordilleras de montañas.

⁷ Fuente: Enciclopedia Encarta, Microsoft Corporation

La superficie sobre la que se ha producido un desplazamiento se llama superficie o plano de falla. Si el plano no es perpendicular pero el desplazamiento ha tenido un componente vertical, las rocas de un lado aparecerán posadas sobre las del otro. El lado más alto, o superior, se llama labio elevado o subyacente; el inferior se denomina labio hundido o yacente. En una falla normal, producida por tensiones, la inclinación del plano de falla coincide con la dirección del labio hundido. En una falla inversa, producida por las fuerzas que comprimen la corteza terrestre, el bloque llamado labio hundido en la falla normal, asciende sobre el plano de falla; de esta forma, las rocas de los estratos más antiguos aparecerán colocadas sobre los estratos más modernos, dando lugar así a los cabalgamientos.

Figura 2. Los cuatro tipos principales de falla ⁸



⁸ Fuente: Enciclopedia Encarta, Microsoft Corporation.

A veces, además de producirse este movimiento ascendente también se desplazan los bloques horizontalmente, es el caso de las fallas de desgarre o en cizalla. Si pasa tiempo suficiente, la erosión puede allanar las dos paredes destruyendo cualquier traza de ruptura de la superficie del terreno; pero si el movimiento de la falla es reciente o muy grande, puede dejar una cicatriz visible o un escarpe de falla con forma de precipicio. La figura 2 presenta las 4 principales tipos de fallas.

2.2.1 Análisis de las fallas

Diremos, pues, que las fallas son superficies de fractura a lo largo de las cuales se desplazan los lechos de roca, con movimientos relativos entre las dos secciones de roca que se fracturaron, y pueden representar unos pocos centímetros o muchos kilómetros.

Es de vital importancia su análisis y darle la atención adecuada en el ámbito geológico para los sitios de construcción, dado que constituyen una fuente de peligro para las obras de ingeniería, en las plantas nucleares a sido de un control más riguroso de lo que necesitan otras obras, aunque las fallas bajo las cimentaciones de las presas siempre se han considerado muy graves, estas se han diseñado de acuerdo con ello.

Las zonas de falla están llenas de un material desgranado, que comúnmente se conoce como relleno y que puede ser inadecuado para construir; **sin embargo; es más seria la acción frecuente que hace que la fallas funcionen como conductos por donde puede penetrar el agua del subsuelo**, es por este motivo que la perforación de un pozo mecánico debe de considerar su existencia, ya que, pueda que el pozo quede en las cercanías de una falla y pueda albergar dificultades para el abastecimiento de agua.

En el caso que se convenga una perforación: **1.** Se tendría que perforar un pozo mas profundo, **2.** El pozo tendrá muchos derrumbes, tanto en la perforación como

en su limpieza, **3.** El revestimiento del pozo tendrá una serie de dificultades, y esto obviamente encarecerá, enormemente la obra, **4.** Finalmente no es aconsejable la perforación de un pozo con fallas geológicas activas y no activas(aunque en estas últimas el tiempo en que ocurrió una falla es largo, el riesgo se debe de evidenciar al contratar la obra, ya que hasta cierto grado es impredecible, si una falla no activa, se vuelva a activar).

Es muy conocido que los estratos de la corteza terrestre se mantienen siempre en procesos dinámicos y el quebrantamiento, que se producirá en el próximo acomodamiento de las capas de de la tierra, darán lugar a la activación de la falla (cuando ya existe una), y esto podría cambiar las condiciones del agua subterránea.

2.2.2 Marco tectónico (fallas) en Guatemala

El territorio nacional esta repartido en tres grandes placas tectónicas: **1.** La placa de Norteamérica, **2.** La placa del Caribe, y **3.** La placa de Cocos. Los movimientos relativos entre estas determinan los principales rasgos topográficos del país y la distribución de los terremotos y volcanes.

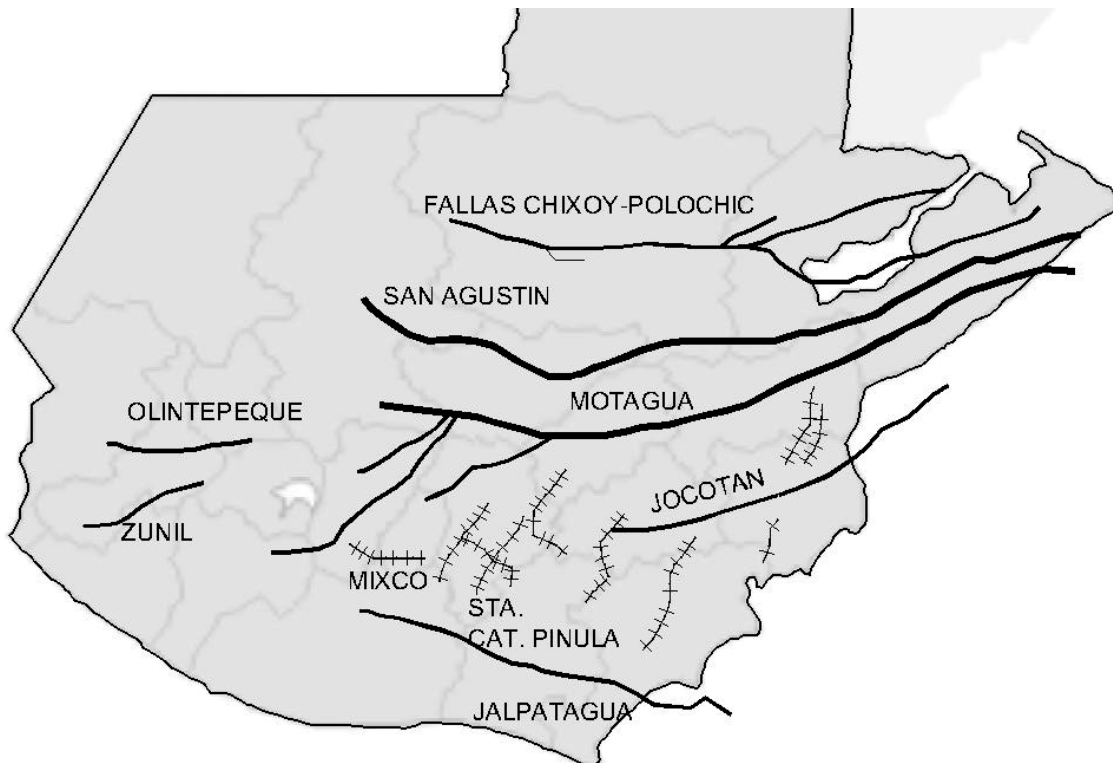
El contacto entre las placas de Norteamérica y del Caribe es de tipo Transcurrente su manifestación en la superficie son las fallas del Chixoy-Polochic y Motagua.

El contacto entre las placas de Cocos y del Caribe es de tipo Convergente en la cual la placa de Cocos se mete por debajo de la placa del Caribe (fenómeno conocido como subducción). Este proceso da origen a una gran cantidad de temblores y formación de volcanes. El contacto entre estas dos placas esta aproximadamente a 50 Km. frente a las costas del Océano Pacífico

A su vez, estos dos procesos generan deformaciones al interior de la placa del caribe, produciendo fallamientos secundarios como: Jalpatagua, Mixto, Santa Catarina Pínula, etc. La figura 3 representa las fallas más grandes que existen en

Guatemala, aunque existen muchas más, representaremos aquí la mas importantes. Una búsqueda más minuciosa nos pondrá en contacto con un área en particular, esto lo podemos efectuar en el departamento de geofísica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrológica, por sus siglas – INSIVUMEH-

Figura 3. Mapa de las fallas más importantes que existen en Guatemala⁹



En todo caso será la empresa contratada para la perforación de un pozo mecánico la que evidenciará este aspecto, aquí solo presentamos al lector una guía muy ligera para que se puedan efectuar preguntas al contratista, de forma que se tengan los elementos de juicio para tomar una decisión.

⁹ Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología, e Hidrología, por sus siglas –INSIVUMEH- departamento de Geofísica

Regularmente los sismos o temblores se producen por el movimiento relativo entre dos parte de la corteza terrestre, a lo largo de una falla. En la tabla II se mencionan históricamente los más importantes terremotos.

Tabla II. Movimientos sísmicos en Guatemala¹⁰

Tabla de los movimientos sísmicos de origen tectónico en Guatemala
Movimiento relativo entre dos partes de la corteza, a lo largo de una falla
estos por su caracterización los tipificaremos por terremotos

No	Población/es Afectadas	mes/ año	hora	Magnitud	Latitud	Longitud	Profundidad aproximada	Interpretación
1	Quetzaltenango Sololá	18/04/1902	20:23:50	7,5	14,9 Norte	91,5 Oeste	60 Km.	sismo fuerte
2	Cuúlapa Santa Rosa	07/03/1913	8:55	7,5	14,9 Norte	91,5 Oeste	n/existe localización exacta del epicentro	destrucción de Cuúlapa
3	afecto varios departamentos Guatemala Quiché, Sololá	06/08/1942 San Marcos Sacatepéquez Totonicapán	23:37,0	8,6	13,9 Norte	90,8 Oeste	60 Km. Huehuetenango	de moderado a fuerte, destrucción parcial
4	Ixcán, Quiché	20/02/1959	18:16,3	no hay datos	15,94 Norte	90,59 Oeste	48 Km.	daños considerables
5	Guatemala y varios departamentos	04/02/1976 activación del Sistema de	03:03.33 fallas de Mixco	7,5	15,32 Norte	89,1 Oeste	5 Km. altas aceleraciones	destrucción fallas visibles fallas
5	Uspantán,	11/10/1985	03:39.17	5.00	15,3 Norte	90.9 Oeste	5 Km.	destrucción casi total
6	Pochuta,	18/09/1991	03:48.13	5,3	Sur Oeste		5 Km.	destrucción 80% Sn. Miguel Pochuta
7	Tucurú Baja Verapaz	19/12/1995	14:53.06	5,3	15,301 EN	90.15 EW	10 Km.	pequeños daños

2.3 Mantos subterráneos o acuíferos

Acuífero, en hidrología, capa permeable de roca capaz de almacenar, filtrar y liberar agua. La capa de roca (o estrato) contiene muchos poros que, cuando se

¹⁰ Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrológica, –INSIVUMEH- departamento de Geofísica

conectan, forman una red que permite el movimiento del agua a través de la roca. Si el acuífero se dispone sobre un nivel de roca impermeable, el agua no pasará a niveles inferiores desplazándose lateralmente. Los acuíferos se clasifican, según la estructura geológica, en acuífero o manto libre, semi-confinados y confinados. Un acuífero libre consiste en una zona impermeable que sirve de base a una zona permeable saturada de agua, sobre la que existe una capa permeable sin saturar.

Si el estrato está cubierto por una capa también impermeable, el acuífero recibe el nombre de acuífero confinado. Este tipo de acuífero presenta una permeabilidad muy pequeña o nula y, a veces, al estar envuelto por estratos impermeables suprayacentes y subyacentes, impiden al agua moverse más allá de la región confinada. Cuando esto último sucede y ocupa una cuenca más o menos extensa, se habla de cuenca artesiana. Aquí, el agua suele estar sometida a fuertes presiones por lo que, en los pozos abiertos en estas cuencas, denominados **pozos artesianos**, el agua asciende hacia la superficie, que a menudo alcanza sin necesidad de bombeo. Por tanto, el agua almacenada puede liberarse a través de manantiales y pozos. La mayor cuenca artesiana del mundo se encuentra en las tierras altas del este (Easter Highlands), en Australia, y cuenta con unos 9.000 pozos. Pero hay pocos acuíferos verdaderamente confinados; la mayoría recibe apreciables cantidades de agua por filtración, lentamente, durante largos periodos de tiempo, por una de las capas de confinación; reciben entonces el nombre de acuíferos semi-confinados.

En los acuíferos o mantos hay que distinguir, normalmente, una zona de recarga –por donde entra agua al acuífero- y otra zona de descarga –por donde sale el agua del acuífero-, pudiendo localizarse estas zonas en superficie o en otros acuíferos subterráneos.

Los materiales típicos de los acuíferos se pueden agrupar en cársticos, que agrupan a calizas y dolomías; porosos inter-granulares, compuestos por gravas y arenas; y de carácter a la vez cárstico y poroso, típico de calcarenitas marinas del terciario. En la cuenca de ciertos lugares, por ejemplo, el acuífero principal es de yeso.

La cantidad total de agua que puede encerrar un manto subterráneo está condicionado por el volumen de los espacios vacíos, es decir por la porosidad total del terreno

adyacente; sin embargo; los estudios de los tipos de agua nos muestra que no todo el volumen de agua contenido en el manto puede ser puesto en movimiento, es decir ser liberado por bombeo.

Esta noción nos permite hablar del agua de retención, es decir del agua retenida en la roca después del desagüe o por el terreno después del bombeo.

Para los casos particulares de la búsqueda del agua subterránea, será la decisión del hidrólogo, que se contrate para que él determine la cantidad de recarga del manto hídrico después de una jornada de bombeo, y esto obedecerá a los requerimientos de la entidad (municipalidad o ente privado) que contrate a la empresa perforadora, indicándole la necesidad de agua durante un mes promedio.

En síntesis, una empresa perforadora tomara nota de la demanda de agua a que este sometido el contrato, y tendrá la evaluación interna de la zona de perforación, donde el volumen inicial del agua, cuya superficie libre se equilibra con el nivel piezométrico de las aguas subterráneas, cuando se da lugar a la extracción de agua hacia la superficie, hace que el nivel dinámico del agua descienda y provoque una diferencia de presión, para lo cual se debe de considerar, un equilibrio de presión y de la recarga de agua en las cavidades que van quedando libres. Estas y otras consideraciones (que no son expuestas en este trabajo de investigación, ya que es materia de hidrogeología y no una guía para el lector común) deben ser evaluadas al detalle por la empresa perforadora contratada, de manera que pueda dar sostenimiento en el contrato, al volumen de agua requerido.

2.4 Humedales

Las zonas pantanosas, marismas y turberas, conocidas con el nombre colectivo de humedales, son ecosistemas en la frontera entre agua y tierra. Independientemente de su vegetación, cada humedal se encuentra sobre un sustrato que está saturado de agua, al menos parte del año. Los humedales se encuentran en todos los tipos de regiones de vegetación natural, aunque la mayor parte de ellos son demasiado pequeños para estar representados en los mapas a pequeña escala.

Los pantanos y zonas pantanosas son áreas de vegetación inundadas. Las zonas pantanosas de agua dulce pueden situarse en las orillas de un río o en las llanuras de inundación. Otras pueden encontrarse en los márgenes de lagos o en depresiones cenagosas. Son ejemplos de grandes zonas pantanosas las selvas anegadas *várzea* e *igapó* en la Amazonía; los pantanos de Okefenokee Swamp y Big Cypress Swamp y las tierras bajas del río Mississippi en los Estados Unidos; y los pantanos de la cuenca del Congo y del curso medio del Nilo en África. En Europa, las principales zonas pantanosas son las de las desembocaduras de los ríos Danubio, Ródano, Po y Ebro.

Los manglares son el tipo de vegetación de las desembocaduras de los ríos o de las zonas costeras, de forma que el agua que inunda las raíces (y, en ocasiones, los troncos y las copas) de los árboles con la subida de la marea es salobre o salada. Las especies que crecen en los manglares pertenecen a diferentes familias, pero todas ellas están adaptadas a este medio. Los manglares son muy frecuentes en las zonas tropicales y ecuatoriales. Un manglar importante es el que se desarrolla en la región de Sundarbans de Bangladesh, donde el río Ganges desemboca en el Golfo de Bengala. Otros manglares importantes se encuentran en Filipinas, Isla de Nueva Guinea y Belice. En Guatemala se encuentran en todo el litoral pacífico. En la desembocadura del Níger, en el Golfo de Guinea, el manglar ocupa más de 10.000 km².

En las marismas la vegetación dominante es herbácea. Las marismas de agua dulce bordean los márgenes de numerosos lagos y corrientes de agua, y pueden formarse en cualquier depresión poco profunda en que se acumule agua. En una marisma las hojas y brotes de las plantas se mantienen por encima de la superficie del agua. Las marismas pueden estar cubiertas de agua todo el año o ser estacionales. La región de As Sudd, al sur de Sudán es una marisma inmensa, y también lo son las del Delta del Okavango en Botsuana, los llanos de Venezuela, los pantanales de Brasil, Bolivia y Paraguay y The Everglades al sur de Florida en los Estados Unidos. En las Grandes Llanuras del norte en Canadá y los Estados Unidos hay numerosas depresiones en cuyas marismas anidan la mayor parte de los patos del continente.

Las marismas pueden desarrollarse en agua salobre o salada, al igual que los pantanos. Las marismas saladas de la zona templada son de los ecosistemas más productivos de la Tierra. Desempeñan un papel importante en las cadenas alimentarias de las áreas costeras; muchos de los peces y moluscos se reproducen en las marismas. Casi todas las marismas saladas se encuentran junto a las costas, pero algunas se forman tierra adentro, especialmente en zonas desérticas. Las marismas de The Wash, al este de Inglaterra, la Camarga al sur de Francia y el Parque nacional de Doñana al suroeste de España son extensas marismas, al igual que las de la Bahía de Chesapeake en los Estados Unidos.

Las turberas son humedales en los que se desarrolla la turba, restos parcialmente descompuestos de musgo y otras plantas. Por el contrario, los suelos sobre los que se forman las zonas pantanosas y las marismas se componen de minerales con una mayor o menor proporción de humus orgánico mezclado. Los humedales desarrollados sobre turba son especialmente frecuentes en las frías y húmedas regiones boreales con un alto nivel freático y drenaje insuficiente. En las turberas, el género *Sphagnum* y otras especies de musgo son la vegetación dominante. Como las turberas están anegadas por el agua, principalmente procedente de la lluvia, son por lo general áreas poco fértiles por lo que algunas plantas completan su dieta atrapando y digiriendo insectos.

Los pantanos, con sus juncos, hierbas y arbustos, se mantienen húmedos mediante filtraciones del agua subterránea, corrientes de agua y manantiales y son más fértiles que las turberas. En la región de brezales de la costa atlántica de las Islas Británicas y de Escandinavia, se desarrollan turberas bajas pero no pueden compararse en extensión con las vastas turberas del oeste de Siberia.

Los humedales son un estadio intermedio entre tierra firme y agua en los que su aspecto puede variar radicalmente de una estación a otra, por lo que no son fáciles de clasificar sobre todo en los países industrializados, los humedales se han considerado históricamente un obstáculo para el desarrollo, y en muchos casos se han desecado y colmatado para su posterior explotación. En la actualidad se aprecia cada vez más el enorme valor de los

humedales, que proporcionan un control natural sobre las inundaciones y constituyen el hábitat de peces y de fauna y flora variada.

Los aportes que tienen los humedales a los mantos de agua subterránea son muy insignificantes ya que estos, están en los límites costeros donde, se equipara con el nivel del mar; sin embargo; será un indicativo de la existencia de corrientes subterráneas de agua, cuando estos mantienen un nivel no muy profundo de agua, los humedales tienen un hilo de relación, con las fuentes hídricas, actuando como, el común denominador en la desembocadura en estos, formando deltas de humedad o ciénagas, pantanos, o esteros, etc.

En Guatemala, existen un notable número de humedales, citaremos los más mencionados dentro del ambiente hídrico, estos son: Los humedales que forma el río Motagua, la existencia de grandes áreas de humedales en Peten, todo el litoral del pacífico que se denomina canal de Chiquimulilla, que empieza en la frontera de la república de El Salvador y termina en la frontera de la república de México, siendo el humedal más largo de Centro América, también tenemos humedales en la grutas de Semuc Champey Cobán Alta Verapaz, las cuevas de Anda Mira en Jalpatagua, Jutiapa, Las grutas de San Pedro Mártir, en Escuintla, Manchón Guamuchal, en Retalhuleu, el delta del Polochic en Izabal, los humedales del río Sartún frontera con Belice, la laguna de Guija, Asunción Mita Jutiapa, valles que en un tiempo se consideraron humedales, el valle de Monjas Jalapa, el valle de Atescatempa Jutiapa, la laguna de Retana, en El Progreso Jutiapa, en el valle de Asunción Mita provocada por el río Mongoy, otros valles donde existieron humedales: en ciudad de Guatemala, Villa Nueva, Amatitlán, etc.

2.4.1 Análisis de Humedades del suelo

Humedades: definición. El contenido de humedad del suelo es la cantidad de agua presente en una cantidad específica de suelo.¹¹ Para los propósitos de este trabajo nos limitaremos a referir los distintos métodos de la medición de la humedad del

¹¹ Fuente: Enciclopedia Encarta, Microsoft Corporation

suelo; no así; su procedimiento de medición, será el hidrólogo el que prescriba el más adecuado para efectuar su análisis.

En términos de su peso en seco, esto en porcentaje es:

$$W = (W_w / W_s) * 100; \text{ donde}$$

W_w = peso del agua presente en la masa de suelo

W_s = peso de los sólidos en el suelo

También puede definirse el contenido de humedad como

$$W = (PBH - PBS) / (PNS) * 100; \text{ donde}$$

PBH = peso bruto húmedo (suelo húmedo y recipiente)

PBS = peso bruto seco (suelo seco y recipiente)

PNS = peso neto (suelo seco sin recipiente)

Esto se obtiene al someter el suelo húmedo a un proceso de evaporación de agua con temperaturas de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante un período suficiente para llegar a un peso constante, lo que se logra generalmente entre 18 y 24 horas.

El procedimiento de secado lo podemos efectuar al aire libre, utilizando un horno de convección por gravedad, estufa, horno de microondas etc. Existen otros métodos para la medición de la humedad “IN SITU” como lo son **1.** Los tensiómetros, **2.** Las mediciones geofísicas, **3.** Las sondas nucleares de neutrones.

Independientemente del método empleado para determinar el contenido de humedad del suelo, este nos servirá para elaborar nuestro gradiente de humedad, el cual será un indicativo de nuestra búsqueda; el manto hídrico.

La figura 4 nos presenta un esquema de un gradiente de humedad, en un marco ideal, o teórico.

Figura 4. Gradiente de humedad¹²

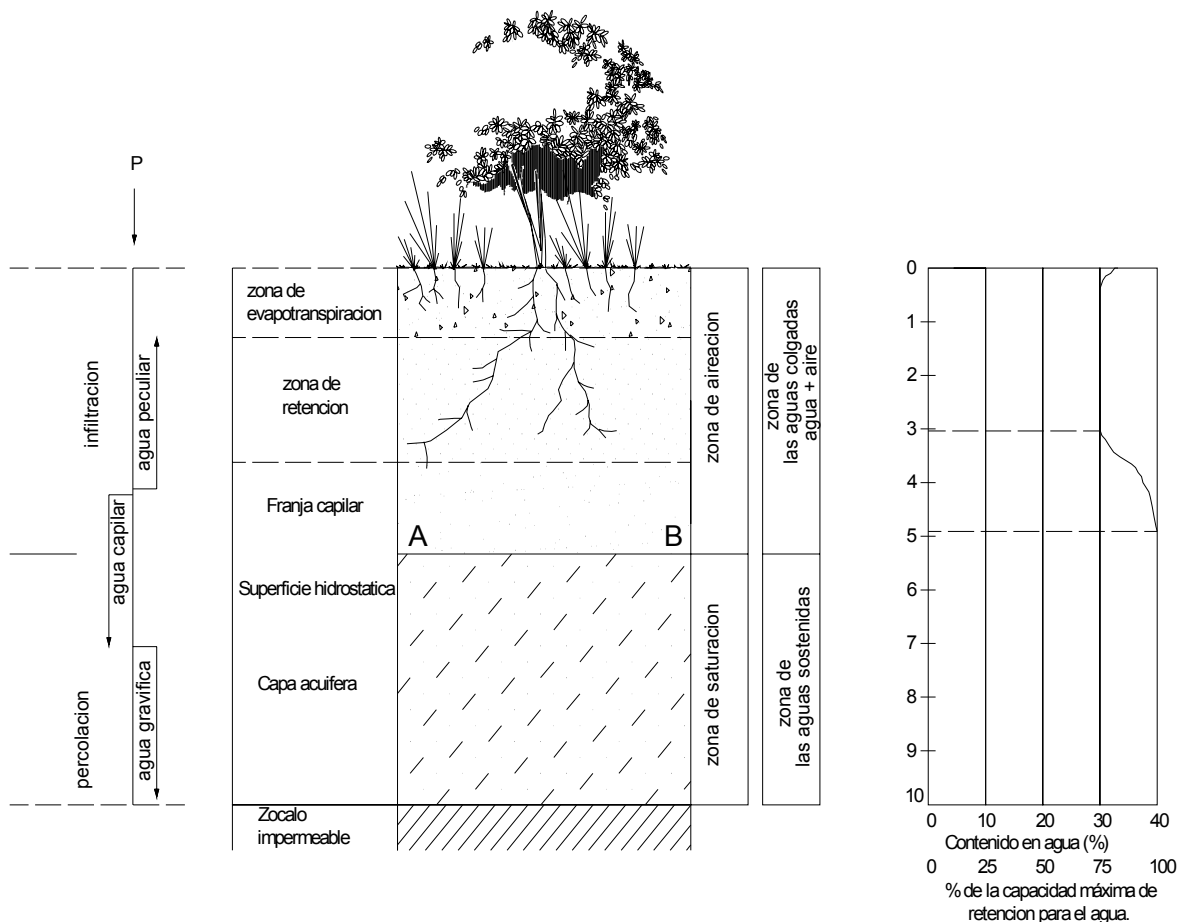


FIGURA No. 2.4: Nos representa un esquema de un gradiente de humedad -un sistema teórico o ideal-

2.5 Niveles y profundidades estimadas

Los niveles y las profundidades que podemos tener en un pozo mecánico, tendremos desde el inicio **la nivelación y verticalidad de la perforación**, es decir mantener un alineamiento del pozo dentro de ciertos límites prácticos si ejerce un cuidado razonable.

La verticalidad puede ser verificada con una plomada y que la rectitud se verifique con un calibrador cilíndrico de 12 metros de longitud y de un diámetro

¹² Fuente: G. Castany, Tratado Practico de las Agua Subterráneas, Ediciones Omega S.A.

ligeramente mayor que el del ademe del pozo (tubería al carbón, en el interior del pozo).

De los dos factores mencionados, la verticalidad del pozo es el de mayor importancia, puesto que es la que determina, si una bomba de tipo turbina vertical puede o no ser instalada en el pozo hasta la profundidad deseada. Las condiciones causantes de que un pozo se tuerza o se halle fuera de plomo son: carácter del material del subsuelo que se atraviesa mientras se perfora, alineamiento del tubo que se usa como ademe, y la fuerza de empuje aplicada a la tubería de perforación, cuando se usa el sistema rotatorio.

Lo recomendable es verificar el alineamiento del agujero varias veces cuando se esta perforando un pozo de una profundidad significativa, esto es muy corriente en la perforación por percusión, se puede economizar tiempo y dinero cuando se toman las medidas necesarias para corregir el alineamiento del pozo tan pronto como se observe alguna tendencia de éste a torcerse o ha estar fuera de nivelación.

Respecto a la profundidad que se espera darle al pozo se determina mediante el registro de prueba, de los registros de otros pozos cercanos en el mismo acuífero o durante la perforación. Generalmente, se perfora el pozo al fondo del acuífero, esto es lo mas indicado por dos razones **a.** Se utiliza mayor espesor del acuífero como sección de captación del pozo, lo que mejora su capacidad especifica de producción, **b.** Puede obtenerse mayor abatimiento disponible, permitiendo al pozo rendir un caudal mayor.

Existe excepciones a esta regla; una es; cuando la rejilla se sitúa centrándola entre las partes superior e inferior del acuífero, practica que se usa en ocasiones para lograr un uso más eficiente de una cierta longitud de rejilla en un acuífero artesiano uniforme; otra excepción a la regla básica; cuando se encuentra agua de mala calidad en la parte inferior del acuífero. En tal caso, el pozo deberá completarse

hasta una profundidad que excluya esa agua y obtener así la mejor calidad de agua que se encuentre disponible.

Cualquier parte del pozo que se haya perforado dentro de aquella sección del acuífero que contiene agua de mala calidad, deberá rellenarse cuidadosamente para que el agua no emigre hacia arriba cuando se bombee el pozo. El material de relleno deberá ser relativamente impermeable. A su vez, tendrá características para que se deje compactar solidamente, de modo que soporte a la rejilla sin asentamiento de ésta.

2.5.1 Diámetros a perforar según requerimientos de agua de la población

La elección de un diámetro adecuado es uno de los elementos más significativos en la perforación de un pozo mecánico, ya que incide significativamente en el costo de la obra y al mismo tiempo satisfacer la demanda de agua necesaria; sin embargo; un pozo puede ser o no ser del mismo diámetro, desde la superficie hasta el fondo. Una vez comenzada la perforación con un entubado de diámetro dado, puede que las condiciones internas en la perforación u otros factores hagan necesarios la reducción del diámetro y así terminar la parte inferior del pozo en un diámetro menor.

En la elección del diámetro se deben tomar en cuenta dos requisitos:

1. El entubado debe ser lo suficientemente amplio para que permita acomodar la bomba con la tolerancia adecuada para su instalación y eficiente funcionamiento
2. El diámetro de captación del pozo debe ser tal que garantice una buena eficiencia hidráulica del mismo.

Al escoger el tamaño del entubado el factor determinante es por lo general el tamaño de la bomba que ha de necesitarse para la descarga deseada o potencial del pozo. El diámetro del entubado deberá ser de dos números mayor que el diámetro nominal de

la bomba. El diámetro mínimo del entubado nunca deberá ser menor que un número mayor que el diámetro de la bomba.

En la tabla III se presenta los tamaños de tuberías que se recomiendan para pautas diversas de rendimiento o caudal de bombeo. Que será el caudal que la población demande.

Tabla III. Diámetros recomendados del pozo¹³

No.	Diámetros recomendados del pozo			
	producción prevista del pozo en m ³ /min	Diámetro nominal de los tazones de la bomba en cm.	Diámetro optimo del entubado del pozo en cm.	Mínimo diámetro del entubado en cm.
1	menos que 0,4	10	15,0 DI	12,5 DI
2	0,3 a 0,7	12,5	20,0 DI	15,0 DI
3	0,6 a 1,5	15	25,0 DI	20,0 DI
4	1,3 a 2,5	20	30,0 DI	25,0 DI
5	2,3 a 3,4	25	35,0 DE	30,0 DI
6	3,2 a 5,0	30	40,0 DE	35,0 DE
7	4,5 a 6,8	35	50,0 DE	40,0 DE
8	6,0 a 12	40	60,0 DE	50,0 DE

DI= diámetro interior

DE = diámetro exterior

Al elaborar la tabla, se estableció primero el tamaño del tazón de la bomba más eficiente que debería de utilizarse para bombear una determinada cantidad de agua. El tamaño optimo de entubado se escogió luego de un diámetro dos números mayor que el mejor tamaño de tazón. Se han tomado en cuenta también la velocidad y las pérdidas de carga que resultan del movimiento vertical del agua desde el fondo del pozo hasta la entrada de la bomba, a través de la tubería. Estas pérdidas son pequeñas si se utiliza el tamaño adecuado de tubería indicado en la tabla, correspondiente al caudal respectivo.

Si el tamaño se ajusta a la tabla, se dispondrá del espacio adecuado para la instalación de la turbina vertical; el eje de la turbina constituirá la plomada y no se

¹³ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de: Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, MN 55165 U.S.A.

forzara la bomba, aunque el pozo se encuentre ligeramente fuera de línea y no exactamente a plomo. Esta luz o tolerancia es plenamente adecuada para bombas sumergibles.

Asimismo si la bomba se instala por debajo de algún tramo de rejilla habrá suficiente área anular alrededor de los tazones como para permitir que el agua pase hacia abajo hasta la entrada de la bomba. Con un mínimo de pérdida de carga.

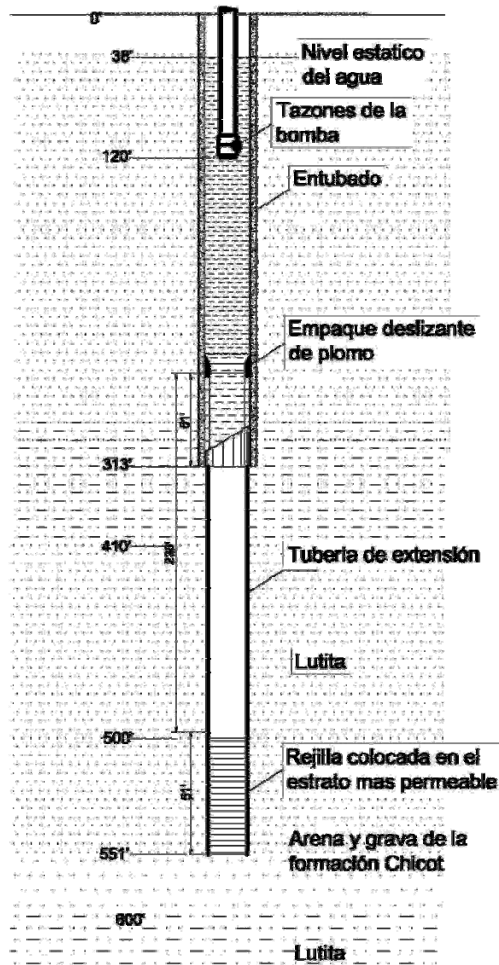
En aquellos pozos profundos donde se manifieste tanto un nivel estático como dinámico, el entubado del pozo puede reducirse a cierta profundidad por debajo del nivel previsto de colocación de la bomba. Esto se hace en muchos pozos que interceptan acuíferos artesianos en los cuales la presión hidrostática es relativamente alta. La Fig. 5 nos presenta un pozo con una reducción de diámetro.

2.5.2 La estimación del caudal del área en estudio, realizada mediante el aforo del pozo

Después de todos los análisis realizados por la empresa de perforación incluso la perforación misma debe de tener una estimación del caudal real del pozo. Para efectuar el aforo del pozo se tiene previo a esto lo que se denomina el desarrollo y limpieza del pozo, tema que se abordara en el capítulo 3 de esta investigación.

Para ilustrar este argumento se contactó a la fuente: Caudales S. A. Con bitácora de aforos página 87 de la comunidad Buena Vista Chinautla, Guatemala; se procedió como sigue: La empresa llevo el equipo de bombeo (motor de 40 HP, bomba de 40 HP cable num. 4/3 y línea a de aire de 1/4 pug.) al lugar se instalo, y se procedió a efectuar el aforo de 24 horas de bombeo continuo. Esta prueba del aforo y la determinación de los niveles estático y dinámico se presentará en el capítulo 3, en la sección 3.5.8; Denominado “Prueba de bombeo (aforo del Pozo) determinación del caudal, tiempo de la prueba: corta, larga o escalonada”.

Figura 5. Reducción del diámetro de tubo con rejilla¹⁴



La figura representa un pozo diseñado para 410 m³/hora, con su rejilla escogida y colocada para derivar la mayor ventaja de la parte más permeable del acuífero; en este caso se podía permitir una reducción de diámetro de la rejilla.

El objetivo del aforo de un pozo mecánico es: **1.** Conocer la producción en galones por minuto (o sea el rendimiento del pozo). **2.** Determinar niveles estático y dinámico del acuífero de manera que nos permita calcular el equipo de bombeo que quedara instalado en el pozo, y **3.** La recuperación hídrica del pozo; así como la transmisibilidad del acuífero.

¹⁴ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de: Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, MN 55165 U.S.A.

3. PERFORACIÓN Y EQUIPAMIENTO DEL POZO MECÁNICO

3.1 Descripción de las operaciones en la perforación de un pozo mecánico

Para la perforación de un pozo mecánico, se deben contactar a las empresas con la experiencia necesaria, en este campo tan apasionante, y delicado; así como; de buenos conocimientos técnicos, y de ingeniería; además; que cuente con el equipo adecuado para trabajar en un área particular de perforación. En esta investigación daremos una reseña descriptiva de los distintos métodos, de uso común en la perforación de pozos en Guatemala.

3.1.1 Métodos de perforación

3.1.1.1 Método de perforación por percusión

El método de percusión, se lleva a cabo, mediante herramientas de cable que, consiste en levantar y dejar caer con regularidad un pesado grupo de herramientas dentro del agujero, que se esta abriendo, el barreno fractura la roca y los convierte en pequeños fragmentos. Cuando se esta perforando en materiales suaves y no consolidados la acción del vaivén de las herramientas entre mezcla con agua las partículas formando un lodo. El agua para formarlo es agregada al agujero cuando no se encuentra presente en la formación que se esta penetrando. El lodo debe ser retirado conforme se va acumulando mediante una bomba de arena o una cuchara ya que retarda la velocidad de penetración.

Para llevar a cabo este trabajo el grupo completo de herramientas de perforación por este método, lo forman cuatro elementos:

1. El barreno. Es esencialmente un triturador y este debe golpear en el fondo del agujero, estando el cable tenso, y en esta forma será levantado por el impulso de la maquina, el cable que sostiene las herramientas de perforación

se denomina línea de perforar, por lo general el diámetro varia entre 5/8" y 1" y su torcido de los hilos es el sentido izquierdo.

2. La barra de pesos. Es la que le imprime un peso adicional al barreno y el efecto de su longitud ayuda a mantener un agujero recto cuando se perfora en roca dura.

3. Las tijeras de perforar. Consisten en un par de barras articuladas. Cuando el barreno se empieza a quedar aprisionado se utilizan las tijeras para aflojar la herramienta, este es su único y principal trabajo.

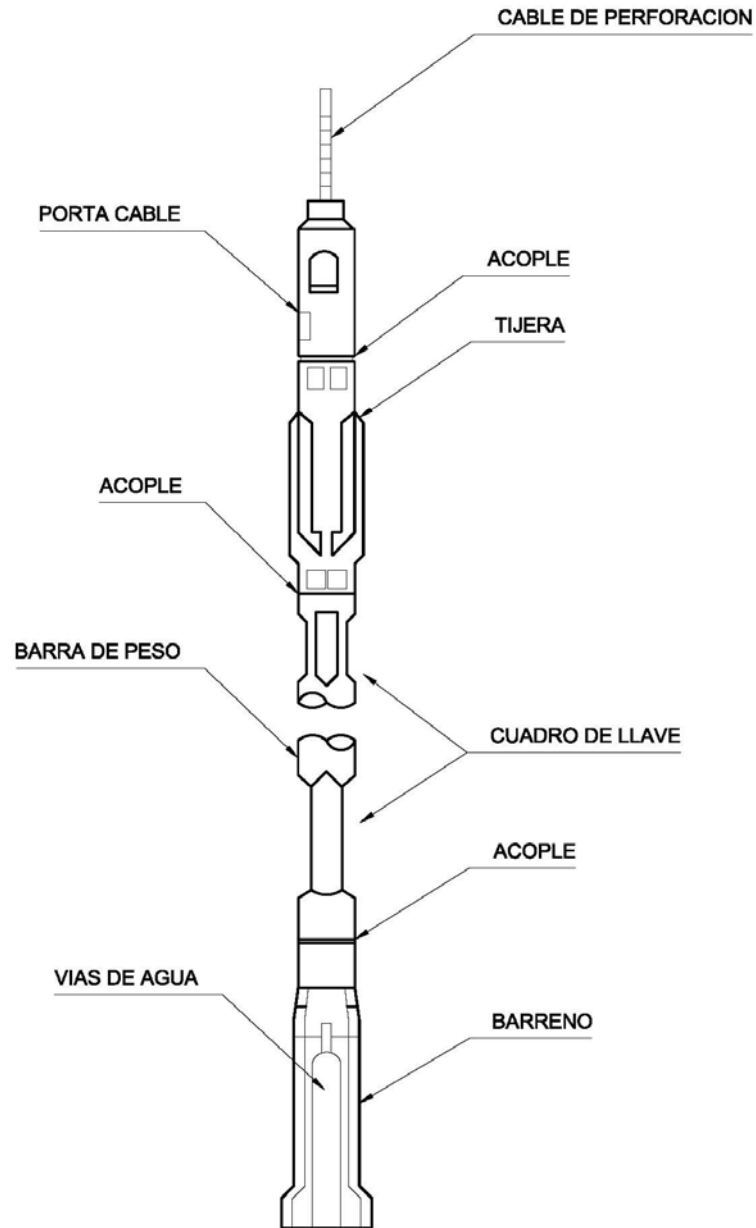
4. El porta cable giratorio. Ésta herramienta, establece la conexión de las herramientas al cable.

Los elementos de un grupo de herramientas se acoplan entre si mediante extremos roscados, estos están designados por la estándar API American Petroleum Institute. La línea de perforar se hace pasar por una polea que se haya en la cumbre del mástil o torre de donde desciende el cabrestante (polea con un mecanismo de trinquete que sirve para enrollar o desenrollar cables con elementos pesados con mucha seguridad) llegando al tambor principal de enrollado

El método de percusión se prefiere en los casos en que se perfora a través de roca cavernosa, con formaciones altamente permeables y estables; así como; en los casos donde existen aglomeraciones de tipo glacial o depósitos aluviales con trozos de roca mezclados.

Los factores que pueden afectar la velocidad de perforación o su eficiencia son: La resistencia de la roca, el peso de las herramientas, longitud de la carrera o el desplazamiento, golpes por minuto, diámetro del barreno, luz entre los acoples de las herramientas y la pared interior del agujero, densidad y profundidad del lodo acumulado. Las figuras 6 y 7 muestran los elementos que componen una sarta de herramientas de perforación. Y los componentes de un equipo de perforación por el método de perforación respectivamente.

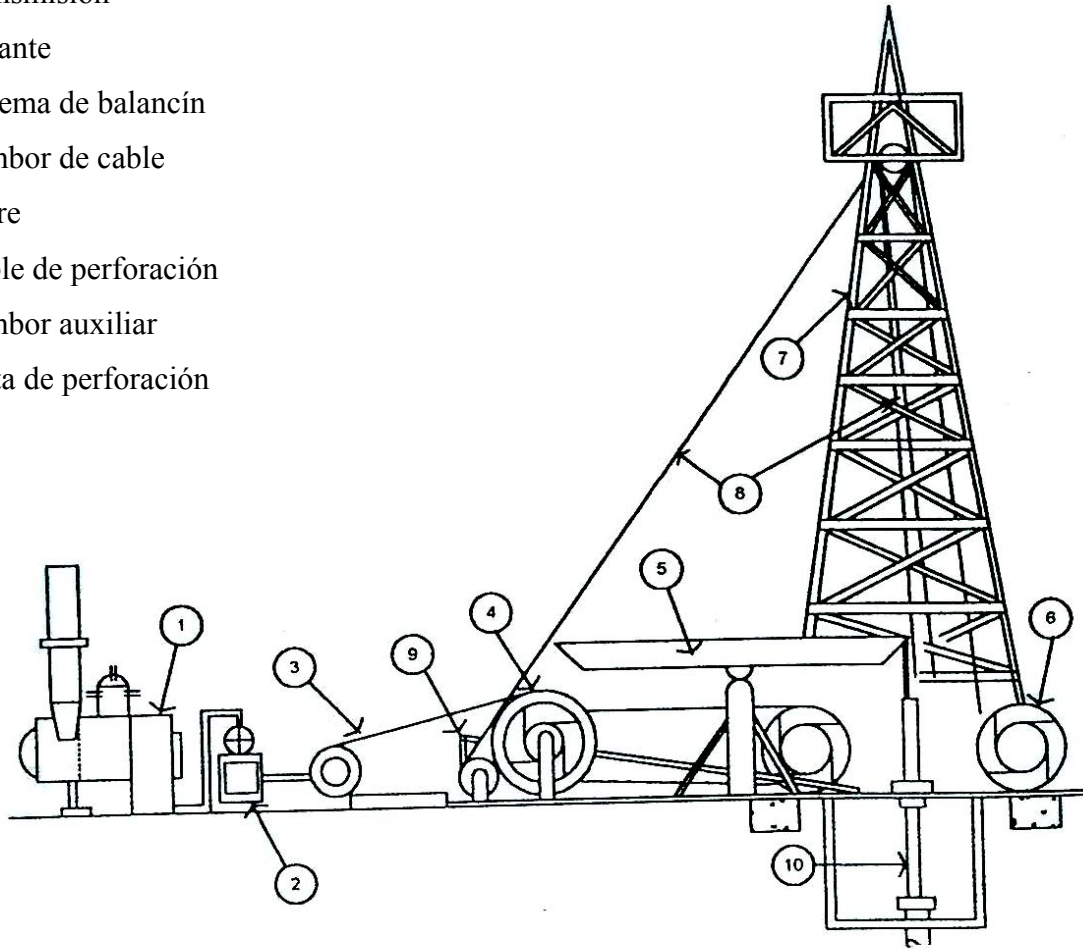
Figura 6. Sarta de herramientas de perforación –método de percusión-¹⁵



¹⁵ Fuente: Apuntes de aspectos en el estudio del agua subterránea, 1era edición, por Jaime A. Tinajero González 1,992 UNAM.

Figura 7. Componentes de un equipo de perforación por percusión¹⁶

1. Fuente de potencia
2. Maquina motriz
3. Transmisión
4. Volante
5. Sistema de balancín
6. Tambor de cable
7. Torre
8. Cable de perforación
9. Tambor auxiliar
10. Sarta de perforación



Ventajas del método de percusión

- a) Son equipos fácilmente transportables
- b) El costo de operación es mas económico, debido a que se requieren cuadrillas de personal reducidos; así como; por la baja potencia consumida.

¹⁶ Fuente: Apuntes de aspectos en el estudio del agua subterránea, 1era edición, por Jaime A. Tinajero González 1,992 UNAM.

- c) Por su bajo consumo de agua, lo hace superior en emplazamiento en donde se carece de fuentes de abastecimiento.
- d) La porosidad y permeabilidad originales de los acuíferos, se conservan mejor, debido a la reducida cantidad de materiales coloidales y químicos necesarios para el acarreo de los detritos, durante las maniobras de limpieza en los avances de la perforación.
- e) Hay una determinación del nivel freático durante la perforación.

Desventajas del método de percusión

- a) Su falta de rigidez en la sarta de perforación, puede ocasionar problemas de verticalidad del pozo, presentándose siempre una tendencia a la desviación por la influencia de las formaciones o fracturamientos de las rocas.
- b) El cable que opera las herramientas de perforar es relativamente elástico, lo que reduce sus efectos de golpeteo y como consecuencia, el efecto cortante de las barrenas a medida que avanza la profundidad del pozo.
- c) Cuando se rompe el equilibrio de las rocas perforadas, el ángulo de reposo en las paredes del pozo se dificulta algunas veces, provocando derrumbes que retrasan los avances de la obra.
 - d) Comparativamente, es un sistema de perforación económico pero lento, teniendo grandes limitaciones en cuanto a profundidad y diámetro.
 - e) No se puede perforar en cualquier formación.

3.1.1.2 Método de perforación por rotación

Este método consiste en hacer un agujero mediante la acción rotatoria de un trepano y remover los fragmentos que se producen con un fluido que continuamente se hace circular, conforme el trepano penetra en los materiales de la formación. El trepano se coloca en la punta de un grupo de tubería, el lodo de perforación es bombeado a través de la tubería expulsado por la boquillas de esta, el lodo entonces fluye verticalmente hacia la superficie a través del espacio anular que se halla alrededor de la tubería.

Después el fluido es conducido a una fosa de sedimentación y de ahí a otro de reserva, en este es nuevamente succionado por la bomba una vez que su contenido de fragmentos de halla sedimentado.

En este sistema se utilizan dos tipos generales de trépanos que son el de: **1. Broca de rodetes dentados.** Usualmente son utilizados para formaciones muy duras estos son dotados de dientes endurecidos por carburación (proceso al carbono), existen en una gran variedad de formas y de dientes con separaciones diversas, una variante de esta broca es **1.1 La broca de Botones.** Esta consiste de tres botones incrustados de material muy duro, estos ejercen una acción cortante y de trituración, logrando cortar las formaciones duras con mucha efectividad. Y, **2. El de aleta de arrastre.** Este comprende el tipo de cola de pescado o el de tres aletas. Básicamente estas actúan como una herramienta cortante que bate el material en un determinado ángulo de corte para la primera aleta, luego la segunda termina el corte y así sucesivamente.

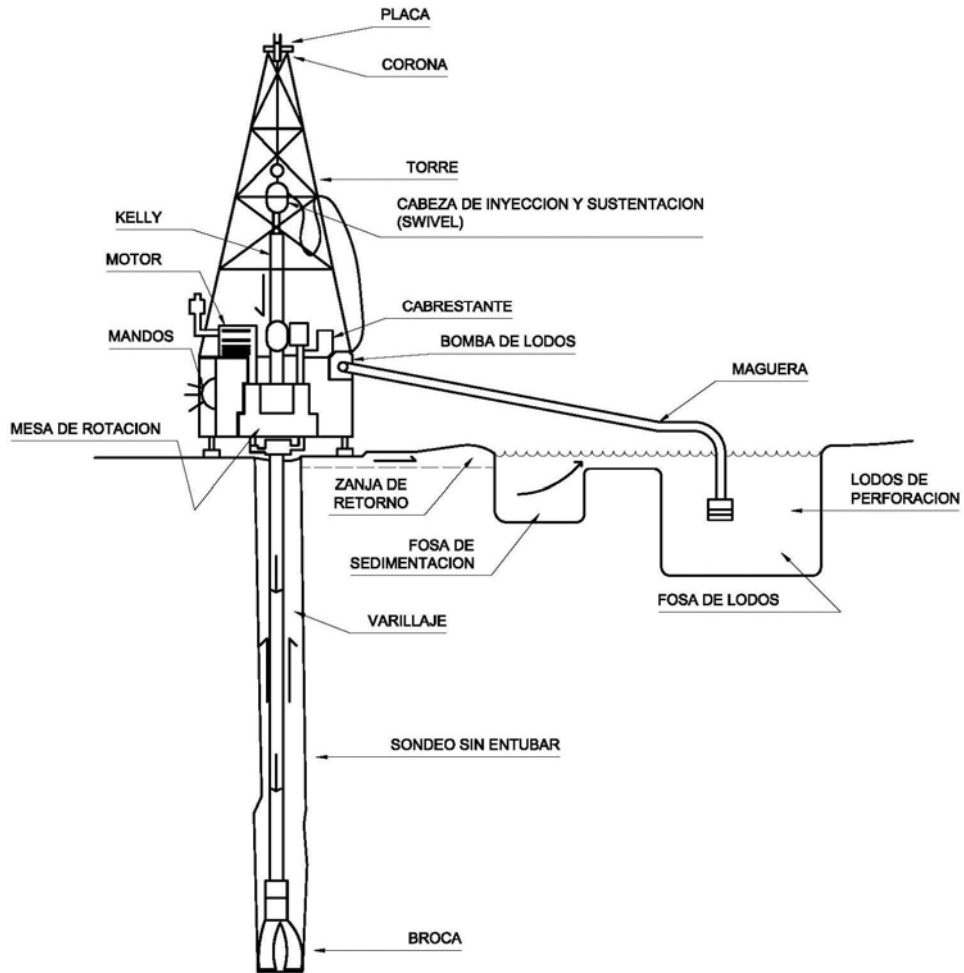
Desde el interior del trepano y en la parte superior de cada rodete, se hace dirigir un chorro de fluido de perforación que lava las superficies que ha sido cortadas.

En terrenos rocosos es necesario instalar la barra de peso, ya que esta proporciona un mayor empuje al grupo de herramientas y consecuentemente aumenta la velocidad

de perforación en este tipo de terrenos. En la utilización de este método es necesario considerar varios aspectos para su utilización:

- a) En formaciones sedimentarias el método de rotación es uno de los más recomendables
- b) El método de rotación es muy bueno para perforar en roca.
- c) Es fundamental tener en cuenta la interrelación esencial del trépano con el fluido, para comprender claramente los fundamentos de la perforación rotatoria.
- d) Los elementos claves de este método, es el trépano y el fluido o lodos de perforación. Ambos resultan indispensables al cortar y mantener el avance de corte del agujero, todos los elementos que constituyen la máquina de perforación de este método, se diseñan para realizar las funciones de: operación del trépano y para la circulación de los lodos de perforación.
- e) Es muy importante comprender las funciones esenciales del fluido o de los lodos de perforación, ya que éste debe de realizar las siguientes actividades:
 - Estabilizar las paredes del agujero
 - Recoger los fragmentos del fondo del pozo
 - Sellar las paredes del agujero para reducir la pérdida de circulación
 - Mantener los fragmentos en suspensión cuando la circulación cesa
 - Enfriar y limpiar el trépano
 - Lubricar los cojinetes del trépano, la bomba de lodo y la tubería de extracción

Figura 8. Componentes principales del sistema de perforación por rotación¹⁷



Ventajas del método de rotación

- a) La capacidad de perforaciones de formaciones de roca dura, actualmente existen técnicas mas avanzadas en la perforación de pozos que aplican este método,

¹⁷ Fuente: Apuntes de aspectos en el estudio del agua subterránea, 1era edición, por Jaime A. Tinajero González 1,992 UNAM.

permitiendo que se logren mejores velocidades de perforación y por su popularidad, existen en el mercado una variedad de diseños de máquinas y herramientas que permiten hacer una buena selección del equipo.

- b) El uso de los lodos de perforación y sus propiedades de los fluidos químicos que circulan durante la perforación ayudan a mantener en equilibrio las paredes del pozo. Con una hidráulica de circulación apropiada mantiene limpio el pozo, previniendo en muchos casos la invasión de agentes extraños a las zonas saturadas con agua, además de que dicha limpieza en el pozo ayuda a mantener el efecto cortante de las barrenas. Las tuberías utilizadas por este método, son perforadas por el centro para permitir el paso de los lodos de perforación.
- c) El sistema permite, en la mayoría de los proyectos de pozos programar tentativamente el tiempo requerido para la obra ya que los ejecutores pueden variar convenientemente las condiciones que influyen en la velocidad de la penetración.
- d) Las sargas de perforación a base de tuberías lastra-barrenas y estabilizadores, pueden obtener una rigidez que permiten mantener el pozo dentro de su verticalidad, con lo cual se logra que los intervalos que se forman para servir como cámaras de bombeo, se construyan bajo las normas de verticalidad, evitando con esto los problemas mecánicos que se presentan en los equipos de bombeo, cuando los pozos tienen quiebres que obligan a las tuberías y flechas a trabajar con flexiones que producen desgastes excesivos .
- e) La tubería es perforada por el centro y permite el paso de lodos de perforación.

Desventajas del método de rotación

- a) Requieren de un suministro de agua continuo y esta razón su operación se dificulta en ocasiones, donde no existen fuentes de abastecimiento.

- b) Cuando se perforan zonas muy permeables y de baja presión se producen grandes pérdidas de circulación de lodos, lo cual puede afectar las condiciones hidrogeológicas de los acuíferos, volviendo muy difícil la situación, cuando no es posible continuar la perforación a base de circulación de agua.
- c) Su costo de operación es alto, porque requiere un mayor número de personal especializado; su consumo de potencia es alto y las herramientas de cortes y otras son de alto costo, de modo que puede resultar antieconómico, cuando no se analiza bien la formación y no se aprovecha su eficiencia.
- d) El costo inicial es alto cuando se adquiere el equipo completo con todas las herramientas de ataque y control
- e) La transportación del equipo requiere en algunos casos de vehículos y grúas especiales, que en lugares de difícil acceso no son fáciles de trasladar.

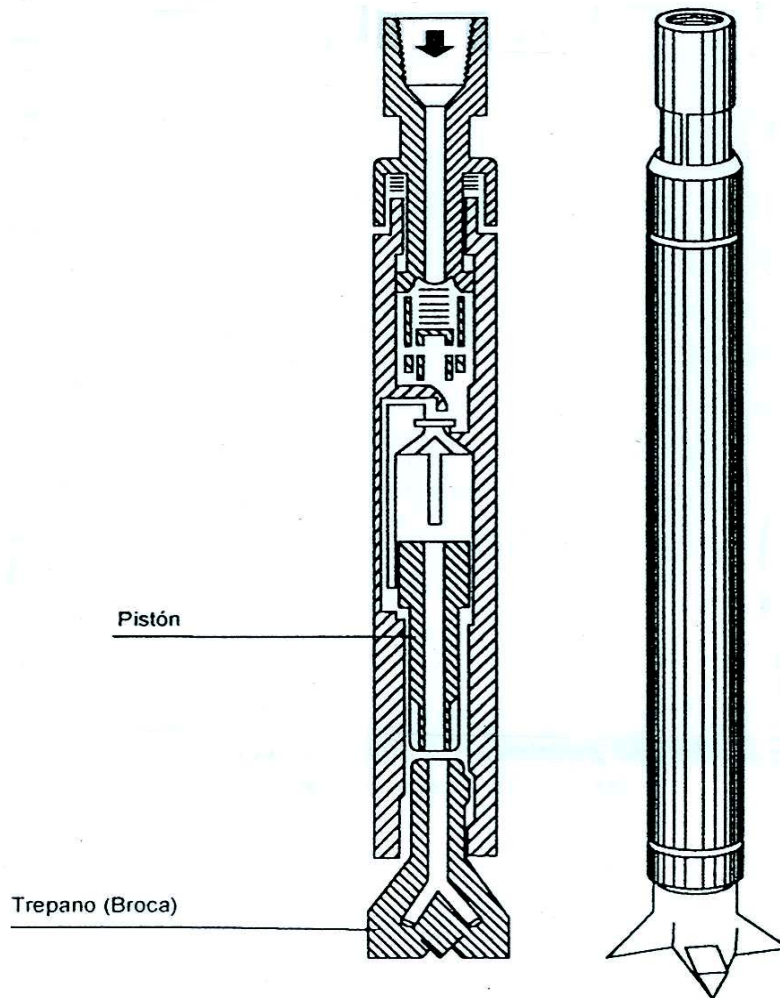
3.1.1.3 Método de perforación por roto-percusión

Este método se define como la combinación de los métodos de percusión y el de rotación, en el cual utiliza un martillo de fondo que tiene forma cilíndrica, terminando en un trépano sobre el que golpea un pistón accionado por aire comprimido. Para que este proceso se de y que el pistón golpee sobre el trépano, es necesario que el martillo este en compresión, es decir, apoyado sobre el fondo y con un cierto peso encima, al elevarse el martillo unos centímetros del fondo el aire suministrado es empleado para el barrido de los fragmentos y limpieza del agujero.

Los martillos tienen su principal empleo en rocas duras y estables, si se perforan en formaciones blandas su avance es muy poco. La perforación con este método permite hacer agujeros de hasta 14 pulgadas de diámetro. La descripción, las ventajas y desventajas de este método están equiparadas a los métodos expuestos anteriormente, será la decisión del perforador la que pesara para la utilización de esta variante de

perforación. Existen otros métodos que son poco utilizados; sin embargo; existen en el medio guatemalteco gente dedicada a la perforación que aun los utiliza, se hará una breve descripción de estos. La figura 9 muestra un martillo de fondo para el método de roto-percusión

Figura 9. Martillo de fondo método de roto-percusión¹⁸



3.1.1.4 Método de perforación rotatorio de circulación inversa

Es una variante de método rotatorio, y consiste en invertir la circulación del fluido de perforar, en el extremo de aspiración de la bomba, en lugar del de

¹⁸ Fuente: Apuntes de aspectos en el estudio del agua subterránea, 1era edición, por Jaime A. Tinajero González 1,992 UNAM

descarga se conecta al vástago giratorio a través del eslabón superior, y de ahí a la tubería de perforación.

El fluido de perforación se desplaza hacia arriba por dentro de la tubería y es descargado por la bomba al foso de sedimentación, éste retorna al agujero mediante flujo gravitacional, en esta forma se desplazara hacia abajo, a través del espacio anular que rodea la tubería hasta alcanzar el fondo del agujero.

3.1.1.5 Método de perforación a chorro

Sistema de percusión a chorro , asta el presente su utilización se ha visto muy limitada en gran parte a perforar pozos de 7.5 y 10 centímetros de diámetro, hasta profundidades de 60 metros, las herramientas de este método consisten de un trépano de forma de cincel fijada al extremo inferior de un grupo de tubería, el agua de perforación fluye en forma ascendente por el espacio anular que se encuentra alrededor de la tubería de perforación, arrastrando así los fragmentos en suspensión, el agua se descarga en la superficie del terreno y de ahí es conducida al foso de sedimentación.

3.1.1.6 Método de perforación por percusión hidráulica

También denominado método de la barra hueca, usa una barra de un grupo igual que el método de percusión a chorro. El trépano también es similar con la diferencia que se halla provisto de una válvula de retención, intercalada entre el trépano y el extremo inferior de la tubería de perforación. La perforación se ejecuta levantando y dejando caer conjuntamente las barras y el trépano mediante carreras cortas y súbitas.

El agua que contiene en suspensión los fragmentos entra a través de los orificios del trépano. Cuando este es halado, la válvula de retención se cierra y atrapa el fluido contenido en ella. Este movimiento alterno continuo produce la acción de bombeo que eleva el fluido, donde descarga en un tanque de

sedimentación, el agua se hace retornar desde el tanque de sedimentación al agujero, completando el ciclo de circulación del fluido.

3.1.1.7 Método de perforación rotatoria con aire comprimido

El equipo rotatorio de perforación que utiliza aire comprimido como fluido de perforar en lugar de lodos de perforación, constituye un avance muy moderno en la industria de perforación de pozos. En este sistema se hace circular aire a presión por la tubería de perforación, el cual escapa por las aberturas del trépano subiendo luego por el espacio anular que rodea a la tubería, el aire que se desplaza a gran velocidad dentro del anillo; éste, arrastra los fragmentos hasta la superficie o los expulsa de las fisuras de la roca.

Este procedimiento sólo se puede aplicar a formaciones consolidadas, y las máquinas rotatorias para trabajar en esta variante deben de estar diseñadas para trabajar de esta forma y vienen equipadas con una bomba convencional de lodo además de compresor de aire de gran capacidad. Los trépanos para la roca, son del tipo rodete, similares a los que se diseñan para la perforación basada en lodo, pueden también utilizarse cuando se perfora con aire.

El otro tipo de herramienta y trépano que se utiliza en el sistema rotatorio con aire comprimido, consiste de un martinete neumático que se halla colocado en los extremos inferiores de la tubería. Éste combina el efecto percusivo de la perforación con herramienta de cable, con la acción rotatoria de los equipos respectivos. El trépano consiste en un martinete con incrustaciones de carburo de tungsteno. La figura 10 ilustra el trépano de perforación rotatoria con aire comprimido.

Figura 10. Martinete neumático¹⁹

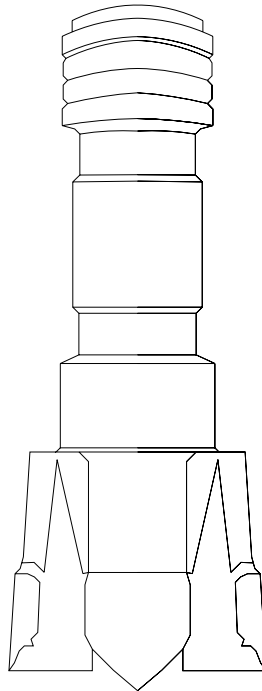


Figura que muestra un trépano utilizado como martinete neumático. El pistón es movido por aire comprimido que produce un rápido golpeteo en la parte superior del trépano; las superficies con carburo de tungsteno, corta y desmoronan los materiales de la formación.

3.1.2 Movimiento y traslado de la maquinaria

Cuando se han llegado al entendimiento de las partes, en cuanto al las condiciones del contrato, selección del área de perforación, selección del método de perforación, la elección del diámetro a perforar, la profundidad que requerirá el pozo la empresa perforadora, se tomara su tiempo para el traslado de su equipo y maquinaria de perforación, los materiales ha utilizar, parte de la tubería, de aquí hasta la entrega del pozo, el balón esta en su campo de juego.

3.1.3 Nivelación de la maquinaria

Al llegar al área de perforación los encargados de la obra procederán a la nivelación del terreno por las irregularidades que pueda presentar, se procede a

¹⁹ Fuente : Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 554645 E.E.U.U.

montar el equipo de perforación, se eleva la torre de la máquina, la nivelación de ésta se busca por medio de las patas hidráulicas, de esta forma se debe de dar inicio, para empezar a perforar un pozo con la verticalidad mas alta posible.

Previo a dar el inicio de la perforación se debe de contemplar la construcción de una fosa para depositar los lodos de perforación y los fragmentos que serán acarreados y depositados para su sedimentación, esta fosa tendrá un volumen aproximado de 9.00 m³, es decir (2.0 m*3.0m*1.5m).

3.1.4 Perforación propiamente del pozo

Al escoger el tamaño del entubado el factor determinante es por lo general el tamaño de la bomba que ha de necesitarse para la descarga deseada o potencial del pozo. El diámetro del entubado deberá ser de dos números mayor que el diámetro nominal de la bomba. El diámetro mínimo del entubado nunca deberá ser menor que un numero mayor que el diámetro de la bomba.

Para los efectos de este ejemplo tomaremos de la tabla IV un rango de producción del pozo entre 1.3 y 2.5 m³/min. (1.597m³/min) Encuadrándose a un galonaje de 422 galones/min (esto es lo que la población demanda en concepto de agua y se buscara el pozo sea capas de tener este suministro, ver sección 3.6.1). Con esto en mente tendremos una producción de 60 m³/hora, que para un plazo de 1 hora y media tendremos un tanque de 100m³ lleno hasta el rebosadero que en realidad es mucho menor que los 100m³ de esta forma tendremos un diámetro de perforación de 32.385cm (12 3/4pulg.) Y un diámetro de tubería optima de 20.32cm (8”), de diámetro interno para lo cual exista suficiente huelgo para acomodar la bomba ver tabla IV; así como; para la captación del agua. Antes de proseguir con este ejemplo de la perforación hablaremos de un tema muy importante en la perforación de pozos.

Tabla IV. Diámetros de recomendados de tubería de pozos²⁰

Diámetros recomendados de tubería de pozos: cortesía de Johnson División				
No.	Producción prevista del pozo en m ³ /min	Diámetro nominal de los tazonos de la bomba, en cm.	Diámetro optimo del entubado del pozo, en cm.	Mínimo diámetro de entubado en cm.
1	menos que 0.4	10.0	15.0 DI	12.5 DI
2	0.3 a 0.7	12.5	20.0 DI	15.0 DI
3	0.6 a 1.5	15.0	25.0 DI	20.0 DI
4	1.3 a 2.5	20.0	30.0 DI	25.0 DI
5	2.3 a 3.4	25.0	35.0 DE	30.0 DI
6	3.2 a 5.0	30.0	40.0 DE	35.0 DE
7	4.5 a 6.8	35.0	50.0 DE	40.0 DE
8	6.0 a 12.0	40.0	60.0 DE	50.0 DE
donde: DI = diámetro interno y DE = diámetro exterior de tubería				

3.1.4.1 La importancia del uso de los fluidos o lodos no tradicionales de perforación

La industria de la perforación de pozos mecánicos para el abastecimiento de agua subterránea, hace necesario el uso de herramientas de corte; sea que; éste se realice golpeando la roca o efectuando el corte en una rotación de la herramienta, independientemente de la forma en que se realice el corte necesitamos un fluido que enfríe la superficie de contacto de la herramienta de perforación que esta realizando el corte con la superficie de la roca, además este fluido también servirá para la lubricación de las partes que tienen el movimiento del corte; de manera mas general diremos, los fluidos o lodos de perforación cumplen con ocho funciones básicas, que son:

- a. Transportar los recortes de la formación hacia la superficie
- b. La suspensión de los recortes cuando se detiene la circulación
- c. Mantener el control de la presión anular
- d. La lubricación y enfriamiento del conjunto de fondo
- e. Sirve de soporte de al pared
- f. Para suspensión del conjunto de fondo y casing
- g. Distribuir energía hidráulica
- h. Brindar un medio apropiado para el perfilaje con cable.

²⁰ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de: Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 554645 E.E.U.U.

Cuando se usan fluidos de perforación se deben minimizar efectos secundarios, y de esta forma poder lograr que las ocho funciones mencionamos anteriormente, cumplan su cometido, estos efectos son:

- Posibles daño de la formación a pozo abierto
- Corrosión del casing y de la columna perforadora
- Según el fluido podrá tener reducción de la velocidad de penetración
- Problemas de circulación, compresión al bajar; y succión al sacar

- Dependiendo de la viscosidad del fluido, podrá tenerse pérdida en la circulación. Por ejemplo los dos fluidos más utilizados en la industria de la perforación de pozos en Guatemala son: **1.-** QUIK FOAM (nombre comercial) es un agente espumante con una mezcla de surfactantes líquidos biodegradables, de alta expansión. Con una viscosidad recomendada de (en función del producto) de 2.5 a 5 litros (el margen para el criterio del perforista) por 1000 litros (agua). **2.-** QUIK GEL (nombre comercial) es un agente gelatinizador de alta producción y viscosificador con una mezcla de Bentonita de Sodio para alto rendimiento. Con una viscosidad recomendada de (en función del producto) de 18 a 40 kg. (el margen para el criterio del perforista) por 1000 litros (agua).

- Aprisionamiento del sondeo
- Dependiendo de la elección del fluido, erosión del pozo
- Decantación en las piletas
- Desgaste de la bomba de lodo

Si no se tiene el debido cuidado, se podrá ingerir contaminación del cemento y del medio ambiente.

3.1.4.2 Análisis de las funciones de los fluidos de perforación

- a. **Transporte de los recortes.** Se debe limpiar el pozo adecuadamente para prevenir que los recortes se acumulen en el anular, lo que puede causar un incremento en el torque, el arrastre, el relleno, y presión hidrostática. Además puede ocurrir aprisionamiento del sondeo, pérdida de circulación, falla del sondeo y reducción de la penetración.

Dado que los recortes son más pesados que los fluidos de perforación, son elevados hacia el exterior del pozo por el fluido que fluye en el anular. La gravedad causara que los recortes caigan hacia el fondo del pozo. La velocidad a la que caen los recortes depende principalmente de: **1.** Tamaño de la partícula **2.** Forma de la partícula **3.** Densidad de la partícula **4.** Viscosidad del fluido.

- b. **Suspensión de recortes.** Los recortes trataran de caer al fondo cuando se detiene la circulación, a menos que el fluido de perforación forme una estructura tipo gel. Esta estructura tipo gel debe de suspender o mantener los recortes en el lugar hasta que se vuelva a iniciar la circulación. Se pueden causar presiones de succión al sacar y compresión al bajar excesivas si el lodo permanece en una estructura tipo gel una vez que se ha comenzado la circulación.
- c. **Presión anular.** Debido a que los fluidos de la formación (petróleo, agua, o gas) se encuentran bajo una gran presión, deben estar balanceados para evitar el flujo descontrolado. La presión hidrostática del lodo en el anular logra esto.
- d. **Lubricación /Enfriamiento.** Como el trépano perfora en el fondo y la columna perforadora gira dentro del mismo, se desarrollan temperaturas excesivamente altas. Este calor debe ser absorbido y alejado del fondo por el fluido de perforación.

El fluido de perforación debe; además lubricar el casing, la columna perforadora y el trépano. Las propiedades lubricantes del fluido pueden ser mejoradas agregando materiales especiales al fluido de perforación, con los beneficios de aumentar la vida útil del trépano, disminuir el torque, y el arrastre, reducir la presión de la bomba, y una reducción en el desgaste de la columna perforadora y la reducción de los pequeños desgastes producidos por la vibración, rotación, y el golpeteo en el casing, (que es el cabezal que sostiene la tubería en la entrada del pozo).

- e. **Soporte de la pared.** La formación puede caer dentro del pozo antes de que el casing haya sido asentado, a menos que el soporte sea reemplazado por fluido de perforación. El soporte que evita que esto ocurra depende de la formación que está siendo perforada. Solo se necesita una pequeña cantidad de este soporte en una formación muy firme, mientras que las formaciones consolidadas o bastante firmes pueden ser soportadas solo mediante la densidad del lodo; sin embargo; en formaciones débiles o no consolidadas el fluido de perforación debe tener la capacidad para formar un revoque delgado y duro dentro del pozo.

- f. **Suspensión.** El peso de la columna perforadora y del casing puede exceder varios miles de libras y desarrollar un esfuerzo extremo en la estructura del equipo. Estos pesos extremos pueden ser soportados parcialmente por la fuerza de flotabilidad del fluido de perforación. Esta fuerza depende de la presión del fluido y del área de la sección transversal sobre la cual actúa la presión.

- g. **Distribución de la energía hidráulica.** Una alta velocidad es desarrollada mientras el fluido de perforación atraviesa las boquillas del trépano durante la circulación. Esta velocidad o fuerza hidráulica mantendrá limpia el área que se encuentra debajo del trépano. Como resultado, el trépano no tendrá que triturar los recortes viejos, lo que podría causar una reducción en la penetración. Las propiedades físicas y la velocidad del fluido de perforación son necesarias para mantener limpia el área que se encuentra por debajo del trépano.

h. Medio de perfilaje con cable. El fluido de perforación es necesario para varias MWD (medición mientras se perfora) y los perfiles con cable que son usados en la evaluación de la formación. Muchos perfiles requieren que el fluido de perforación sea un líquido conductor de la electricidad, que muestre propiedades eléctricas distintas de las de los fluidos en la formación.

3.1.4.3 Descripción de la minimización de los efectos de los fluidos de perforación

- **Daño de la formación.** El daño de la formación puede aparecer de dos formas diferentes; **1.** Producción de hidrocarburo reducida y **2.** Estabilidad de pozo reducida. Casi todos los fluidos de perforación alteran las características de la formación, pero algunas formaciones son más sensibles que otras y algunos fluidos provocan más daños. Las formaciones particularmente sensibles pueden requerir fluidos de perforaciones especiales, o tratamientos especiales.
- **Corrosión.** Los tubulares de acero en el pozo pueden estar sujetos a un ambiente corrosivo, dependiendo del tipo del fluido de perforación, con un agregado de un recubrimiento protector sobre la superficie del acero se puede minimizar el efecto de la corrosión.
- **Reducción de la penetración.** Muchos factores afectan la velocidad de penetración, pero la diferencia entre la presión de la formación y la presión hidrostática es más significativa. Si la presión hidrostática del fluido de perforación es mucho mayor que la presión de la formación ocurrirá una reducción en la velocidad de penetración.
- **Circulación/compresión al bajar/succión al sacar.** Los fluidos de perforación de alta velocidad pueden incrementar la presiones de circulación, compresión al bajar y succión al sacar. Un revoque delgado puede también contribuir a las presiones de compresión al bajar y succión al sacar que pueden dar como resultado una surgencia (para este caso una presión fuera de lo normal). Las viscosidades excesivas limitan el caudal, disminuyen la penetración reduciendo la pérdida de presión a través del trépano, y colocan un esfuerzo adicional sobre la bomba.

- **Pérdida de circulación.** La pérdida de circulación puede ser causada cuando la presión hidrostática excede la resistencia de la formación. Las altas presiones pueden ser también el resultado de prácticas de maniobra inadecuadas, alta densidad y/o viscosidad del lodo, o practicas de perforación inadecuada. Altos costos de fluido y pozo, junto con la posibilidad de admitir una surgencia, resultan de la perdida de circulación.
- **Aprisionamiento del sondeo.** Una cantidad excesiva de recortes en el pozo es una de las causa de aprisionamiento del sondeo, pero el tipo de aprisionamiento mas significativo es cuando el sondeo esta empotrado en un revoque delgado. El aprisionamiento del sondeo puede conducir a trabajos de pesca costosos y a un incremento en el costo del pozo.
- **Erosión del pozo.** Algunas de las dificultades provocadas por la erosión del pozo son los problemas con el perfilaje por cable, la cimentación y el aprisionamiento del sondeo. Existen dos tipos de erosión del pozo: física y química. Bombear el fluido de perforación hacia la parte superior del espacio anular ayudara a reducir la erosión física. La erosión química depende de la reacción química entre el fluido de perforación y la formación.
- **Decantación en las piletas.** La misma resistencia del gel que evita que los recortes caigan dentro del pozo cuando la circulación es detenida puede también evitar que los sólidos no deseados caigan en las piletas (o foso de lodos). La gravedad causa que algunos sólidos caigan en el fondo de las piletas. La mayoría de estos sólidos deben ser eliminados mediante equipamiento de control de sólidos, incluyendo desarenadores y los desilters (elementos con densidad variable) para sistemas no densificados (con densidad no homogénea) y centrifugas, y limpiadores de lodo para sistemas con material densificado.
- **Desgaste de la bomba de lodos.** Los mismos sólidos que fueron mencionados previamente pueden causar el desgaste excesivo de la bomba si no son eliminados del fluido de perforación. El sólido mas abrasivo es probablemente la arena incorporada dentro del fluido mientras se perfora.

Esta arena debe ser eliminada mediante el equipamiento de control de sólidos

- **Contaminación.** Algunos fluidos de perforación que son buenos para las operaciones de perforación son incompatibles con las lechadas de cemento. Un fluido espaciador debe ser usado para separar el cemento y el fluido de perforación. Diferentes aditivos líquidos, sólidos o químicos en los fluidos de perforación pueden causar problemas con el medio ambiente. A veces, un aditivo particular debe de ser reemplazado por un producto menos eficaz y además más caro que no dañara demasiado el medio ambiente en el cual el pozo esta siendo perforado.

3.1.4.4 Ensayos en el campo sobre los fluidos de perforación

Las propiedades del fluido, físicas o químicas, deben ser controladas adecuadamente si el fluido va a ser usado para operaciones de perforación y de reacondicionamiento. Las propiedades del fluido de perforación son controladas en forma rutinaria y registradas en la locación, estas propiedades son: densidad del lodo, propiedades reológicas (viscosidad de embudo), características de filtración (ensayo de baja presión), análisis de filtrado (concentración de sal), y temperatura. Para la realización de estas pruebas “in Situ” la compañía perforadora tendrá su operador instrumentista, para la determinación de estos parámetros. Que en la mayoría de ocasiones el perforista se le asigna este tipo de trabajos. También la experiencia en perforación aunada con el conocimiento de las formaciones hace actuar de forma directa (obviando pasos de instrumentación de propiedades de los fluidos) a los perforistas, con intenciones de acelerar un poco el trabajo.

3.2 Análisis litológico y de registros de las formaciones subterráneas

3.2.1 Análisis de muestreo de los estratos o formaciones obtenido durante la perforación

Prosiguiendo con lo tratado en la sección 3.1.4 tendremos el caso de una perforación de 1000 pies, del proyecto de la comunidad Buena Vista Chinautla, Guatemala. Conforme se avanzó en la perforación se sacaron muestras de los

estratos perforados por intervalos de 10 pies, éstas muestras se guardan en unas recipientes de empaque transparente para muestras hidrogeológicas, y se llevan a la empresa donde éstas muestras; son dispuestas para ser analizadas por un hidrogeólogo competente.

Para los primeros 50 pies se obtuvieron muestras de barro amarillo, al alcanzar la profundidad de 50 a 140 pies se encontró piedra poma blanca, de 140 a 200 pies se encontró roca caliza blanca, de 200 a 380 pies roca blanca con cuarzo, de 380 a 400 pies barro blanco, de 400 a 620 canto rodado con arena, de 620 a 660 roca con barro gris, de 660 a 780 roca gris fracturada, de 780 a 920 cuarzo con arena, y por ultimo de 920 a 1000 pies roca gris con arcilla.

3.2.2 Perfil estratigráfico según el muestreo de la perforación

El perfil estratigráfico de un pozo; no es más que; la esencia de los datos antes mencionados, con una disposición tal para que el analista (hidrogeólogo) de formaciones geológicas potenciales con carga hídrica pueda tomar decisiones sobre el acuífero en estudio, además será una ayuda de vital importancia para el lector común, o a un consultante en particular. Se presentara; pues; el perfil de los estratos de la perforación. La figura 11 ilustra este perfil.

3.3 Registro eléctrico

El registro eléctrico es el sondeo más común de una operación geofísica, y en particular se da cuando el muestreo físico de la perforación no existe. Este sirve para verificar y suplementar el registro descriptivo del agujero que el perforador lleva conforme avanza la perforación.

Un perfil eléctrico consiste de un registro de las resistividades aparentes de las formaciones sub-superficiales y de los potenciales espontáneos generados en el agujero, ambos trazados en función de la profundidad desde la superficie del terreno. Ambas propiedades se relacionan indirectamente con el carácter de las formaciones bajo la superficie y con la calidad del agua contenida en éstas. Estas mediciones solo pueden

realizarse en agujeros no ademados(es decir sin tubería de acero al carbono) y que contengan lodo.

Cuando se hallan secas, tanto la arena como la arcilla muestran resistividades muy altas. Al saturarlas con agua se reduce su resistividad, pero en diferente grado en cada una. Esto sucede porque el agua en un conductor eléctrico y su presencia dentro de los poros interconectados de la formación provee un medio conductor que hace bajar la resistividad global de ésta. El grado hasta el cual la presencia del agua hace descender la resistividad depende primordialmente de la mineralización o del nivel de minerales disueltos del agua de la formación.

Lo anterior se deduce del hecho de que la conductividad eléctrica del agua varía con su contenido de minerales disueltos. El agua destilada es un conductor pobre y de alta resistividad; el agua salada es un buen conductor, de baja resistividad. El agua de saturación en la arcilla siempre se encuentra altamente mineralizada debido a los minerales disueltos en las superficies químicamente activas de los millones y millones de partículas de arcilla que constituyen la formación.

Como resultado de ello, las formaciones arcillosas exhiben una resistividad relativamente baja. Es decir que son formaciones con un potencial de agua alto. En contraposición de lo anterior, las formaciones arenosas saturadas de agua dulce tienen resistividad relativamente alta, puesto que el agua de saturación atrapa solamente pequeñas cantidades de minerales en las superficies de las partículas de arena.

Las formaciones arenosas saturadas de agua salada muestran resistividades tan bajas como las de las formaciones arcillosas. Esto hace casi imposible el poder distinguir una arena con agua salada de un lecho arcilloso, utilizando solamente la curva de resistividad del registro a perfil eléctrico.

Figura 11²¹

**PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL POZO
BUENA VISTA, CHINAUTLA**

Datos importantes

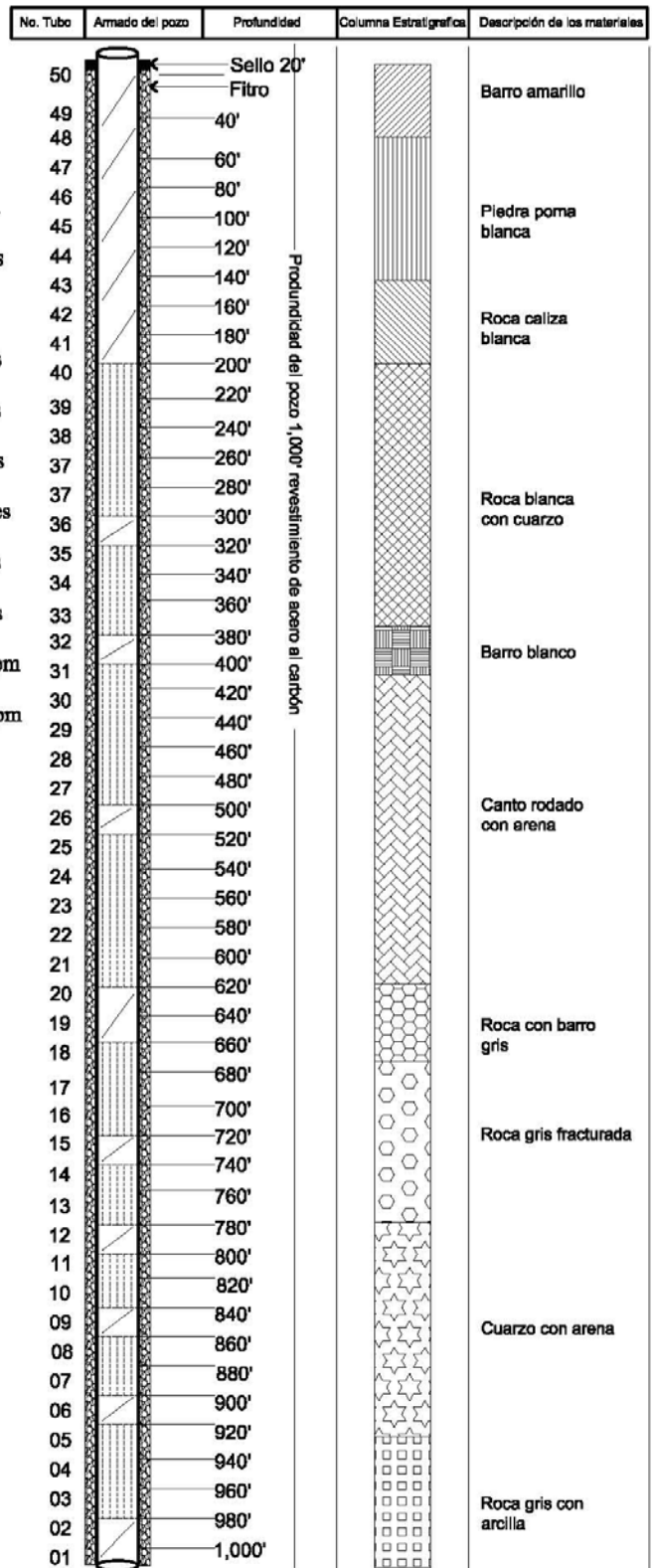
Método de perforación.....	Rotativa
Diámetro de perforación.....	12 3/4 pulg.
Diámetro de tubería.....	8 pulgadas
Temperatura del agua.....	20°
Profundidad del pozo.....	1000 pies
Total de tubería ranurada (o rejilla).....	600 pies
Sello sanitario.....	200 pies
Filtro de grava.....	De 200 a 1000 pies
Nivel estático.....	490 pies
Nivel dinámico de bombeo.....	723 pies
Producción máxima.....	420 Gpm
Explotación óptima.....	400 Gpm



Tubería lisa



Tubería ranurada



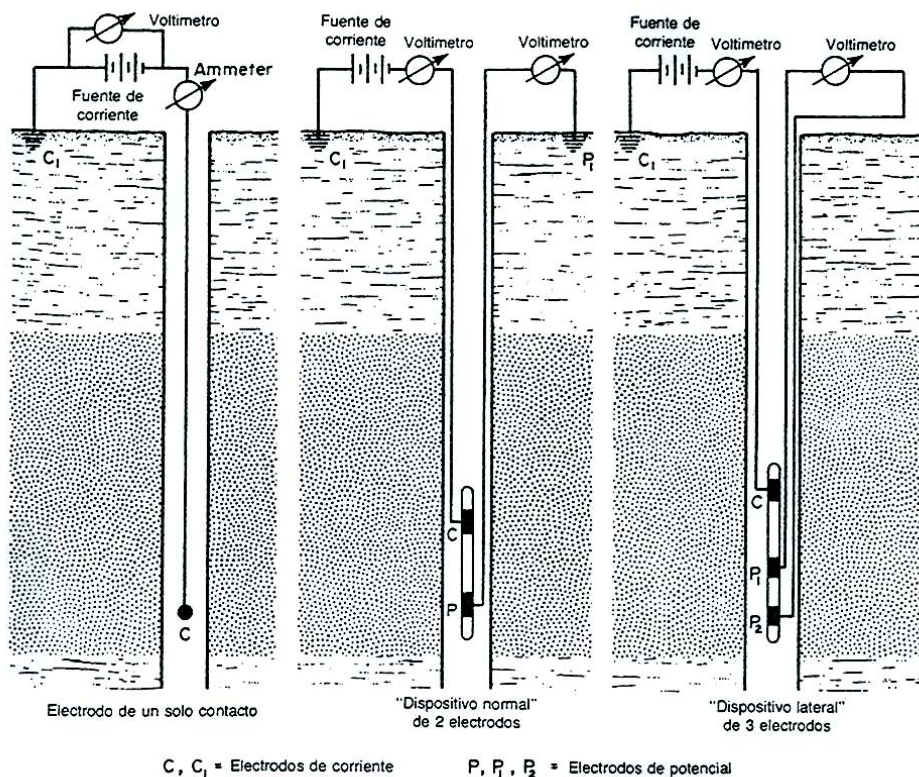
²¹ Fuente: AC Perforaciones. Pozo de comunidad, Buena Vista Chinautla, Guatemala

La interpretación es afectada por varias condiciones, todas las cuales deben tener cierto grado de consideración. estas incluyen: diámetro de la perforación, tipo de fluido dentro de este, carácter químico del agua de la formación, porosidad de la misma, grado de invasión del lodo dentro de la formación y el tipo de electrodos que se utilice.

Una de las variables más importantes al efectuar el registro eléctrico, es la calidad química del agua de la formación. Como una primera aproximación, la resistividad de la formación varía inversamente con los sólidos disueltos contenidos en el agua. Una arena limpia saturada de agua que contenga 600 ppm (partes por millón) de sólidos disueltos, indicara una resistividad de la formación, que es la mitad de la que tendría la misma arena si contuviese agua con 300 ppm de sólidos disueltos. Para un análisis de una formación que cause dudas para su distinción, se dispone de personal altamente calificado para su interpretación, y en alguna manera influirá el equipo instrumentista que se dispone, sin duda se correrán varias pruebas, que el hidrogeólogo determinara con el técnico del registro eléctrico.

Para correr el registro eléctrico se utiliza varios tipos de electrodos la figura 12 muestra las tres configuraciones más ampliamente usadas. El electrodo de un solo contacto es muy popular entre los contratistas de perforación de pozos para exploración de agua, en tanto que los esquemas de electrodos múltiples se utilizan en la industria petrolera y en las compañías que se especializan en labores de geofísica.

Figura 12. Configuración de electrodos registro eléctrico ²²



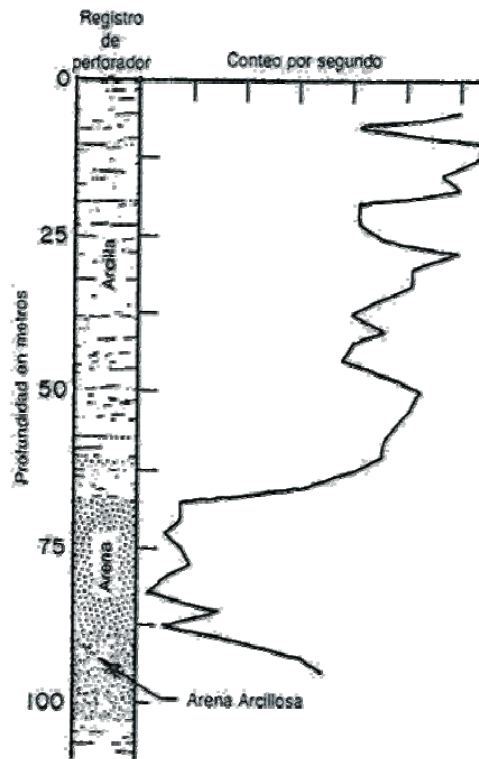
3.4 Registro mediante rayos gama

El registro mediante rayos gama es un procedimiento geofísico de sondeo basado en la medición de la radiación natural de rayos gama, provenientes de los elementos radiactivos que tienen lugar en cantidades variables, en las formaciones sub-superficiales. El registro de rayos gama, también recurrimos a él en ocasiones cuando el muestreo físico de la perforación es inexistente. Como en el caso del registro eléctrico, sirve para verificar y suplementar el registro descriptivo del agujero que el perforador lleva conforme avanza la perforación. La figura 13 muestra una formación analizada con rayos gama.

²² Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de: Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 554645 E.E.U.U. Division de aguas subterráneas.

El registro es un diagrama que muestra la emisión relativa de rayos gama, medida en impulsos por segundo, y en función de la profundidad por debajo de la superficie. La curva que así se obtiene es similar en apariencia a la curva de resistividad de un registro eléctrico corriente.

Figura 13. Registro de formaciones geológicas de rayos gama²³

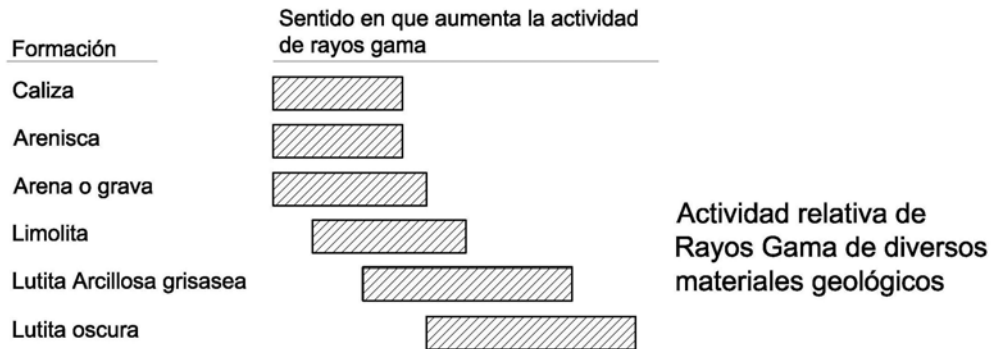


En muchos casos el registro de rayos gama es un indicador más definitivo de la arcilla y de la lutita, que el registro eléctrico. La actividad relativa de rayos gama de diversos materiales se muestran en la figura 14.

El instrumental para registros de rayos gama es mas o menos el mismo que se usa para los registros eléctricos, exceptuando la sonda para el agujero y el mecanismo detector. Se pueden correr registros utilizando un conductor Geiger-Mueller o un contador de

²³ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de: Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 554645 E.E.U.U. Division de aguas subterranas.

Figura 14. Actividad relativa de rayos gama²⁴



centelleos conjuntamente con la unidad sensora que se introduce en el agujero. El contador de centelleos es preferible porque es altamente sensible y la sonda resulta de un diámetro menor.

El circuito de conteo en la superficie convierte el número de pulsaciones eléctricas por segundo que envía la sonda, a voltajes o potenciales que son registrados en forma continua en una cinta o película, conforme la sonda se va haciendo descender dentro del agujero. Los registros de rayos gama se pueden obtener ya sea que el agujero se encuentre o no adornado con tubería de acero. El metal del tubo absorbe una parte de la radiación, pero este tipo de registro puede usarse en ciertos casos en que la presencia del adorno desvirtúa el uso del registro eléctrico.

Los cambios en la calidad del agua tienen poco efecto sobre el registro de rayos gama, de modo que éste resulta de gran valor al identificar la posición del espesor de las formaciones arcillosas que alternan con lentes arenosos conteniendo agua salobre o salada. Caben excepciones cuando la arena incluye partículas rocosas de material que en general es

²⁴ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de: Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 554645 E.E.U.U. Division de aguas subterráneas.

radiactivo. Cuando esto sucede, la arena podría mostrar una emisión de rayos gama similar a la de la arcilla. Se necesita efectuar una comparación con el registro litológico que lleva el perforador, para una interpretación correcta en tales casos.

La experiencia, el conocimiento; así como; la pericia de interpretaciones de estas formaciones, tanto en el análisis litológico; como; en los registros eléctricos y de rayos gama darán como resultado, una interpretación adecuada del acuífero; no es el objetivo de este trabajo de graduación profundizar en este tema, dado que es una especialidad de la hidrogeología, mas bien es dar a conocer que estos métodos darán a la empresa y al eventual dueño de la perforación los elementos de juicio necesarios para conocer los datos del acuífero, en cuanto a su formación hídrica, calidad de agua, su recarga hídrica, . etc. Aunado con los datos del aforo se podrá efectuar un buen dictamen.

3.5 El entubamiento

Una vez el pozo ha sido perforado, realizado su perfil litológico, en unión con la disponibilidad de la empresa perforadora (sí ésta lo considera necesario), la inclusión de los datos de los registros eléctricos o de rayos gama, con las evaluaciones pertinentes del acuífero; entonces; estamos listos para el entubamiento del pozo, que es una de las tareas mas delicadas para el aprovechamiento del acuífero.

3.5.1 Tubería de acero al carbón (tubería de ademe)

Los productos tubulares de acero se designan de varias maneras, tales como: tubos, conductos, tubería, cañería, y ademe. La tecnología empleada para describir el tamaño y otras características de estos productos tubulares, ha incrementado conforme lo ha hecho la demanda y sus aplicaciones.

La tubería de acero mas apropiada para los diversos objetivos relacionados con la perforación de pozos y su entubamiento, es la que se fabrica de acuerdo a las especificaciones de American Petroleum Institute (API), por lo general se prefiere la tubería sin costura y soldada eléctricamente. La tubería (de ademe) API se fabrica

de la clase A y B; estas dos designaciones se prefieren a las resistencias del material, a la tensión y fluencia.

La tubería (de ademe) clase A, debe tener una resistencia a la tensión de 3,360 Kg/cm², en tanto que la tubería de clase B debe tener una resistencia a la tensión de 4,200 Kg/cm², cualquiera de estas dos tuberías puede ser empleada satisfactoriamente para el entubamiento de pozos.

La utilización de la tubería clase A o B dependerá del criterio de analista de perforación y de las decisiones de su jefatura, asunto que estará condicionado a los costos y requerimientos y formalidades del contrato entre ambas partes.

3.5.1.1 Cementación de la tubería de ademe. La cementación de la tubería de ademe, es la que se da al rellenar el espacio alrededor de la tubería a sea el espacio anular de ésta con el agujero, esta cementación se realiza con una pasta adecuada de cemento o arcilla. Si la construcción del pozo incluye un ademe interior y otro exterior, la cementación puede hacerse entre los dos ademes, además de poder sellar cualquier abertura que pudiese existir por fuera del ademe exterior.

3.5.1.2 Dosificación de la pasta de cemento. La relación de agua cemento para obtener una pasta adecuada debe estar en un intervalos de 22 a 27 litros de agua por cada bolsa de cemento de 50 Kg. Se pueden usar arcillas bentoníticas en proporciones que van de 1.5 a 2.7 Kg. Por bolsa de cemento, en cuyo caso deberán utilizarse 29 litros de agua por bolsa de cemento. La bentonita ayuda a mantener la suspensión de las partículas de cemento reduciendo así la contracción y mejorando la fluidez de la mezcla. Es preferible mezclar primero la bentonita con el agua, agregando luego el cemento a esa suspensión.

3.5.2 Instalación de la tubería, verificando la verticalidad y alineamiento del pozo (tubería con unión de soldadura a tope)

La verticalidad del pozo es una operación muy importante, porque determinara si una bomba tipo turbina vertical, puede o no ser instalada en el pozo hasta la profundidad deseada.

Para que un pozo se halle tanto recto como a plomo, para lo cual no se puede garantizar al 100% dado que siempre existe pequeñas desviaciones que son muy difíciles de evitar, de a cuerdo a las variables que presentan ciertas formaciones; se hace necesario que el perforador desde el inicio puede mantener el alineamiento del pozo dentro de ciertos limites razonables.

La utilización de una plomada para la verificación de la verticalidad es suficiente. La plomada se puede avanzar a una profundidad razonable según criterio del analista, que puede ser de 3/8 de la profundidad del pozo, o en otra profundidad que se designe. La utilización de alineadores desde la superficie para verificar la rectitud del pozo es el otro dato indispensable para proceder al entubamiento. Estos alineadores consisten en un tubo calibrador cilíndrico de 12 metros de longitud y de un diámetro ligeramente menor que el del ademe del pozo.

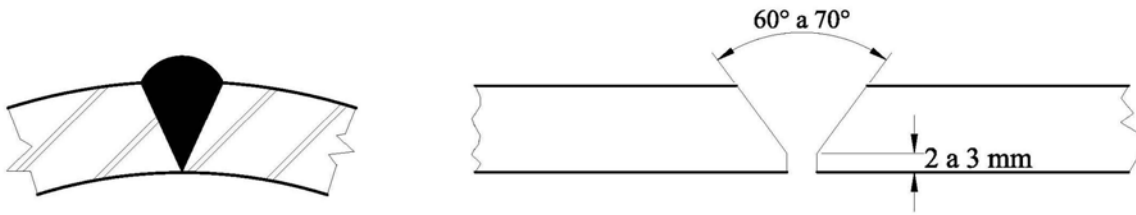
Cuando estos datos son corroborados y aceptados satisfactoriamente se procede al entubamiento; éste consiste básicamente en la unión de tubo por tubo con la ayuda del equipo auxiliar de la torre de perforación para el sostenimiento de los tubos. Con los collarines se sujeta el primer tubo, a cada tubo se le sueldan dos sujetadores de hierro para poder ser levantados con el collarín, luego se levanta por medio de los cables y poleas de la máquina, se introduce en el pozo y se sostiene por medio de una plancha metálica que tiene el diámetro del tubo, se deja suspendido por medio de la plancha en el boca del pozo y se procede a levantar el otro tubo.

Este se coloca por encima del primer tubo bien alineado y que los biseles se encuentren para poder soldarlos. Después de haber terminado la soldadura en todo el entorno del tubo, se baja el segundo tubo se sostiene por medio de la plancha metálica y así sucesivamente, hasta encamisar todo el pozo el pozo. Al último tubo se sueldan dos piezas metálicas, una en cada extremo de la boca del tubo para que se sostenga en la boca del pozo, para hacer finalmente el filtro de grava y el sello sanitario.

Toda la tubería que se coloca en el pozo viene biselada previamente de fabrica, el bisel consiste en una disminución tipo “V” para que al ser soldados exista una penetración generosa del material fundente como producto del arco eléctrico de la soldadura.

Se prefiere la soldadura de tubos por la mayor resistencia a las cargas longitudinales, las cargas a que están sometidos por los esfuerzos de tensión por el peso propio de la tubería y otros factores variables como presión interna de la formación etc. La soldadura para esta unión es la denominada soldadura a tope de bordes achaflanados en “V” en este tipo de soldadura se logra una excelente penetración; así como; el relleno de toda la sección el ángulo de bisel de este tipo de juntas varia de 60° y 70° dependiendo el espesor del material de la tubería. La figura 15 ilustra este tipo de soldadura.

Figura15. Esquema de soldadura a tope²⁵



Básicamente el encamisado de un pozo es el entubado en si con lo cual se hace con tubería de 8” de diámetro interno para una perforación de 12 ¾ de pulg. Esta tubería es de acero negro norma ASTM A53B de 0.250 pulgadas de espesor de pares con extremos biselados el punto de fluencia es de 30,000 psi, la presión de prueba es de 540 psi, la resistencia a la tensión es de 48,000psi, este tipo de tubería es fabricado especialmente para ademe (encamisado de pozos mecánicos).

3.5.3 Utilización de rejillas diseñadas para la buena captación del agua, según perfil litológico y/o registro eléctrico y rayos gama del pozo

Una rejilla o filtro de pozo sirve como sección de captación de agua en un pozo, que toma agua de un acuífero de material no consolidado, tal como la arena. La rejilla permite que el agua fluya libremente hacia el pozo desde la formación saturada, evitando que la arena ingrese, y además actúa como un retenedor estructural que estabiliza la perforación del material no consolidado.

La rejilla para llenar plenamente su cometido debe ser eficiente y estar bien diseñada para permitir que el agua pase libremente sin incrustaciones de arena hacia el pozo. El agua debe pasar a través de la rejilla en cantidades abundantes y con un mínimo de pérdida de carga, solo de esta forma se considera una rejilla adecuada para la máxima captación de agua del acuífero y de su máximo aprovechamiento en cuanto a su recarga después de un lapso emergente de bombeo. El analista de pozos deberá tener la mejor selección de rejillas, dados que existen algunos productos destinados a este tipo de empleo en pozos de agua fabricados con criterios falsos.

²⁵ Fuente: Megyesy Eugene F. Manual de Recipientes a Presión. Diseño y Calculo, Ed. Limusa/Noriega

En ciertos casos se emplean substitutos improvisados. El tubo ranurado es uno de ellos.

A menudo se denomina al filtro o rejilla como **el toque final del pozo** para enfatizar la importancia que tiene como estructura hidráulica en el comportamiento eficiente del mismo. Existen varios factores que determinaran el buen uso y colocación de las rejillas en un pozo, mencionaremos los más connotados para la eficiente captación hídrica.

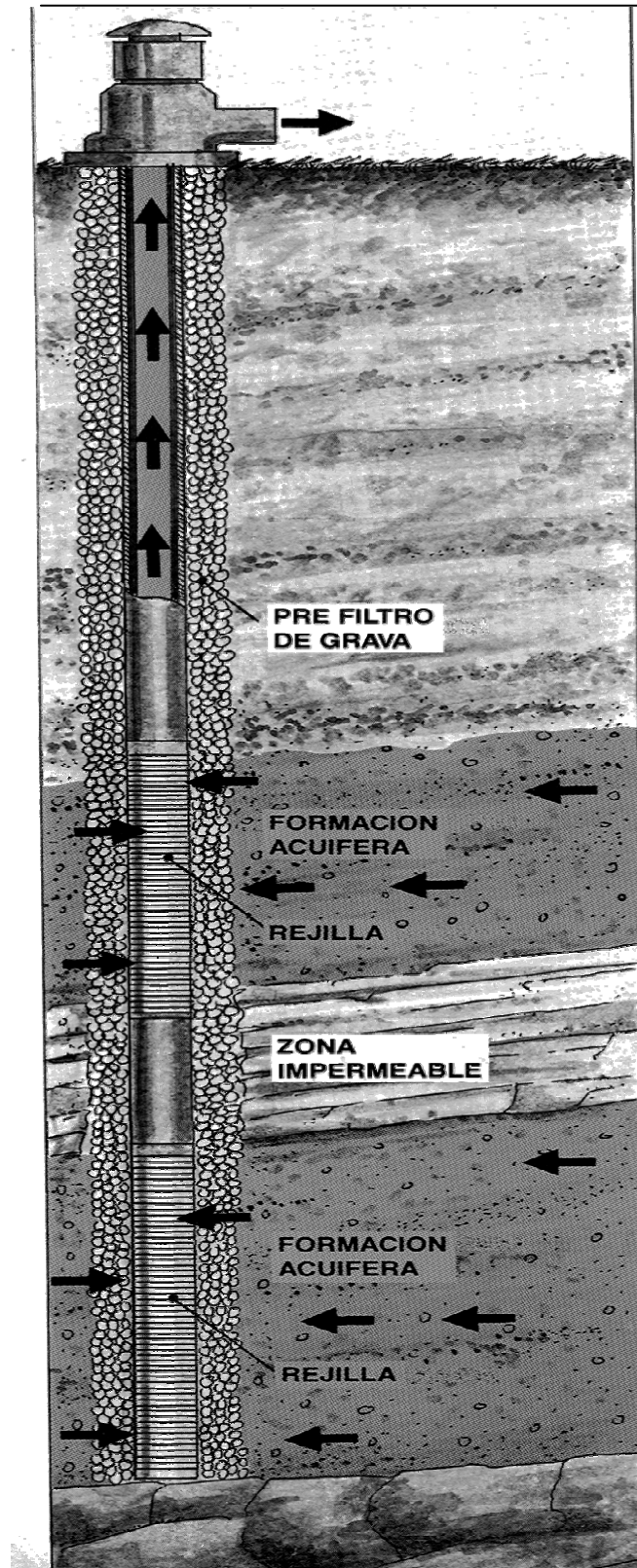
- **Longitud de la rejilla**

La longitud óptima de la rejilla debe de escogerse con relación al espesor del acuífero y el abatimiento disponible; así como; a la estratificación de la formación. Las reglas para la colocación de rejillas se pueden aplicar a las cuatro situaciones típicas.

- a. **Acuífero artesiano homogéneo**

En este tipo de acuífero debe de instalarse una rejilla de un 70 a 80 % del espesor del acuífero, suponiendo que el nivel del agua no descienda por debajo del techo del acuífero. Las buenas reglas de diseño nos indican que el máximo abatimiento disponible de un acuífero artesiano debe ser igual a la distancia entre el nivel estático y el techo del acuífero. Si el acuífero tiene menos de 8 metros de espesor, es suficiente con la longitud de rejilla del 70 %. Si su espesor se halla comprendido entre 8 y 15 metros, deberá colocarse rejilla en un 75% de este, y si es mayor de 15 metros deberá utilizarse no menos del 80%. Las longitudes de rejilla indicada por esta regla permitirán captar el 90% o más de la máxima capacidad específica que se podría obtener con la longitud igual al espesor del total del acuífero. La figura 16 representa un esquema de instalación de rejilla.

Figura 16. Esquema de instalación de rejilla²⁶



²⁶ Fuente: Grupo daho Pozos. publicación de: Johnson Filtration Systems Inc. P.O. Box St. Paul MN 55164-0118

Estas se obtienen al centrar la rejilla en el acuífero, dividiéndola en tramos de igual longitud, intercalados con secciones de tubería ciega.

b. Acuífero artesiano heterogéneo

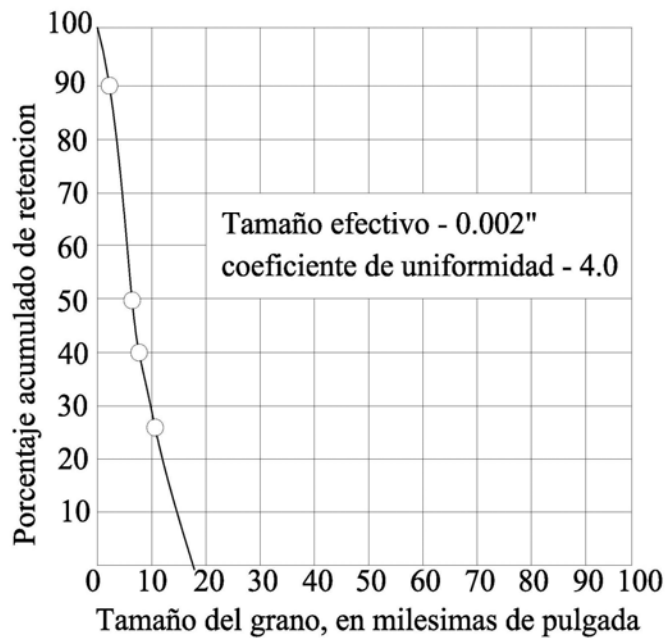
En este tipo de formación del acuífero obviamente lo mejor es instalar la rejilla en el estrato más permeable. La determinación del estrato más permeable o productivo puede lograrse por uno a más de las siguientes técnicas. **1.** se realizan pruebas de permeabilidad de las muestras correspondiente a los estratos respectivos de la formación del acuífero, en laboratorio se hace pasar agua a través de una muestra del material. Para calcular la permeabilidad, se efectúan mediciones del área de la sección transversal a través de la cual fluye el agua, el caudal y la pérdida de carga correspondiente.

2. Se realizan análisis granulométricos de aquellas muestras representativas de los estratos de la formación. Mediante una comparación de las curvas granulométricas se deduce la permeabilidad relativa de cada muestra. Si las pendientes de las curvas granulométricas son casi iguales, la permeabilidad relativa puede estimarse comparando los cuadros de los tamaños efectivos de las muestras respectivas, de acuerdo con lo anterior, una arena que tenga un tamaño efectivo de 0.008 de pulgada (0.20mm), tendrá alrededor de 4 veces la permeabilidad de otra arena cuyo tamaño sea de 0.004 pulg.(0.10mm). El tamaño efectivo es igual al diámetro de un grano de tal magnitud que el 10 % de la muestra, por peso, se halla constituido por granos de tamaño menor, y el 90 % por granos mayores. El tamaño efectivo se determina fácilmente mediante la curva de granulometría. Corresponde a aquel tamaño dado por la intersección de la curva con la línea horizontal que representa el 90 % retenido. En la muestra que se analiza en este ejemplo representado en la figura 17 el tamaño efectivo del grano resulta ser ligeramente mayor que 0.002 pulg. (0.05mm).

En el caso de que todas las muestras tengan alrededor del mismo tamaño efectivo, aquellas curvas con las pendientes más empinadas indicaran, por lo general los materiales

más permeables. Una curva que tienda más a lo vertical representa una arena de granulometría más uniforme. La mayor uniformidad en el tamaño de los granos, aumenta la permeabilidad, siempre que los otros factores permanezcan constantes.

Figura 17. Tamaño efectivo del grano²⁷



3. Se hace luego una inspección visual y una comparación de las muestras correspondientes a cada estrato. La permeabilidad relativa de cada uno se estima mediante una apreciación de la tosquedad y limpieza (ausencia de limo y arcilla) del material.

Las tres técnicas descritas anteriormente están en el orden de confiabilidad ya su vez es el mismo orden de su costo, esto es, que la primera de ellas es la más confiable, y al mismo tiempo la más costosa. Los factores económicos que gobiernan la obra son los mismos que indicarán el gasto justificable para determinar con la mayor precisión los estratos favorables del acuífero. Se recomienda vehementemente que por lo menos se efectúen análisis

²⁷ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de; Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minesota 554645 E.E.U.U.

granulométricos de las muestras tomadas de la formación, en el caso de pozos industriales, municipales, o de riego.

c. Acuífero freático homogéneo

Tanto la teoría como la experiencia han demostrado que al instalar la rejilla en el tercio inferior del acuífero se obtiene el mejor para esta condición. En algunos pozos; sin embargo; se puede captar la mitad inferior del acuífero para obtener una mayor capacidad específica. En ciertos casos, se prefiere una mayor eficiencia a un mayor rendimiento. En los pozos de nivel freático, la selección de la rejilla requiere la consideración simultánea de dos factores. Por un lado, se obtiene la mayor capacidad específica cuando se usa la mayor cantidad de rejilla. Ello hace que se reduzca la convergencia del flujo y la velocidad de acceso, obteniéndose como consecuencia una mayor capacidad específica. Por otro lado, sí se utiliza una longitud menor de rejilla se contara con un mayor abatimiento disponible. Ambas posibilidades quedan satisfechas, en parte, mediante el uso de una rejilla eficiente.

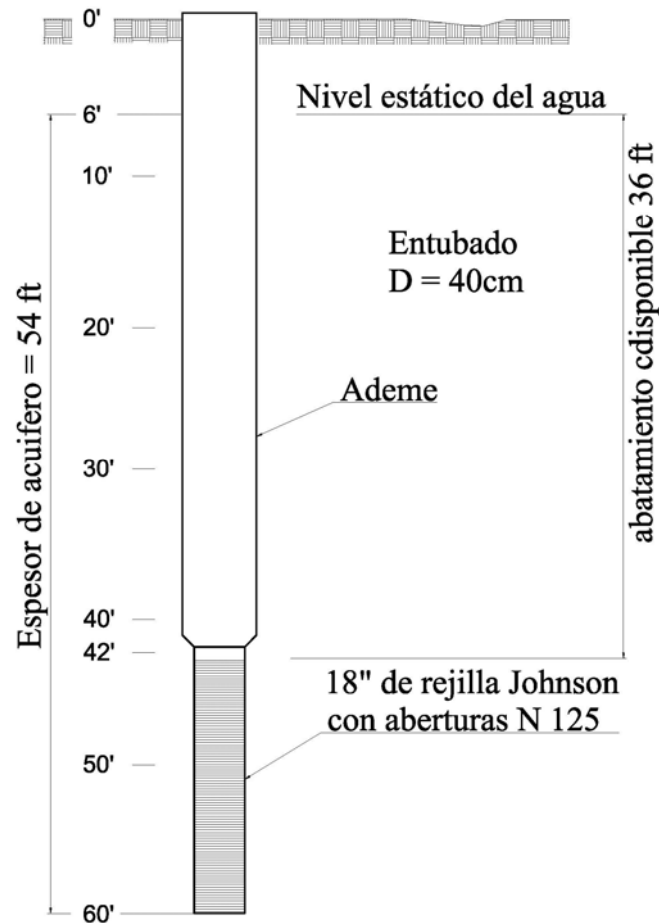
El abatimiento disponible es la distancia comprendida entre el nivel estático del agua y el plano superior de la rejilla o un punto por encima de éste. Por lo general, un pozo freático se bombea de modo que el nivel dinámico o de bombeo se mantenga un poco arriba del extremo superior de la rejilla. La rejilla se enfrenta a la porción inferior del acuífero, puesto que la zona superior de éste necesariamente se deseca al desplazarse el agua hacia el pozo. La figura 18 nos muestra un pozo en un acuífero adecuadamente diseñado para una formación homogénea. Este pozo fue provisto para un bombeo continuo de 340 m/hora.

d. Acuífero freático heterogéneo

Los principios de diseño aplicables a los acuíferos artesianos heterogéneos se utilizan también en el diseño de pozos perforados en acuíferos freáticos heterogéneos. La única variación en el caso de un acuífero freático homogéneo a un heterogéneo, es la disposición de la rejilla, que esta vez debe colocarse en los

estratos inferiores más permeables para disponer así del máximo abatimiento. En la figura 18 se puede observar esta disposición.

Figura 18. Disposición de rejilla con reducción de diámetro²⁸



- **Abertura de las ranuras de la rejilla**

En aquellos pozos desarrollados en forma natural, las aberturas de las rejillas se escogen mediante un análisis granulométrico de las muestras representativas de la formación. Para cada muestra se traza una curva granulométrica. En una formación homogénea que consista de arena uniforme, ha de seleccionarse aquella abertura de rejilla

²⁸ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de; Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 554645 E.E.U.U.

(a menudo denominada como el tamaño de la ranura) que retenga entre un 40 y un 50 % de la arena).

Para determinar la abertura correcta de la ranura, solamente se necesita escoger un punto de la curva en que la línea horizontal correspondiente ya sea a un 40 o 50 %, intersekte a la curva granulométrica y de ahí determinar la correspondiente abertura de rejilla en la escala horizontal de tamaños. La figura 17 constituye un ejemplo de una curva granulométrica correspondiente a arena fina y uniforme. Si se desea instalar una rejilla en esta arena, el tamaño apropiado de ranura sería de 0.008 pulgada (0.020mm) par retener un 40% de la arena y de 0.006 pulgada (0.15mm) para retener un 50 por ciento. La tabla V muestra una disposición de diseño para escoger aberturas de rejillas.

Tabla V. Abertura de rejillas²⁹

No	profundidad en mt.	espesor en mt.	tamaño efectivo en mm	cuadrado del tamaño efectivo en mm ²	aberturas posibles de rejilla en mm 40 % de retención		
					mínima	ret./media	máxima
1	30 a 35	4.6	0.25	0.065	0.71	0.76	0.76
2	38 a 38	3.0	0.66	0.436	1.73	2.03	2.41

Cuando el agua subterránea no es particularmente corrosiva, se escoge por lo general un 40 % de retención, siempre que se tenga confianza en la muestra, por otro lado se prefiere un 50 % cuando el agua es extremadamente corrosiva o se tienen dudas en cuanto a la representatividad de la muestra. Cuando el agua es corrosiva, se aconseja la solución más conservadora, dado que el aumento de unas pocas milésimas de pulgada o fracción de milímetro, debido a la corrosión, causaría la entrada de arena al pozo.

Cuando existen una serie de combinaciones de material, o de casos particulares, donde las formaciones puedan presentar distintas disposiciones, dependerá del criterio del

²⁹ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de; Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 554645 E.E.U.U.

diseñador donde dispondrá de un amplio margen para escoger las aberturas de las rejillas. Siempre tendrá herramientas granulométricas para tomar la decisión mas acertada.

- **Diámetro de la rejilla**

En el análisis de la hidráulica de pozos se ha visto que el diámetro de la sección de toma de un pozo puede variar sin que afecte significativamente su capacidad específica. Al duplicar el diámetro de la sección, o sea el diámetro de la rejilla la capacidad específica aumentara escasamente en un 10 por ciento, si los otros factores permanecen inalterados.

El diámetro de la rejilla se escoge con el objeto de cumplir con un principio básico, vale decir, proveer un área suficiente de entrada para que la velocidad de acceso del agua al pozo no exceda de un cierto valor estipulado. El diámetro de la rejilla constituye un factor que podría variarse; una vez; que la longitud y el tamaño de las aberturas hallan sido escogidos. La longitud de la rejilla depende del espesor del acuífero. El tamaño de las aberturas de las ranuras queda definido por la granulometría de la arena. En gran medida, son las características naturales del acuífero las que establecen las dimensiones, dejando al diámetro como un factor variable.

Las pruebas de laboratorio y la experiencia de campo, demuestran que si la velocidad de entrada del agua a través de la rejilla es de un valor igual o menor a 3 centímetros por segundo se obtendrán los siguientes resultados: **1.** Las pérdidas por fricción en las aberturas de la rejilla no tendrán mayor importancia. **2.** La deposición por incrustaciones será mínima y **3.** El ataque por corrosión también será mínimo.

La velocidad de entrada se calcula dividiendo la descarga deseada, o que se espera obtener, por el área total abierta de las ranuras de la rejilla. Si la cifra que se obtiene es mayor que 3 cm/seg se deberá aumentar el diámetro de la rejilla de modo que se provea suficiente área abierta y la velocidad se aproxime al valor indicado. Por otra parte, si la velocidad resulta ser por ejemplo 1.5 cm/seg, se pondrá entonces reducir el diámetro de la rejilla en cierta proporción. Aquella rejilla que contenga una mayor área abierta tiene gran

ventaja en cuanto a su costo, al comparársela con diferentes tipos de rejilla que produzcan la misma velocidad de entrada. El diámetro de la rejilla deberá ser tan grande como se pueda, para así mantener el valor de la velocidad de entrada definitivamente por debajo del valor límite de 3 cm/seg.

Los postulados anteriores suponen que la bomba se colocara por sobre la rejilla, que es lo normal y que las pérdidas de carga relacionadas con el flujo vertical ascendente del agua a través de la rejilla son pequeñas, lo que por lo general también es cierto. Los fabricantes de rejillas suministran tablas que indican el área abierta por metro por cada tamaño y para diversos anchos de ranuras. La tabla VI representa las áreas abiertas de rejillas para distintos diámetros de ésta.

Tabla VI. Diámetros de rejilla³⁰

No.	áreas abiertas de rejilla Johnson del tipo telescopio							
	Diámetro de la rejilla en pulgadas	área de captación por pie lineal de rejilla expresado en pulgadas cuadradas						
		abertura No. 10	abertura No. 20	abertura No. 40	abertura No. 60	abertura No. 80	abertura No. 100	abertura No. 150
1	3	10	19	32	42	43	55	65
2	4	14	26	44	57	58	74	88
3	5	18	33	55	72	73	94	112
4	6	21	39	65	85	87	111	132
5	8	28	51	87	113	116	131	160
6	10	36	65	110	143	147	166	203
7	12	42	77	130	170	174	180	223
8	14 OD	38	71	123	163	177	198	251
9	15 OD	39	76	132	175	190	217	268
10	16 OD	35	69	123	164	171	198	250
11	18 OD	39	78	139	186	193	224	283
12	20 OD	47	88	156	209	218	252	318
13	24 OD	46	87	158	217	266	307	389
14	26 OD	49	91	166	227	278	321	406
15	30 OD	57	108	192	268	239	379	480
16	36 OD	65	124	224	307	376	434	550

Nota: cada rejilla se designa por el tamaño de la tubería de acero a través de la cual deberá insertarse por el método telescópico. El número de ranura denota el ancho de la abertura en milésimas de pulgada
OD = diámetro exterior

³⁰ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de: Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 554645 E.E.U.U.

- **Capacidad transmisora de la rejilla**

La capacidad transmisora de una rejilla de pozo expresada por ejemplo en litros por segundo por cada metro de rejilla, y a la velocidad recomendada de entrada de 3cm/seg se calcula fácilmente mediante los valores mostrados en la tabla V. Al multiplicar el número de pulgadas cuadradas de la abertura, tal como se muestra en la tabla V por un factor de 0.31 se obtiene la capacidad de transmisión de la rejilla en unidades de galones por minuto por pie lineal de rejilla, por ejemplo, el área abierta de una rejilla Johnson de 8”(pulgadas) de diámetro y de aberturas No. 60 (0.60 pulg.), (1.52 mm) es según la tabla VI, 113 pulg² por cada pie lineal de rejilla, por lo que la capacidad transmisora será de: 0.31 X 113, o sea 35 galones por minuto por pie de rejilla (7.2 litros por segundo por metro de rejilla). Tres metros de esta rejilla, a la velocidad estipulada de 3 cm/seg transmitirán 78 m³/hora de agua a través de las aberturas de las mismas. Debe tenerse en cuenta que la capacidad de transmisión de una rejilla de pozo es una característica hidráulica de la rejilla en sí, a la velocidad recomendada, de ningún modo constituye una medida del rendimiento del acuífero.

El analista del pozo tendrá que tomar en cuenta los factores descritos anteriormente y evaluar aspectos como: metales que están fabricadas las rejillas, la resistencia de la rejilla, la capacidad de la rejilla para ser limpiada después de determinado tiempo de operación, etc. La mayor parte de estos factores son datos que el fabricante proporciona a las empresas de perforación.

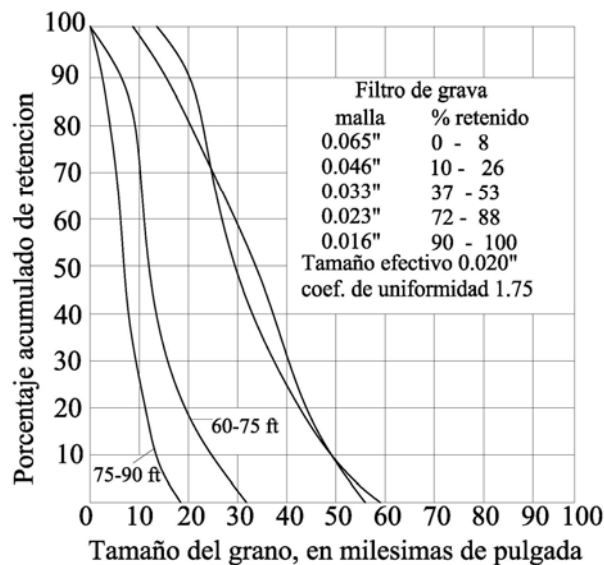
3.5.4 Filtro de grava ubicado fuera de la tubería con rejilla, diámetros de la grava

El filtro de grava es una selección de pequeñas rocas y diversos aglomerados dispuestas adecuadamente y acondicionadas para evitar el ingreso de materiales finos o arenosos al pozo, que podrían dañar la bomba. El filtro de grava es instalado en el espacio anular del pozo (espacio entre la tubería y la pared de la formación).

- **Diseño del filtro de grava**

Para un eficiente diseño del filtro artificial de grava, se siguen pasos que obedecen a la siguiente lógica: **1.** Deben de trazarse las curvas granulométricas de todos los estratos que componen el acuífero. Se determina el estrato formado por la arena más fina y se escoge la granulometría del filtro con base en el análisis granulométrico de este material. En la figura 19 se representa las curvas de las muestras de dos capas que constituyen un acuífero de 9 metros de espesor. El material mas fino se halla situado entre los 22.5 y los 27 metros de profundidad. En este ejemplo la selección de la grava se basara en la granulometría de este estrato. **2.** Debe de multiplicarse el tamaño de la arena correspondiente al 70 % de retención por un factor que va desde 4 hasta 6. Se usa el factor 4 cuando la formación es fina y uniforme y 6 cuando ésta es más gruesa y des-uniforme.

Figura 19. Curvas que constituyen un acuífero de nueve metros de espesor³¹



³¹ Fuente: Grupo daho Pozos. Publicación de; Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 554645 E.E.U.U.

Se usa un factor entre 6 y 9 cuando la arena de la formación tiene una granulometría des-uniforme e incluye limo. **3.** A través del punto inicial de la curva del filtro de grava debe de dibujarse una curva suave que represente a un material cuyo coeficiente de uniformidad sea de 2.5 o menos. Este paso debe efectuarse por tanteos. En la figura 19 la curva que aparece como línea continua tiene un coeficiente de uniformidad de alrededor de 1.75. Esta curva bien podría haberse trazado en forma algo diferente como lo indica la línea interrumpida, la cual tiene un coeficiente de uniformidad de 2.47. Es más aconsejable trazar la curva del filtro de grava de modo que resulte tan uniforme como sea posible (es decir un bajo coeficiente de uniformidad). Por lo tanto, el material indicado por la curva de línea continua es preferible.

Al seleccionar material para filtros de grava el técnico debe tomar en cuenta las fuentes locales de abastecimientos de arenas filtrantes usadas en filtros rápidos de tratamientos de agua. Las firmas que producen estos materiales mantienen existencias de arenas limpias y uniformes y gravas que se ajustan fácilmente a los requisitos de los filtros artificiales de grava para pozos. Para que la grava aumente la permeabilidad los granos deben estar limpios, redondeados, lisos y uniformes. Se prefieren materiales consistentes, en su mayor parte partículas silíceas en vez de calcáreas.

- **Espesor del filtro de grava**

Puesto que la teoría de la selección de los filtros de grava se basa en la retención mecánica de las partículas de la formación, basta contar con un espesor de filtro de dos o tres centímetros, para que el filtro retenga y controle la arena de la formación. La firma Johnson División ha realizado pruebas de laboratorio donde demuestra que un espesor de grava de un centímetro, retiene con éxito las partículas de la formación, independientemente de la velocidad del agua que tiende a arrastrar dichas partículas hacia el filtro; sin embargo; se reconoce que no resulta práctico colocar en un pozo un filtro de grava cuyo espesor sea solamente de un centímetro y esperar que, en esta forma, la envoltura alrededor de la rejilla sea completa. Para asegurarse que toda la envoltura de grava rodee a la rejilla, se necesita por lo tanto

un espesor de unos 8 centímetros que se considera practico para su instalación en sitio.

Para un fuerte número de casos, el límite máximo para el espesor de un filtro de grava debe de ser de unos 20 cms. Una envoltura de mayor espesor no aumenta en grado apreciable el rendimiento del pozo, y el espesor en sí mismo, no hace nada para reducir la posibilidad de invasión de arena, ya que el factor regulador es la relación entre la granulometría del material del filtro de grava y del material que compone la formación. Si el espesor del filtro de grava es muy grande puede resultar sumamente difícil el desarrollo del pozo.

3.5.5 Sello sanitario, ubicado arriba del filtro de grava instalado

El sello sanitario de un pozo es necesario debido a las inevitables irregularidades del tamaño de la perforación, es de suponerse que ciertas aberturas se encuentran alrededor del exterior del entubado, sea cual fuere el método de perforación. En esta forma, bien podría ser que agua contaminada, proveniente de drenaje o escurrimiento superficial o de otras formaciones ajenas al acuífero mismo, se desplacen hacia abajo y pasen a través de esos espacios vacíos. Ello daría por resultado la contaminación del agua que esta siendo bombeada del pozo. Por regla general se necesita de algún medio que permita sellar las aberturas que se encuentran por fuera del entubado.

Aquellos pozos perforados en formación de arenisca deberán diseñarse con un entubado impermeable que pase a través de todos los estratos superiores y que asiente firmemente en la roca. Si hay roca fisurada que yace sobre arenisca, el entubado se debe de extender unos 4.50 metros o más por dentro de la arenisca y sellarse por inyección en toda su longitud.

Los pozos perforados en acuíferos por roca fragmentada deben diseñarse con un entubado impermeable que se extienda hasta una profundidad considerable por debajo del terreno y por debajo del cualquier afloramiento rocoso que se encuentre

en la vecindad y sellarse en su longitud . El objetivo que se persigue con ello es el de captar agua en la parte mas profunda del acuífero

La porción el entubado estanco deberá llevarse hasta alguna formación impermeable que esté confinando el acuífero, o hasta una profundidad adecuada por debajo del nivel dinámico o de bombeo previsto. Si se siguen esta y otras reglas que los analistas y técnicos de perforación y de sellos sanitarios se refieren, el abastecimiento de agua obtenido del acuífero se hallara libre de bacterias patógenas ya que una construcción adecuada resguarda los factores naturales que normalmente protegen de la contaminación a la mayoría de los acuíferos, especialmente aquellos que presentas formaciones arenosas.

La profundidad del sello sanitario, el diámetro anular para depositar el material que conforma el sello sanitario, el tipo de material del sello, todos estos factores dependerá de la formación que se trate, y serán los técnicos de perforación, quienes tendrán la mejor evaluación para su aplicación. En ocasiones los sellos sanitarios son compuestos por una mezcla de arena piedrín, cemento y agua, en proporciones de 1m³ de arena, 1m³ de piedrín, (combinación de piedrín, de 1/2 y de 3/8 de pulgada) y de 1/2m³ de cemento, se le agrega agua hasta formar una mezcla pastosa con la fluidez necesaria para ser depositada uniformemente en el espacio anular entre la tubería y el pozo. Para este caso particular se realizo el sello con un espesor de 15 centímetros, por una profundidad de 200 pies.

3.5.6 El cabezal de descarga (donde va la tubería)

Se le llama cabezal de descarga o brocal del pozo (el lenguaje llano o no técnico), a la parte de la tubería que está en la superficie y que sirve de remate de toda la tubería instalada. En la superficie de la boca del pozo debe de apisonarse bien para evitar posteriores hundimientos. El último tubo que se coloca se suelda dos piezas metálicas, una en cada extremo de la boca del tubo para que se sostenga en la boca del pozo, para hacer finalmente el filtro de grava y el sello sanitario. Una

vez realizados (el filtro de grava y el sello sanitario) se procede a fundir (operación de verter cemento, arena, piedrín y agua debidamente conformado) el área alrededor del tubo de la boca del pozo, el radio y la profundidad de la fundición dependerá del análisis del suelo y de cuan compacto quede el suelo, de forma que podamos tener una superficie sólida, que pueda evitar síntomas de hundimientos, de filtración de agua por escorrentía u otras causas.

3.5.7 Desarrollo y limpieza del pozo, métodos que se utilizaran y numero de horas mínimo

Consiste básicamente en limpiar el pozo. Primero se coloca una máquina de limpieza de pozo mecánico, en el lugar se procede a levantar la torre y a limpiar el pozo esto se efectúa mediante un cable y una cubeta de limpieza.

3.5.7.1 Desarrollo del pozo

Esto consiste en extraer materiales finos del acuífero, la extracción de restos de lodos que quedan en el fondo después que el pozo halla sido terminado y encamisado. El lodo que queda en el fondo del pozo, que comúnmente se llama relleno de pozo, por lo general son entre 30 y 60 pies de barro que tiene que ser extraídos por la cubeta, hasta dejar sin nada de residuos el fondo del pozo, en este momento termina el desarrollo del pozo.

3.5.7.2 Limpieza del pozo

Después de haber sacado todo el lodo y materiales gruesos del fondo del pozo, queda un líquido lodoso formado por varios materiales de la formación, este líquido se sigue cubeteando, la cubeta es un tubo de 6" de diámetro que en el fondo tiene una compuerta (válvula de cheque) que cuando es sumergida por medio de un cable hasta el fondo del pozo, se llena de agua con lodo y es extraída por medio del motor de la máquina. Este proceso es repetitivo hasta que el técnico tome una muestra, la evalúe y disponga terminar la limpieza. Este proceso puede durar varias horas. Existen diversos métodos para desarrollar esta limpieza, de los cuales se presentara la descripción de algunos.

3.7.5.2.1 Método de lavado por chorro

En este método la rejilla se hace descender dentro del entubado, bombeándose a través de la tubería lodo de perforación de baja densidad. Se necesita una bomba que sea capaz de generar una presión bastante alta para hacer pasar un chorro de fluido a través del cierre automático instalado en el fondo. La acción del chorro afloja la arena y permite el asentamiento de la rejilla. La arena suspendida en el flujo de retorno es llevada hacia arriba y sale del pozo junto con el fluido.

3.5.7.2.2 Pistón de limpieza

Esta herramienta consiste en un tubo de 4” de diámetro y 2 metros de largo con un pistón de 8” de diámetro, que son circunferencias de hule para poder limpiar las paredes internas del encamisado del pozo. Esta operación se logra bajando y subiendo el pistón por un tiempo mínimo de 2 horas. .

3.5.7.2.3 Cepillo de limpieza

Esta herramienta consiste en un tubo de 4” de diámetro y 2 metros de largo con un cepillo de 8” de diámetro por 4” de espesor. El objetivo principal del cepillo es limpiar con sus cerdas metálicas las ranuras de la rejilla, dado que en ocasiones el lodo tapa las aberturas de las rejillas, evitando que el agua penetre al pozo, este proceso hace que la herramienta de limpieza se mantenga bajando y subiendo por lo mínimo 2 horas continuas.

Posteriormente se sigue limpiando con la cubeta hasta completar las 60 horas de limpieza, el pozo queda totalmente limpio cuando el agua es clara, y sin ningún contenido de lodo. El técnico procede a medir el nivel estático del pozo, la profundidad después de haber terminado la limpieza, y de lo cual es muy útil, ya que el nivel del agua en el cubeteo continuo, aquí se tiene la primera aproximación de la cantidad de galones por minuto que pueda producir el pozo.

3.5.7.2.4 Limpieza por lavado químico

Existen varios procedimientos para realizar este tipo de limpieza y una gama de productos que firmas especializadas producen y venden a empresas perforadoras para este fin.

Como un ejemplo tenemos el producto químico Aqua Clear Cl-1 que se vierte en el pozo hasta en nivel hidrostático dejándose reposar por 24 horas. Esto permite la limpieza de las paredes de la tubería y de las pichachas (o rejillas), este producto ayuda grandemente a remover el óxido, sarro, barro, lodos, moho, etc.

Después de transcurridos las 24 horas el producto es removido vigorosamente por medio de una bomba, y es sacado por el sistema de cubeta, el método permite acortar el tiempo de limpieza de sistema. La preferencia de un método a otro dependerá de factores que determinaran el perforista y técnico de limpieza.

3.5.7.2.5 Sistema de desinfección por cloro

Para la aplicación de esta variante de limpieza, tenemos que tener el pozo relativamente limpio; es decir; libre de incrustaciones, lodos, materiales incrustados en rejillas aunque esto también ayuda a limpiar las rejillas. Se preparan el cloro en una concentración de 50 mg/litro, revierte en el pozo para llenarlo hasta el nivel hidrostático. Concluyendo esta operación se agita enérgicamente encendiendo el motor con el fin de lavar la columna de agua y luego se apaga el bombeo, con el fin de que el agua se precipite, repitiendo estas operaciones las veces que se consideren necesarios. Luego se introduce agua de lavado por medio de una bomba. Conforme la solución de agua de cloro vaya subiendo, se pondrá en contacto con la parte superior del tubo y lo desinfectará, particularmente si se permite que el agua suba y baje varias veces.

3.5.8 Prueba de bombeo(aforo del pozo) determinación del caudal, tiempo de la prueba (corta, larga o escalonada)

Después de todos los análisis realizados por la empresa de perforación es decir, la perforación misma el desarrollo y limpieza del pozo, se debe de tener una estimación del caudal real del pozo. Esto se logra al efectuar la prueba de bombeo o el aforo del pozo.

Para ilustrar este argumento Se contacto a la fuente: Caudales S. A. y AC perforaciones Con bitácora de aforos de la comunidad Buena Vista Chinautla, Guatemala; se procedió como sigue: La empresa llevo el equipo de bombeo (motor de 60 HP, bomba de 50 HP cable num. 4/3 y línea a de aire de 1/4 pulg.) al lugar se instalo, y procedió a efectuar el aforo de 24 horas de bombeo continuo.

Luego de haber instalado el equipo de aforo y colocar la descarga de bombeo (tubo de 3 pulg. De diámetro con una válvula de compuerta para graduar el caudal de agua) se procede a arrancar el motor eléctrico por medio de un panel de control para 60 HP y un generador de 130 KW que es una potencia suficiente para un equipo de bombeo de hasta 75 HP.

El técnico que realiza el aforo llevo un piezómetro y se coloco en la parte alta de la descarga, para medir las pulgadas de agua. Se doto de un manómetro para estar midiendo por medio de la línea de aire e inyectándole oxígeno, las libras por pulgada cuadrada (psi por sus siglas en ingles) de presión, en el inicio a cada 10 minutos y cuando el pozo empezó a estar estable se realizó a cada hora, también se tiene un amperímetro para el control de la corriente consumida por el motor eléctrico y estar seguro de que no hay sobrecalentamiento en el motor.

Con los datos de psi, la profundidad a que fue instalada la bomba y las pulgadas del piezómetro, se procede a calcular el nivel estático, el nivel dinámico y la producción de galones por minuto que se tabula en una hoja de aforo. La tabla VII nos muestra esta tendencia.

Tabla VII. Datos del aforo del pozo³²

Tabla No.4 resultados del aforo Empresa Caudales S.A. reporte de la prueba de bombeo Buena Vista Chinautla, Guatemala				
No.	Hora	PSI	GPM	AMPS
1	17.00	406	626	30
2	17.05	395	473	30
3	17.15	300	431	30
4	17.20	290	385	30
5	17.25	288	358	30
6	17.30	288	356	30
7	17.35	280	348	30
8	17.40	278	348	30
9	17.50	275	340	30
10	18.00	275	337	30
11	19.00	275	335	30
12	20.00	275	335	30
13	21.00	275	335	30
14	22.00	255	228	30
15	23.00	220	225	30
16	00.00	222	225	30
17	01.00	222	220	30
18	02.00	215	220	30
19	03.00	215	220	30
20	04.00	195	215	30
21	05.00	175	210	30
22	06.00	135	200	30
23	07.00	125	200	30
24	08.00	125	200	30
25	09.00	120	194	30
26	10.00	120	194	30
27	11.00	120	194	30
28	12.00	120	194	30
29	13.00	120	194	30
30	14.00	120	194	30
31	15.00	120	194	30
32	16.00	120	194	30

Se considera una prueba de bombeo corta cuando su tiempo de bombeo es menor o igual a 6 horas, y larga cuando es de 24 horas o mas, cuando es escalonada es cuando la bomba se arranca a intervalos de 5 horas y se descansa una; para este caso en estudio la prueba fue larga.

³² Fuente: Caudales S.A. Pozo Buena Vista Chinautla, prueba de Aforo

3.5.9 Entrega del perfil estratigráfico

El perfil estratigráfico es la tabulación de los datos y la presencia grafica del perfil litológico de la formación donde se marca los niveles estático y dinámico, el sello sanitario, el filtro de grava etc. (estos son los datos de la figura 11)

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL POZO

BUENA VISTA, CHINAUTLA

Datos importantes

Método de perforación.....	Rotativa
Diámetro de perforación.....	12 3/4pulg.
Diámetro de tubería.....	8 pulgadas
Temperatura del agua.....	20°
Profundidad del pozo.....	1000 pies
Total de tubería ranurada (o rejilla).....	600 pies
Sello sanitario.....	200 pies
Filtro de grava.....	De 200 a 1000 pies
Nivel estático.....	490 pies
Nivel dinámico de bombeo.....	723 pies
Producción máxima.....	420 Gpm
Explotación óptima.....	400 Gpm

El objetivo del aforo de un pozo mecánico es saber la producción en galones por minuto y los niveles para poder calcular el equipo de bombeo que quedara instalado en el pozo; así como; la recarga hídrica, su capacidad de transmisión de agua de la formación.

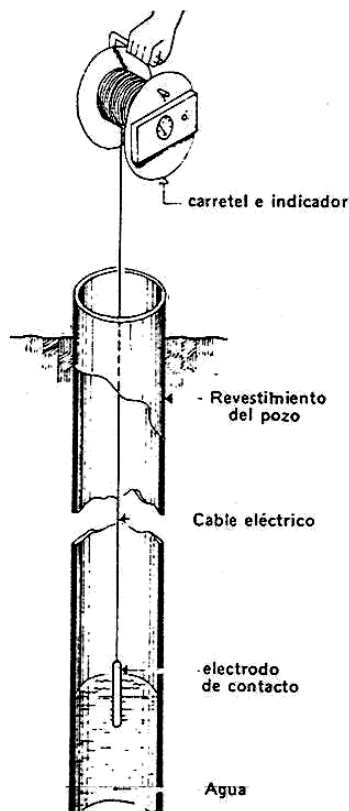
Es importante señalar que en la prueba de bombeo durante toda la operación existió un estrangulamiento de la válvula de descarga hasta alcanzar la estabilización de 194 gal/min. Luego de observar lecturas continuas por espacio de 8 horas de un caudal de 194 gal/min,

se procedió a abrir la válvula completamente, (este proceso es después que se tabularon la 24 horas), a partir de este momento, se tabularon datos de un nuevo caudal de 420 gal/min durante 6 horas, para observar su comportamiento. Este nuevo caudal se mantuvo constante durante este tiempo, para nuestros datos de cálculo tomaremos el caudal a saber: 420 gal/min.

3.5.9.1 Determinación del nivel estático y nivel dinámico del pozo

a. Nivel estático. El nivel estático es aquel que se encuentra desde la parte superior del pozo asta el punto en que se encuentra el agua en reposo dentro del pozo. Existen una gama de dispositivos para medir los niveles de agua en los pozos de bombeo, los perforistas de pozos tienen sus particulares elecciones de trabajar; sin embargo; aquí, se dará a conocer el método mas difundido dentro de esta industria, es el método de la sonda eléctrica, éste tiene una exactitud de 3mm, de estos hay varios modelos, pero el principio de funcionamiento es el mismo. La figura 20 muestra un esquema de esta forma de medición. Es el caso del “Watermarker” marca registrada, desarrollado por la Johnson División UOP.

Figura 20. Sonda eléctrica para medición de niveles³³



El procedimiento de medición consiste en bajar al pozo los electrodos del instrumento. Cuando estos tocan el agua el circuito se cierra y se enciende una luz indicativa en el instrumento de control que esta posicionado en la parte superior del pozo. El operador puede entonces registrar la distancia hasta el nivel del agua midiendo el cable de doble conductor que tiene marcas espaciadas regularmente y bien definidas. Para nuestro caso esta distancia marco 490 pies.

b. Nivel dinámico. El nivel dinámico es la distancia desde la boca del pozo hasta el nivel de estabilización del agua, cuando el pozo ha tenido un régimen de bombeo, en una prueba de bombeo de 24 horas mínimo.

³³ Fuente: Grupo daho Pozos. Referencias Johnson, para la industria de la captación de agua, año N° 3 Noviembre diciembre 1,977

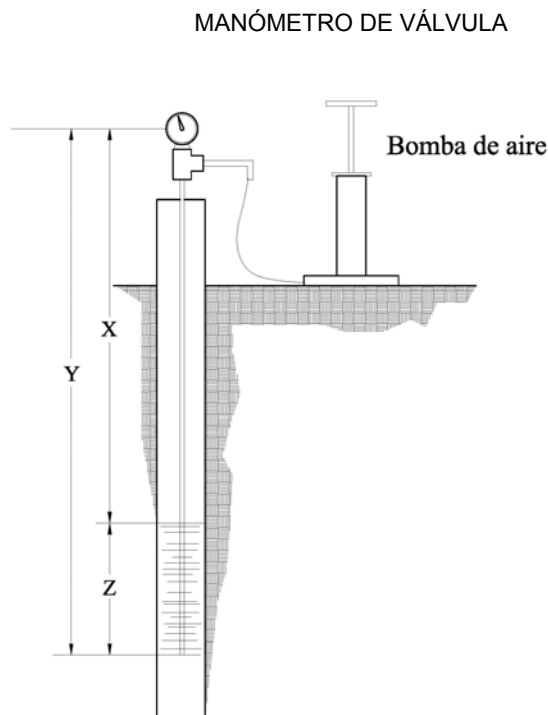
- **Cálculo del nivel dinámico.** Para realizar este cálculo necesitamos la determinación de las distancias siguientes.

X = Es básicamente la distancia de la boca del pozo a el nivel de estabilización del agua en el régimen de bombeo es decir el nivel dinámico a calcular. (N.D)

Y = Es la distancia de la tubería de aire, es básicamente la profundidad del pozo aunque en la realidad; esta profundidad es un poco mayor debido al remanente de la tubería para la deposición de materiales sólidos y lodos que se acumulan en el fondo del pozo.

Z = Es el largo de la tubería sumergida, este valor se obtiene de la prueba de bombeo) cuando en la prueba el bombeo alcanza su estabilización se anota lectura de presión (psi) la cual se multiplica por el factor 2.31 que nos dará el largo de la tubería sumergida. Ver esquema de la figura 21.

Figura 21. Método de la válvula de aire para calcular el nivel dinámico del Pozo³⁴



³⁴ Fuente: Grudfos Inc. Catalogo para bombas sumergibles. Información técnica pág. 8.15

Para el caso particular de este estudio; tenemos

$$Y = 1000 \text{ pies}$$

$$Z = [120(\text{psi})] \times (2.31) = 277.2 \text{ pies; entonces}$$

$$X = (1000 - 277.2) \text{ pies} = 722.8 \text{ pies}$$

→ $X = 723$ pies esta distancia es el nivel dinámico del pozo

3.6 Equipamiento de un pozo mecánico

El equipamiento de un pozo mecánico consiste en la debida selección de la bomba que nos suministrará el caudal que necesitamos, la selección de la tubería de succión y sus accesorios: así como; los controles y los instrumentos para el arranque del sistema bomba motor. Escogencia de los transformadores y su acometida y la caseta que albergará todo este equipo.

3.6.1 Selección de la bomba según requerimiento de la demanda y caudal que produce el pozo.

Existen varios métodos para la selección de la bomba, para las consideraciones de este estudio, presentaremos uno de ellos; sin embargo; es de aclarar que cada empresa tendrá su particular forma de determinar la forma de la selección de la bomba que cumpla con los requisitos que se plantean en el contrato. En este ejemplo partiremos de la demanda total de agua de la población.

1ero. Demanda total de agua de la población. Se tiene una proyección de 1,200 servicios con una dote de 30 metros cúbicos (o sea media paja de agua) por servicio por mes, esto multiplicado por el total de los servicios nos dará el total del caudal diario requerido.

El criterio para los datos de la selección del equipo se deben de contemplar los excesos y su proyección futura con una población inicial dada (ver la sección 5.1.7 inciso “a” del capítulo 5). Tenemos, que no todos los servicios consumen el metro cúbico de agua al día, en unos será menos y mas en otros, por esta razón se calcula el equipo de bombeo que sea capaz de cumplir con la demanda total de 12 horas de

bombeo al día, el resto de horas será para cumplir con los excesos y períodos de descanso del equipo. Entonces

$$\text{Demanda total} = [(\text{No. Total de servicio}) * (1 \text{ m}^3 \text{ por servicio})] / 12 \text{ horas}$$

$$\text{Demanda total} = [(1,200 * 1 \text{ m}^3) / 12 = 100 \text{ m}^3 / \text{ hora (440.33 gpm)}$$

Utilizaremos el dato de 440.33 gpm ya que los datos de las curvas de las bombas vienen dados en gpm y la carga en pies.

2do. Se determinara el diámetro de la tubería de succión o de conducción del agua. Para esto se consultara la tabla de pérdidas por fricción del manual del consejo de sistemas de agua de Estados Unidos de América. Ver Anexo tabla XXXIV aparece la pérdida por fricción por cada 100 pies de tubería según el diámetro de tubería que se utilice. Esta norma establece que la velocidad de flujo de agua recomendada para que no se den golpes de ariete perjudiciales para los equipos sumergibles debe de estar entre 6 y 8 pies/ seg. (1.83- 2.44 m/seg).

Para plantear otra alternativa para la determinación del diámetro diremos que; también se puede calcular con la ecuación de Hazen Williams; que es una de las ecuaciones empíricas más exitosas desarrolladas por G.S. Williams y H. Hazen en el año 1,933. Al abordar esta fórmula se harán las siguientes aclaraciones: **1.-** El fluido debe de estar a temperaturas normales. **2.-** El diámetro debe de ser superior o igual a 2 pulgadas y **3.-** La velocidad en las tuberías se debe de limitar a 3 m/seg. Para el sistema Internacional tenemos que la fórmula original de Hazen-Williams es $V = 0.849 C_{HW} R^{0.63} S^{0.54}$ y para el sistema ingles el término medio de la velocidad es $V = 1.318 C_{HW} R^{0.63} S^{0.54}$ donde: (se dan los demás parámetros del sistema ingles de medidas)

V = velocidad media del fluido en la tubería en pies/seg.

R = radio hidráulico en pies

S = pérdida de energía por unidad de peso (cabeza) por unidad de longitud

C_{HW} = coeficiente de rugosidad de la tubería (llamado también coeficiente de Hazen Williams) es adimensional

En función de la ecuación original, y para datos de velocidad; y efectuando sustituciones (Darcy-Weisbach) tenemos otras expresiones usadas para los cálculos. Entonces se tiene:

$$C_{HW} = [(V) / (1.318 * R^{0.63} * S^{0.54})];$$

$$R = [(V) / (1.318 * C_{HW} * S^{0.54})]^{(1/0.63)};$$

$$S = [(V) / (1.318 * C_{HW} * R^{0.63})]^{(1/0.54)};$$

En función del caudal

$$Q = 0.285 C_{HW} * D^{2.63} * S^{0.54}$$

$$C_{HW} = [(Q) / (0.285 * D^{2.63} * S^{0.54})]$$

$$D = [(Q) / (0.285 * C_{HW} * S^{0.54})]^{(1/2.63)}$$

$$S = [(Q) / (0.285 * C_{HW} * D^{2.63})]^{(1/0.54)}$$

El lector podrá comprobar de estas fórmulas su aplicación para la determinación de una variable; para este caso el, diámetro; sin embargo; para este ejemplo se utilizaron los datos que ya están tabulados, y que se obtuvieron de estas fórmulas.

Interceptamos los gpm.(450 gpm vrs. p/seg de la regla) Con los valores que nos plantea la tabla XXXIV y vemos el margen de 6 y 8 pies/seg. Y con este criterio se seleccionó el diámetro de 5" (acero cédula 40) no se seleccionó tubería con diámetro de 4" debido a que el caudal que se aproximó a 450 gpm sobrepasa el criterio de diseño (su lectura es de 11.49 pies/seg) y para el caso de un diámetro de 6" es una tubería muy grande y antieconómica y el valor de la velocidad esta por debajo del criterio de diseño. Y su lectura es de 5 pies/seg.

3ero. Abatimiento específico. Este parámetro es la relación que existe entre la diferencia que hay entre el nivel dinámico y el nivel estático dividido entre el caudal en que operara la bomba normalmente; esta relación tiene dimensiones de pies/ gpm y no es mas que la cantidad de pies que se abate el pozo por cada galón de agua que se extrae del pozo por minuto.

Abatimiento Específico = $[(723 - 490) / 420]$; donde:

Nivel dinámico = 723 pies; Nivel estático = 490 pies;

Caudal de operación = 420 gpm

Abatimiento Específico = 0.55 pies/gpm

4to. Nivel dinámico teórico (NT); donde

NT = (abatimiento Específico) * demanda total + nivel estático

NT = $\{[(0.55 \text{ pies/gpm}) * (440 \text{ gpm})] + 490 \text{ pies}\}$; donde:

Caudal de la demanda (según los servicios) = 440 gpm

Entonces el Nivel Teórico (NT) es:

NDT = 732 pies

5to. Cálculo de la carga dinámica total. Para este cálculo se recopilan todos los datos anteriores, y es representada por la sumatoria del nivel dinámico teórico del pozo, mas la diferencia de altura entre la boca del pozo y la altura de la descarga en el tanque elevado, las pérdidas por fricción en la tubería (tanto la que esta adentro como la que esta afuera) y válvulas de retención. La tubería de adentro del pozo es de acero ya que es la que sostiene la bomba y el motor sumergible, en tanto la tubería de afuera, que va de la boca del pozo hasta su descarga en el tanque o depósito puede utilizarse de PVC cédula 40.

El criterio para establecer la profundidad a que se colocara la bomba, es de acuerdo a un parámetro práctico, que establece que el conjunto motor-bomba

sumergible debe de instalarse entre 80 y 120 pies debajo del nivel dinámico teórico que se establezca.

Para el caso que nos ocupa. Si se suman el promedio $[(80+120)/2]$ que es 100 pies al nivel teórico encontrado de 732 pies tenemos una distancia de 832 pies al analizar el perfil estratigráfico vemos que a esta distancia aun tenemos rejilla de captación de agua, por tanto no es aconsejable instalar la bomba en esta parte ya que podría succionar materiales que podrían tener características abrasivas y que incurrieren en el deterioro prematuro de la bomba. Para que este impacto sea mínimo podemos instalar la bomba un poco mas abajo, es decir debajo de los 980 a los 1000 pies donde ya no hay rejillas de captación de agua. Aunque hay perforadores que van un poco más allá de los pies contratados; en este caso; 1000 pies, para que la bomba no succione sedimentos, y se confronten problemas similares a los descritos anteriormente. Entonces:

La carga dinámica total (CDT) es:

CDT = a la sumatoria de:

Nivel dinámico teórico.....732.00 pies

Carga pozo al tanque = altura entre la boca del pozo

y la descarga de agua en el tanque.....73.00 pies

(Tanque y estructura capitulo 5)

(Hf = pérdidas de carga en tuberías)

Hf tubería dentro del pozo = 980 pies* 3.25 pie/ 100pies.....31.85 pies

Ver Anexo tabla XXXV (440 gpm X 5" diámetro)

Hf tubería pozo-tanque = 1053 pies*3.1pies/100pies.....32.64 pies

Ver anexo tabla XXXIV (450 gpm X 5"diámetro presión)

Hf para 3 válvulas de retención = 3 cheques* 6.9 pies..... 20.70 pies

Ver anexo grafica 4 (punto 450 gpm-vrs accesorios) Total 887.19 pies

6to. Cálculo de la potencia de bomba sumergible. Para determinar la potencia de la bomba se introducen los datos en la fórmula del caballaje.

$$HP = [(Q*CDT)/(3960* \eta_{bomba})]$$

Donde:

HP = potencia de la bomba

Q = caudal que la población demanda en gpm.

CDT = carga dinámica total en pies.

3960 = es una constante que se usa en la fórmula de la potencia de la bomba

η_{bomba} = eficiencia de la bomba

Regularmente la eficiencia de la bomba esta especificada por el fabricante, pero para los propósitos de este calculo podemos asumir una eficiencia entre el 65 y el 85 por ciento, se asumirá el 80 % se ha escogido esta eficiencia para las condiciones de la tecnología actual que ha incursionado en la mejora de los materiales que conforman la bomba; así como; en los rodamientos para efectuar el movimiento de impulso. Entonces se tiene de la fórmula de la potencia.

$$HP = [(Q*CDT)/(3960* \eta_{bomba})]$$

$$HP = [(440 \text{ gpm}) * (887 \text{ pies})] / [(3960 * 0.80)] = 123.19 \text{ HP}$$

$$HP = 123.19$$

Según el cálculo anterior podemos utilizar una bomba de 120 hp o una de 125 hp, nos inclinaríamos por una bomba de 120 hp que cumpliría con la demanda ahorrándonos un poco en el costo de la adquisición y en el gasto energético (energía eléctrica) del motor sumergible para su operación; sin embargo; los fabricantes de este tipo de bombas no fabrican la bomba de 120 hp, y esto nos motiva a tomar la de 125 hp.

Usualmente las bombas vienen acoplada al motor sumergible que las hará funcionar y este es de un caballaje ligeramente mayor que la potencia que absorberá la bomba, esto se da por las pérdidas por fricción y otras pérdidas que inducen a disminuir en un pequeño porcentaje la potencia inicial del motor eléctrico. Para los usos prácticos tomaremos la potencia del motor de 125 hp.

Con este dato el analista de la interpretación de las curvas de eficiencia, seleccionara una bomba con los datos de la carga en pies, el caudal, en gpm, y la potencia calculada. Los distintos proveedores de bombas en Guatemala proporcionan asesoría en este tema, no se presentara aquí debido a que es competencia del contratista del equipamiento del pozo; sin embargo; el lector podrá ver una curva de eficiencia de una bomba de una empresa “Z “. Y el punto de la intersección de los datos del caudal que están regularmente en las abscisas (X) del sistema coordenado cartesiano, y los datos que se encuentran del lado de las ordenadas”Y”. Por el lado izquierdo del cuadro se encuentra la carga dinámica total y por el lado derecho los datos de la eficiencia y los HP de las bombas. Este punto nos dará la elección final de la bomba, el modelo, la eficiencia marcada en etiqueta según el fabricante etc. Para este caso particular se tiene de las curvas del anexo grafica 3 el punto para la intersección (marcado en la tabla con un cuadro y la letra o), una carga dinámica total de 888, y un caudal de 420 nos da un selección de bomba de: 125HP, gpm. (Las otras curvas del anexo graficas 1 y 2 son curvas comparativas de modelos de otras bombas con otros requerimientos de servicio.)

También podemos consultar una gráfica con curvas de eficiencia, carga dinámica total, los gpm. Tabuladas para bombas sumergible a 3450 rpm, aquí interceptamos la carga dinámica total con los gpm, Y la eficiencia de la bomba que estimamos para este caso: gpm = 420, CDT = 888, eficiencia = 80% tenemos, ver el anexo grafica 6 un cuadrado marcado donde nos da el punto.

3.6.2 Instrumentación y controles

Para la determinación de estos parámetros nos referiremos a tablas que los fabricantes de motores sumergibles, firmas de electricidad proporcionan a los interesados en adquirir este tipo de equipos y accesorios.

Para una potencia de 125 hp

- Banco de transformadores 3 transformadores de 50 Kva; ver tabla IX

- Motor trifásico60 HZ
- Voltaje460 voltios
- Amperaje máximo...(anexo, tabla XXXVII).....189 amperios
- Flip-on principal(incremento del 25 a 50 %).....250 amperios

Debido a la operación del equipo, existe un incremento de temperatura y si se selecciona un flip-on ajustado se disparara.

- **Arrancador electromagnético:** este debe de tener la capacidad de soportar el amperaje máximo de consumo del motor para este caso tenemos un arrancador NEMA 5 ; ver tabla VIII
- **Los térmicos para el relé de sobrecarga:** según la nomenclatura de furnas ver tabla VIII; es un K-29; este relé es ajustable de 173 a 189 amperios y un voltaje de 460 voltios. Es muy pero muy importante hacer notar que las protecciones térmicas para cualquier motor sumergible deben de ser de disparo rápido.
- **Los pararrayos:** este debe de ser para 460 voltios, de no existir en el mercado se instalara una de 600 voltios.
- **Protector electrónico subtrol:** esta es una protección que no se debe dejar de instalar por ningún motivo, ya que Franklin Electric la exige para garantizar el funcionamiento del equipo sumergible. Este dispositivo protege contra fallas de fase, voltaje y además monitorea la temperatura de operación del motor, esto lo efectúa a través de unos sensores que están instalados en el motor, estos envían una señal a través del cable de alimentación de energía hasta el receptor subtrol. El subtrol no es más que una caja receptora de señal de 2 bobinas lectoras instaladas en el control de arranque y un inserto de potencia que varia de acuerdo al caballaje del motor, para este caso es un inserto de potencia de 125 hp.

- **Protector de fases:** esta protección hace que el equipo se dispare cuando por alguna razón una fase se pierde, o se invierten las fases, o el voltaje fuera deficiente, ya sea menor o mayor a 460 voltios. Cuando se utiliza el control electrónico “Subtrol” no es necesario el protector de fases. Según las normas de las empresas proveedoras de energía eléctrica (La E.E.G.S.A por ejemplo) establece que el arranque de un motor de 125 hp para este caso no puede ser arrancado de forma directa, es por tal razón que se utilizara un arrancador tipo auto transformador NEMA 5, este viene con el contactor, relevador de sobrecarga, pararrayos y protector térmico subtrol.
- **Cable sumergible:** el cable sumergible apropiado para la profundidad a la que va ha ser instalado el equipo sumergible 887.19 \equiv 888 pies; para un motor de 125 hp; es el trifilar doble Jacket cable núm. 000/3; según anexo tabla XXXVI.

En resumen:

- 1 bomba sumergible marca Berkeley modelo 8T125-500 de 6 etapas
 - 1 motor sumergible marca franklin Electric de 125 hp de 460 voltios 3 fases
 - 49 tubos de hierro negro de 5”x 20’ cédula 40
 - 1 maniful de descarga de 5”
 - 1 collarín de soporte de 5”
 - 4 válvulas de cheque de 6” con kit de reducción
 - 888 pies de línea de aire para monitoreo de niveles
 - 888 pies de cable sumergible AWG núm. 000/3
 - 1 empalme vulcanizado
 - 1 instalación mecánica de la bomba dentro del pozo (movilización de grúa)
 - 1 flip-on tipo industrial ITE 3 x 250 amperios
 - 1 arrancador tipo auto transformador tipo NEMA 5
 - 1 kit de materiales, accesorios estimados por el instalador
 - 1 costo de mano de obra por el montaje del tablero, conexión eléctrica y arranque.
- Costo total aproximado de todo los elementos anteriores es de: Q278, 640.06 sujeto al cambio del valor del dólar en Guatemala.

3.6.3 Diseño de acometida eléctrica (dependiendo del equipo a utilizar)

Para seleccionar los elementos de la acometida eléctrica tomamos como punto de partida, el consumo del motor sumergible eléctrico de la bomba que necesita el pozo mecánico, el cual es de 125 hp para este caso en particular, entonces los elementos de la acometida son:

- Llenar la solicitud de acometida de un servicio nuevo para motores trifásicos mayores de 5 hp. No efectuar nada; esperar hasta; obtener la resolución de la empresa de que proveerá el servicio del fluido eléctrico.
- Caja metálica para flipones T2 de 460 voltios
- Protección para motores trifásicos en las tres líneas con un dispositivo automático que los desconecta cuando falta una fase, es un elemento adicional , además de los protectores requeridos para sobrecarga y sobre-corriente
- 3 transformadores de 50 Kva de 460 voltios
- 1 flip-on industria ITE de 3x 250 amperios
- 10 metros de cable AWG núm. 0/3
- Anclaje a tierra de acuerdo al artículo 5 de la sección VI de instalaciones especiales
- La caja socket que albergara al contador eléctrico, otros accesorios y materiales de la instalación de la acometida son competencia de la empresa que se contrato para proveer el fluido eléctrico, y la competencia de un electricista autorizado por la empresa eléctrica para el efecto de las conexiones.

Fuente: Normas de acometidas de servicio eléctrico (E.E.G.S.A.) pág. 54

Tabla VIII . Protección de sobre carga eléctrica ³⁵

Protección de sobre carga, 60 herz motores de 8" de diámetro							
HP	Voltios	Tamaño del Arranque NEMA	Térmicos para Relés de sobrecarga			Relés ajustables calibrar el motor	
			Furnas No. 1	Allen Braley	G.E. (Nota 2)	mínimo	máximo
40	460(4)	3	K 77	J 44	L710B	57,00	62,00
	575	3	K 74	J 42	L593B	45,60	49,60
50	460(4)	3	K 83	J 46	L866B	70,80	77,00
	575	3	K 77	J 44	L710B	56,70	61,60
60	460(4)	4(1)	K 87	J 71	L107C	83,70	91,00
	575	4(1)	K 78	J 45	L787B	67,00	72,80
75	460(4)	4(1)	K 89	J 73	L126C	101,00	110,00
	575	4(1)	K 86	J 70	L950B	81,00	88,00
100	460(4)	4	K 94	J 76	L155C	136,00	148,00
	575	4	K 87	J 73	L142C	108,00	118,00
125	460(4)	5	K 29	J 15	L111B	173,00	189,00
	575	5	K 26	J 13	L910A	139,00	151,00
150	460(4)	5	K 32	J 17	L122B	203,00	221,00
	575	5	K 28	J 14	L100B	163,00	177,00
175	460(4)	5	K 33	J 18	L147B	230,00	250,00
	575	5	K 31	J 16	L111B	184,00	200,00
200	460(4)	5	K 34	J 20	L165B	263,00	286,00
	575	5	K 32	J 17	L135B	211,00	229,00

Precaución: La garantía de los motores trifásicos es anulada amenos que se use el control SUBTROL o protección de tipo de disparo rápido compensada por ambiente, usándose en las tres fases

³⁵ Manual de motores sumergibles, Franklin Electric pág. 16

Tabla IX. Capacidad de los transformadores eléctricos ³⁶

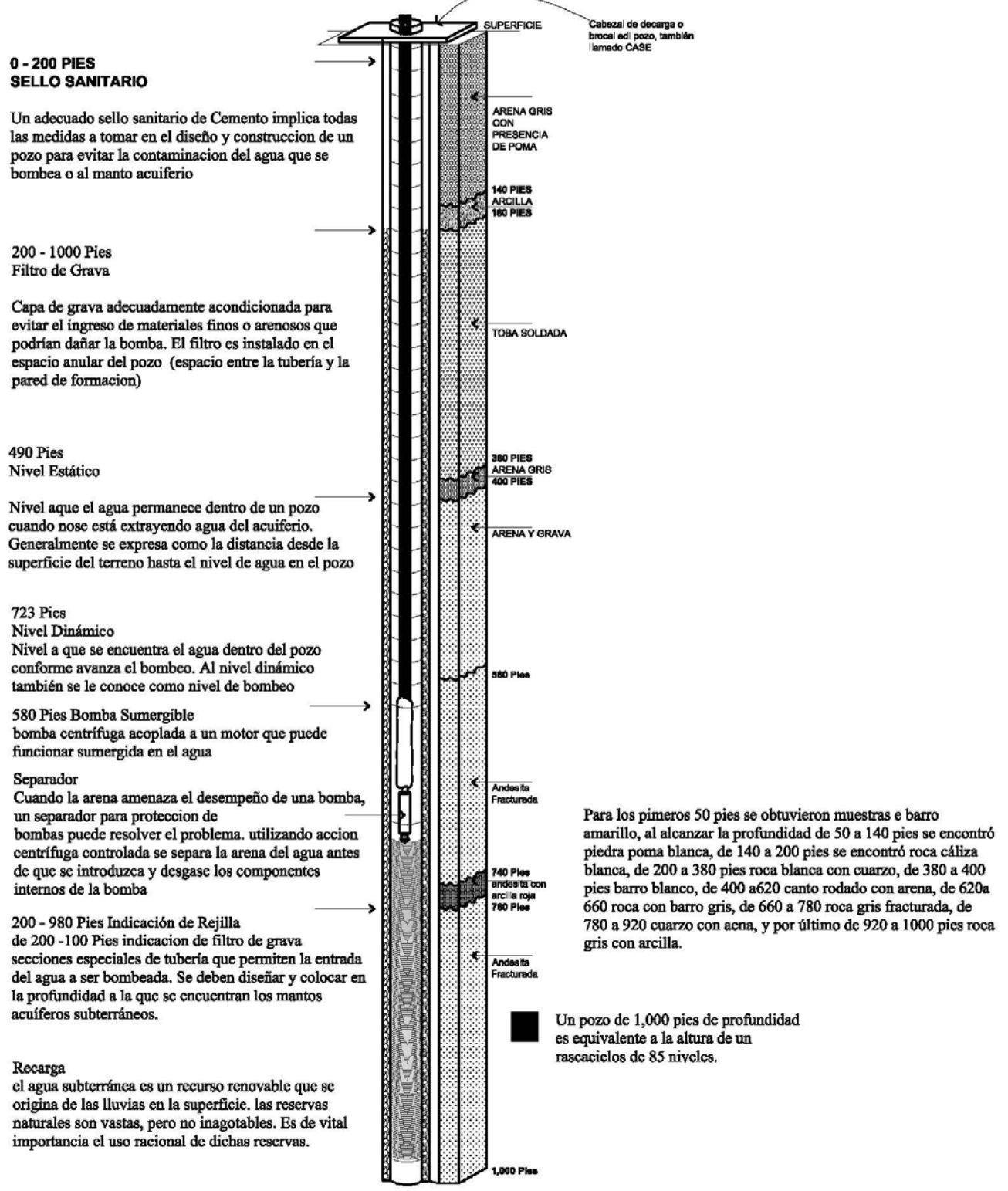
CAPACIDAD DE LOS TRANSFORMADORES			
HP de Motores	Kva. total Operativo Requerido	Capacidad mínima de cada transformador	
		Abierto WYE o delta 2 Transformadores	Cerrado WYE o delta 3 Transformadores
1,5	3	2	1
2	4	2	1.5
3	5	3	2
5	7.5	5	3
7	10	7.5	5
10	15	10	5
15	20	15	7.5
20	25	15	10
25	30	20	10
30	40	25	15
40	50	30	20
50	60	35	20
60	75	40	25
75	90	65	30
100	120	85	40
125	150	100	50
150	175	115	60
175	200	115	70
200	230	130	75

3.6.4 Diseño de la caseta para la acometida eléctrica y controles del sistema de bombeo.

Este punto es de atención muy particular, dependerá del espacio físico que se tenga en el área que se ha perforado un pozo mecánico, y que la cuadratura de la caseta tenga como mínimo 3.00 metros por lado o si se dispone de espacio y presupuesto, las personas propietarias (entes públicos o privados) de la obra tomaran la decisión adecuada. Una altura mínima de piso a cielo será de 2.60 dependiendo el clima y presupuesto se dispondrá de una altura mayor. Las figuras del anexo de la caseta de bombeo ilustran estos argumentos. La figura 22 representa el perfil esquemático donde se ilustra la combinación de perfil estratigráfico y litológico para la entrega del pozo.

³⁶ Fuente: Manual de motores sumergibles, Franklin Electric. Pág. 3

Figura 22. Combinación de perfil litológico y estratigráfico del pozo ³⁷



³⁷ Fuente: Unificación de datos; Elaboración Propia. Perforación, AC Perforaciones. Aforo, Caudales S.A. pozo de la comunidad Buena Vista Chinautla, Guatemala

4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL POZO MECÁNICO

4.1 Operación del sistema

En la caseta de controles se monta un panel de control que básicamente es un gabinete metálico, dimensionado de acuerdo a la potencia y al voltaje del conjunto motor-bomba que se instalara, este panel contendrá los controles, eléctricos-electrónicos del sistema de fuerza y automatización. En el caso de los sistemas trifásicos existen en el mercado una gran variedad de gabinetes entre los cuales podemos mencionar los más utilizados, en este particular caso mencionaremos la nomenclatura utilizada por la casa comercial Siemens, los cuales son:

T1 con dimensiones de 8" X 12" X 20"

T1 con dimensiones de 8" X 16" X 24"

T1 con dimensiones de 8" X 20" X 27"

4.1.1 Operación Automática

En la operación automática de los equipos de bombeo de agua de un pozo mecánico, se instalan sistemas electrónicos y electromagnéticos (no se dará los fundamentos de su funcionamiento dado a la injerencia de especialidad de la ingeniería electrónica, nos limitaremos a la descripción de los mandos que ejecutan), donde el componente forma un paquete compacto integrado, estos sistemas obedecen a:

A. Interruptor electromagnético: protege contra corrientes de sobre carga mayores que el relé de corriente incluso contra cortocircuitos. **B. Arrancador electromagnético:** son propiamente los arrancadores, existen una gran variedad de arrancadores electromagnéticos, que son usados para motores de potencias que van desde fracciones de caballo de fuerza, hasta cientos de caballos aunque se tiene su

limitante sobre el arranque sobre el factor de la demanda, y se hace necesaria la instalación de capacitores según sea el caso.

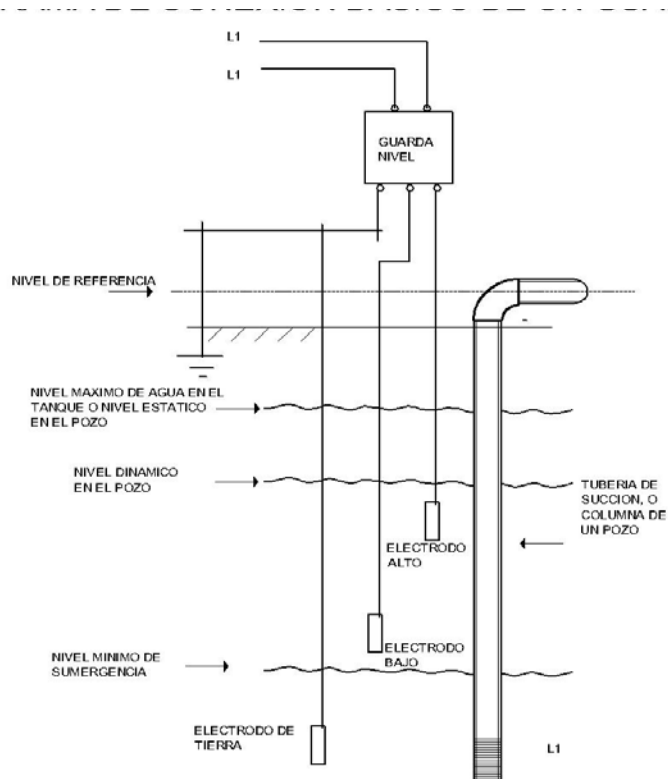
Por tal motivo, se hace necesario el uso de arrancadores a tensión reducida, que en muchos casos; siempre tiene un arrancador convencional insertado. Los diferentes tipos de arrancadores a tensión reducida (estrella-delta, auto transformador, etc.), satisfacen las necesidades de los motores grandes, disminuyendo la corriente de arranque y logrando un arranque relativamente suave. Esto es propicio en la asesoría de parte de la empresa que equipará el pozo mecánico.

C. Componentes de sistema electrónico: La aplicación de la electrónica en la relevación de potencia, ha permitido la sustitución de los arrancadores basados en relés por componentes semiconductores con notable ventajas. Esto ha dado origen a los arrancadores de estado sólido y que a la vez disminuyen el riesgo de voltajes altos, donde es posible arrancar el motor (y suspender su operación) a frecuencia constante con voltaje reducido en rampa es, decir en el gabinete de control, estos tiene funciones de protección:

C.1. Protección de presión: su función es controlar que la bomba trabaje dentro de un rango de presión (baja, y/o alta) que estaría comprendido en un rango de presión de 20 a 65 psi. **C.2. Protección de flujo:** su función es controlar que la bomba trabaje en el rango de caudal que se le programe, sea este bajo o alto **C.3. Protección por alto y bajo voltaje:** relé de voltaje: protege al motor contra un bajo o alto voltaje comprendido en una asimilación de un $\pm 10\%$ de sobre-o baja carga, también corrige el desbalance excesivo entre líneas, y pérdida de una fase. Es decir que al ocurrir uno u otro de los eventos, el aparato procede a efectuar la operación de la desconexión del circuito de mando, que es el que gobierna el circuito de fuerza que acciona el motor eléctrico de la bomba.

C.4. Protección contra bombeo en seco: su función es que la bomba no trabaje debajo de la sumergencia requerida, o peor aun, que trabaje en seco en situaciones el controlador llamado subtrol gobierna este tipo de control y que obedece al diseño de proyectista del equipamiento dado que se argumenta que es muy sensitivo a pequeños cambios y manda a parar el equipo de bombeo aunque la causa sea de tipo pasajera no dando margen de acomodo en los tiempos de respuesta. Las empresas que equipan pozos mecánicos utilizan mas el método de guarda-nivel, en combinación con los interruptores de flote con contrapeso controlando electrónicamente la sección del depósito de agua (tanque). En la figura 23 se hace referencia a un esquema de guarda- nivel.

Figura 23 Diagrama de conexión básico de un guarda-nivel³⁸



³⁸ Fuente: Víctor A. Ortega Zelada, Diseño y Selección de Equipos de Bombeo para agua Accionados por Motores Eléctricos. Tesis Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Su funcionamiento se base en la colocación de tres electrodos, con conexión al mando guarda-nivel, se hará una descripción breve de su funcionamiento, cuando no se esta bombeando el agua se encontrara arriba del electrodo alto, esto hace que la conductividad del agua (por los minerales en suspensión) “cortocircuite” los electrodos, los cuales accionaran un relé en el guarda-nivel, cuya incorporación en el circuito de control del motor, permitirá que la bomba pueda ponerse en marcha.

Al estar bombeando el caudal del agua del pozo hará que el nivel del agua descienda, por alguna circunstancia, el descenso del agua continúa y se descubre el electrodo alto, pero el nivel del agua aun esta 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, y 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 gurada-nivel ordenará la suspensión del motor, y por lo tanto del bombeo.

Con la suspensión del bombeo, el pozo inicia su recuperación, si el panel de control del motor esta en el modo arranque automático, el bombeo iniciará nuevamente al recuperarse la fuente a un cierto nivel de agua. Si durante la recuperación, el agua cubre el electrodo bajo; no así; al electrodo alto, el bombeo no se inicia. Al reiniciar el bombeo, dependiendo de las circunstancias hidráulicas, el ciclo de abatimiento podría repetirse.

Cuando los abatimientos son frecuentes para los paros es una señal de taponamiento de rejillas, envejecimiento del pozo, poca recarga hídrica, electrodos llenos de sarros de los minerales que contiene el agua etc. En fin, las variables deben ser analizadas para determinar los paros frecuentes.

C.5. Protección contra picos de voltaje: su función es proteger al motor contra la inducción de voltajes mayores a los nominales de operación, provenientes de descargas electro atmosféricas o bien por fenómenos de desbalance de carga alta o baja, en el sistema local de distribución de energía. Estos dispositivos están diseñados para detectar estos picos, normalmente se les conoce como supresores de picos, ya que es su principal función dentro del circuito de automatización eléctrica.

C.6. Protección contra arranque intermitente: los sistemas de bombeo deben de operar con la mayor continuidad posible, es decir se deben evitar paros y arranque repentinos provocados por alguna falla por sobre o bajo voltaje, falta de fase, presión, sobre temperatura etc. Para evitar el rearme o energización inmediata después de ocurrida la falla, se hace necesario el uso de relés de demora, que normalmente son dispositivos de mando para provocar el retardo en el sistema de mando antes de reactivar el sistema.

Por último, diremos que el control automático del equipo de bombeo funciona con tres sistemas integrados que están conectados a una computadora con una pantalla digital que nos indicara, la fecha y hora de producido un fallo, las situaciones de paro del sistema se dan por:

1) Que falle una fase por un delta de voltaje u otra causa, 2) un corto circuito, 3) la descarga eléctrica de un rayo, 4) rebalse del depósito, 5) el abatimiento del pozo lo deje con poca carga hídrica, 6) corte de energía (por parte del proveedor). Para todas estas formas de paro, el panel tiene instalado un sistema de indicación lumínica, para que el operador del pozo lo coloque en operación manual, estos indicadores, son unas luces de color rojo o amarillo. Cuando la luz está encendida indica que el sistema se apago y en la pantalla de la computadora nos indica el tipo de falla, si la falla no es de una trascendencia que amerita que un técnico llegue al lugar; éste mientras tanto; analizara si lo coloca en operación manual o no. Existen en el mercado comercial de equipamiento de equipo de arranque electrónico de sistemas

de bombeo, paquetes integrados para este propósito; sin embargo la empresa que equipa un pozo mecánico, tendrá su particular acercamiento de una casa comercial para la elección del sistema que más se ajuste a las necesidades del pozo en estudio.

4.1.2 Operación manual

Para la operación manual de un equipo de bombeo de un pozo mecánico se tiene instalado en el panel de control los sistemas de mando para tal propósito, de forma que se coloca el botón con una flecha indicadora para operación manual y el operador estará reseteando el momento de encendido o de paro del sistema sea por: llenado de tanque o por cualquier otra circunstancia.

4.2 Mantenimiento del sistema (pozo y bomba)

4.2.1 Mantenimiento preventivo

Cuando se instala un equipo sumergible en un pozo que se etiquete limpio (razonablemente limpio) y que funcione bajo condiciones normales, una bomba sumergible no requiere atención especial. Todos los componentes de la bomba están completamente lubricados con agua. Los motores son capaces de funcionar por largos periodos. Están sellados, auto-lubricados y contruidos de tal manera que su diseño obedece para el funcionamiento de largos períodos.

Cuando un equipo se instala en un pozo que contenga arena o materiales abrasivos, (dependiendo de la cantidad de estos materiales) puede ser necesario extraer el equipo del pozo, para evaluación y cambio de piezas desgastadas. Un equipo que opere en estas condiciones (que son especiales) se debe de verificar periódicamente la condición de aislamiento del motor. La detección temprana de aislamiento dañado reducirá en buena parte los costos de reparación de conjunto bomba-motor.

Es necesario mantener registros completos de la instalación y operación del equipo. Verificaciones periódicas de lecturas de amperaje del motor en las tres

fases se deben realizar y comparar con las cifras tomadas en el arranque inicial, y a plena carga, una variación de estos valores será un aviso de problema. Tema que trataremos mas adelante. Por de pronto, nos ocuparemos de la caracterización de las propiedades del agua que se bombea para el consumo humano.

4.2.1.1 **Análisis de la calidad del agua.**

Antes de describir los análisis y las normas del agua definiremos los conceptos siguientes:

- **Agua potable:** es aquella que por sus características de calidad especificadas en la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR 29001), es adecuada para el consumo humano

- **Límite máximo aceptable (LMA):** es el valor de concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazada por los consumidores, desde un punto de vista sensorial, pero sin que implique daño a la salud del consumidor.

- **Límite máximo permisible (LMP):** es el valor de la concentración de cualquier característica de la calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuado para el consumo humano.

- **Características físicas:** son aquellas relativas a su comportamiento físico, que determinan su calidad.

- **Características químicas:** son aquellas características relativas a sustancias contenidas en ella, que determinan su calidad.

- **Características bacteriológicas:** son aquellas características relativas a bacterias que determinan su calidad.

- **Grupo coliforme Total:** son bacterias en forma de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, Gram. negativos no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un período de 24 a 48 horas, características cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación. Para el caso de la determinación del grupo coniforme total empleando el método de membrana de filtración, se definirá como todos los microorganismos que desarrollen una colonia rojiza con brillo metálico dorado en un medio tipo endo (u otro medio de cultivo reconocido internacionalmente) después de una incubación de 24 horas a 35°C .
- **Grupo coliforme fecal:** son bacterias que forman parte del grupo coniforme total, que fermentan la lactosa con producción de gas $44.5^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación. En el método de filtración en membrana se utiliza un medio de lactosa enriquecido y una temperatura de incubación de $44.5^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un periodo de 24 horas ± 2 horas. Al grupo coniforme fecal también se le designa como termo-tolerante o termo-resistente.
- **Escherichia coli:** son las bacterias coliformes fecales que fermentan la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a $44^{\circ}\text{C} \pm 44.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ con producción de gas, y que también produce indol a partir de triptofano.

Nota: la confirmación de que en verdad se trata de Escherichia Coli se logra mediante el resultado positivo en la prueba con el indicador rojo de metilo, la comprobación de la ausencia de síntesis de acetilmetilcarbinol y de que no se utiliza el citrato como única fuente de carbón. La Escherichia Coli es el indicador mas preciso de contaminación fecal.

- **Cloro:** es el elemento número 17 de la tabla periódica de elementos. En condiciones normales de temperatura y presión es un gas verde, poderoso oxidante, dos y media veces más pesado que el aire.

Nota: el cloro es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, además de ser de fácil utilización y menos costoso que la mayoría de los otros productos o agentes desinfectantes disponibles

4.2.1.1.1 Normas e instrucciones para el muestreo del agua

Para determinar la calidad del agua, existe en el Ministerio de Economía a través del Centro Nacional de Metrología se encuentra la institución de normas por sus siglas COGUANOR, Comisión Guatemalteca de Normas. Consultada esta norma NGO 29001:99 1^a Revisión y que constituye la primera revisión de la norma COGUANOR NGO 29001 AGUA POTABLE, especificaciones, publicada en el diario oficial del 18 de octubre de 1,985, a la cual sustituye.

Para el muestreo es necesario llevar las muestras de agua al laboratorio competente, y los recipientes para la muestra se especificarán en cada uno de los análisis que se describirán mas adelante. En Guatemala existen tres instituciones (las mas comunes en realizar análisis de agua), estas son: **1.** Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM), esta institución presta el servicio de análisis de agua a través de UNEPAR que es la Unidad Ejecutora de Proyectos y Acueductos Rurales que se localiza en la 11 Ave. “A” 12-67 Zona 7 col. La Verbena esta entidad realiza exámenes fisicoquímicos, bacteriológicos y de toxicología **2.** Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el laboratorio de química y microbiología “Alba Tabarini” Ciudad Universitaria Zona 12, esta entidad realiza exámenes fisicoquímicos, bacteriológicos. **3.** El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, a través de la Unidad Nacional de Salud, que se localiza en el Km. 22 Ruta al Pacífico esta entidad realiza exámenes fisicoquímicos, bacteriológicos y de toxicología, también en esta dirección con el mismo tipo de análisis que el Ministerio de Salud se encuentra. **4.** La Autoridad para el Manejo

Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatilán (AMSA); así como; varios laboratorios privados que el consultante los podrá ver en la guía comercial de la telefonía de Guatemala.

Para efectuar el muestreo de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos debemos de proceder de la manera siguiente:

Análisis fisicoquímicos: para efectuar este análisis se contacta el laboratorio de la conveniencia del interesado, este proveerá un recipiente esterilizado de un galón (3.785 litros) deberá transportarlo en un lapso no mayor a 24 horas y a una temperatura promedio de 18 a 22 °C.

Análisis bacteriológico: también llamado análisis microbiológico, este a diferencia del análisis fisicoquímico, se tiene que tener un cuidado mayor para la toma de muestra, también en este caso el laboratorio proporciona el recipiente para la toma de muestra que es de alrededor de 100 mililitros. La muestra se debe de transportar en un periodo no mayor de 24 horas en cuanto antes mejor, y una temperatura promedio de 12 a 15 °C dado que a una temperatura mayor los microorganismos tenderán a variaciones por el incremento de la temperatura y esto dará como resultado un margen de error grande que contrastará con la fuente de la muestra.

Las normas a consultar son las normas COGUANOR que se detallan en la tabla X (esta información es para los laboratorios que se dedican a determinar estos parámetros); sin embargo; se describen para el conocimiento del lector. A la entidad que contrata este servicio le interesan los resultados que emita el laboratorio competente. El lector podrá pedir en la citada fuente un folleto informativo de cada tema de su particular interés. Sin embargo; las tablas que aquí se presentan podrán orientar al consultante a tener un perfil del agua que produce el pozo en exploración; sin olvidarse que la responsabilidad del análisis del agua (sea apta o no, para el consumo humano), es del laboratorio competente contratado; así como de su dictamen.

Tabla X. Normas COGUANOR NGO AGUA³⁹

COGUANOR NGO 4010	Sistema Internacional de unidades (SI)
COGUANOR NGO 29 011h2	Aguas, ensayos físicos. Determinación del color método de referencia
COGUANOR NGO 29 011h12	Aguas, ensayos físicos. Determinación de la turbiedad
COGUANOR NGO 29 012h14	Aguas. Determinación de metales. Dureza
COGUANOR NGO 29 012h15	Aguas. Determinación de metales. Hierro
COGUANOR NGO 29 013h3	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Alcalinidad
COGUANOR NGO 29 013h7	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Cloruro
COGUANOR NGO 29 013h13	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Fluoruro
COGUANOR NGO 29 013h18	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno(nitrato)
COGUANOR NGO 29 013h19	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno(nitrito)
COGUANOR NGO 29 013h21	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Oxígeno disuelto. Método de referencia
COGUANOR NGO 29 012h29	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Potencial de hidrógeno (PH)

4.2.1.1.2 Análisis Bacteriológico(AB), parámetros que se determinan

Para realizar este análisis es necesario llevar las muestras de agua, al laboratorio de nuestra elección en el menor tiempo posible, y la temperatura adecuada. Las características para agua potable estipulan el número permisible de microorganismos coliformes, fecales en términos de las porciones normales de volumen y del número de porciones que se examinan, con esa finalidad se establecen los parámetros siguientes.

³⁹ Fuente: Ministerio de Economía, Centro Nacional de Metrología, Sección Normas COGUANOR

4.2.1.1.3 Método de los tubos múltiples de fermentación(AB)

Para nuevas introducciones de agua, en la evaluación de las plantas de tratamiento y evaluaciones anuales se debe de proceder como se indica en las literales a) y b).

a) Prueba de los 15 tubos: se examinan 5 tubos con porciones de 10 ml, 5 tubos con porciones de 1ml, y 5 tubos con porciones de 0.1ml, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número mas probable (NMP) menor de 2.0 coliformes en 100 ml de agua, lo que se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad, y el agua es adecuada para el consumo humano.

La tabla XI muestra el NMP de diversas combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan cinco porciones de 10 ml, cinco de 1 ml, y cinco porciones de 0.1 ml. No es de extrañar que las aguas subterráneas presenten coliformes arriba del límite permitido dado que los microorganismos están presentes en todas partes si estas parámetros pasan los límites permisibles se tendrá que efectuar un tratamiento de cloración (que es lo más probable). El análisis de parte del lector será de la manera siguiente. Por ejemplo para la primera fila (tabla XI) tenemos que de cinco tubos de 10 ml c/u ninguno dió positivo, y de los cinco de 1 ml ninguno dio positivo, y de los cinco de 0.1 ninguno dió positivo, obviamente esto tendrá un valor de NMP menor de 2. En el siguiente cuadro siempre en la misma fila, tenemos que de cinco tubos de 10 ml uno dió positivo, para los cinco tubos de 1 ml uno dió positivo, y de los cinco de 0.1 ml ninguno dió positivo, el valor de NMP es de 4 pero este cuatro se toma para su análisis así: de cinco de 10 ml uno positivo llevamos 10 ml sumados al mililitro(ml) de los cinco de 1 ml, en que uno dió positivo; tenemos en total tenemos 6 ml con un NMP es 4; como el número mas probable (NMP) menor de 2.0 coliformes en 100 ml de agua: es decir solo representa el 12% del valor aceptable de la norma, o sea que estamos 88% abajo del límite

permitido. Para el análisis de cualquier dato de la tabla XI se sigue una analogía a lo anteriormente expuesto. Para comparar los resultados de la muestra que el laboratorio dará en su análisis, con los datos patrón. Aquí presentados.

Tabla XI. Número más probable de 10 ml de muestra⁴⁰

Números de tubos que dan reacción positiva				Números de tubos que dan reacción positiva			
5 de 10 ml cada uno	5 de 1 ml cada uno	5 de 0,1ml cada uno	NMP	5 de 10 ml cada uno	5 de 10 ml cada uno	5 de 10 ml cada uno	NMP
0	0	0	< 2	1	1	0	4
0	0	1	2	1	1	1	6
0	1	0	2	1	2	0	6
0	2	0	4	2	0	0	4
1	0	0	2	2	0	1	7
1	0	1	4	2	1	0	7
2	1	1	9	5	0	1	30
2	2	0	9	5	0	2	40
2	3	0	12	5	1	0	30
3	0	0	8	5	1	1	50
3	0	1	11	5	1	2	60
3	1	0	11	5	2	0	50
3	1	1	14	5	2	1	70
3	2	0	14	5	2	2	90
3	2	1	17	5	3	0	80
4	0	0	13	5	3	1	110
4	0	1	17	5	3	2	140
4	1	0	17	5	3	3	170
4	1	1	21	5	0	0	130
4	1	2	26	5	1	1	170
4	2	0	22	5	2	2	220
4	2	1	26	5	3	3	280
4	3	0	27	5	4	4	350
4	3	1	33	5	0	0	240
4	4	0	34	5	1	1	300
5	0	0	23	5	2	2	500
5	0	1	30	5	3	3	900
5	0	2	40	5	4	4	600
				5	5	5	≥ 1600

b) Prueba de los 9 tubos: se examinan 3 tubos con porciones de 10 ml, 3 tubos con de 1 ml, 3 tubos con porciones de 0.1 ml, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número mas probable –NMP- de 3.0 coliformes en 100 ml, lo cual se interpreta como un indicador de que ésta muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano. En el caso de análisis rutinarios y cuando se analizan cantidades grandes de muestras, se podrá emplear el método de los 9 tubos, pero en casos

⁴⁰ Fuente: Ministerio de Economía, Centro Nacional de Metrología, Sección Normas COGUANOR

de discrepancia o inconformidad con los resultados obtenidos, deberá de emplearse la prueba de los 15 tubos como método de referencia. La tabla XII muestra los diferentes valores de las combinaciones. De la prueba de 9 tubos.

Tabla XII. Prueba de los nueve tubos 10 ml de muestra⁴¹

Número de tubos que dan reacción positiva			
3 de 10 ml cada uno	3 de 1 ml cada uno	3 de 0.1 ml cada uno	NMP
0	0	0	< 3
0	0	1	3
0	1	0	3
0	2	0	—
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
2	3	0	—
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	3	≥ 2400
3	3	1	460
3	3	2	1100

Cuando se quiere crear un historial mensual se permiten las alternativas siguientes:

- a) 5 tubos con porciones de muestra de 10 ml cada uno, la ausencia de gas en todos se expresa como número mas probable menor de 2.2 coliformes en 100 ml de agua. Ver tabla XI

⁴¹ Fuente: Ministerio de Economía, Centro Nacional de Metrología, Sección: Normas COGUANOR

- b) 10 tubos con porciones de 10 ml cada uno, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como NMP menor de 1.1 coliformes en 100 ml de agua, lo que se interpreta como que esa muestra es adecuada para el consumo humano. Ver la tabla XIII

Tabla XIII. Tubos de reacción positiva⁴²

Número de tubos que dan reacción positiva	Número más probable NMP	Límite de confianza de 95 % (aproximados)	
		Inferior	Superior
0	< 1.1	0	3.0
1	1.1	0.03	5.9
2	2.2	0.26	8.1
3	3.6	0.69	10.6
4	5.1	1.3	13.4
5	6.9	2.1	16.8
6	9.2	3.1	21.1
7	12.0	4.3	27.1
8	16.1	5.9	36.8
9	23.0	8.1	59.5
10	> 23.0	13.5	infinito

NMP y límites de confianza de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos, cuando se usan 10 porciones de 10 ml c/una

4.2.1.1.4 Análisis físico-químico(AFQ), parámetros que se determinan

Para la realización de este muestreo es necesario que los recipientes sean esterilizados en la mayoría de casos los laboratorios proporcionan estos recipientes, y que sean llevados a laboratorio en el menor tiempo posible a la temperatura adecuada.

1. Características físicas:

1.1 Características sensoriales: representan el límite máximo aceptable (LMA) y el límite máximo permisible (LMP) que debe de tener el agua potable. La tabla XIV nos muestra esta tendencia.

⁴² Fuente: Ministerio de Economía, Centro Nacional de Metrología, Sección Normas COGUANOR

Tabla XIV. Características físicas del agua ⁴³

Características	LMA	LMP
color	5.0 u	35.0 u (1)
olor	No rechazable	No rechazable
sabor	No rechazable	No rechazable
turbiedad	5.0 u	15.0 UNT (2)
(1) unidades de color en la escala de platino cobalto		
(2) unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados		

1.2 Conductividad eléctrica: el agua potable deberá tener una conductividad de $100\mu\Omega/\text{cm}$ a $750\mu\Omega/\text{cm}$ a 25°C donde: μ = unidad de micras (1/1000) y Ω = unidad de medida de la resistencia eléctrica o la conductividad eléctrica llamada ohmio.

1.3 Características químicas del agua potable: son aquellas características que afectan la potabilidad del agua, estas están indicadas en la tabla XV.

Tomamos de la tabla XV los numerales (1), (2), (3) para su aclaración. **Para el (1):** el límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos mas alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un PH menor de 8.0, con el propósito de reducir en un 99 % la concentración de Escherichia coli y ciertos virus. **Para el (2):** en aquellas ocasiones en que amanezcan o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los caso de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua. **Y para el (3):** se toman en cuenta las unidades de PH.

⁴³ Fuente: Ministerio de Economía, Centro Nacional de Metrología, Sección Normas COGUANOR

Tabla XV. Características químicas del agua⁴⁴

Características	Límite Máximo Aceptable	Límite Máximo Permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/ml	1.0 mg/L
Cloruro (Cl)	100.000 mg/L	250.000mg/L
Conductividad	-----	< de 1500 $\mu\Omega/cm$
Dureza total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000mg/L
Potencial de hidrogeno (3)	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1000.0 mg/L
Sulfato (SO ₄)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0 °C a 25.0 °C	34.5 °C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050000mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000mg/L	100.000 mg/L

1.4 Agua clorada: la cloración de los abastecimientos públicos del agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria segura, potable. La desinfección por cloro y sus derivados significa una disminución de bacterias y virus hasta una concentración inocua, por lo que en la tabla XV se hace referencia a los límites adecuados de concentración de cloro libre residual, que es aquella porción de cloro residual total que esta “libre” y que sirva como medida de capacidad para oxidar la materia orgánica que pueda encontrarse en el interior de las tuberías o por ruptura de las mismas que pueda producir cierta contaminación microbiológica.

⁴⁴ Fuente: Ministerio de Economía, Centro Nacional de Metrología, Sección Normas COGUANOR

1.5 Límites de toxicidad también llamados análisis de metales pesados: son aquellas sustancias o compuestos químicos contenidos en el agua que al sobrepasar el límite máximo permisible causan toxicidad. En la tabla XVI se muestran algunas sustancias.

Tabla XVI. Límites de toxicidad del agua⁴⁵

Sustancia	LMP en miligramos por litro
Arsénico (As)	0.010
Bario (Ba)	0.700
Boro (B)	0.300
Cadmio (Cd)	0.003
Cianuro (Cn)	0.070
Cromo (Cr)	0.050
Mercurio (Hg)	0.001
Plomo (Pb)	0.010
Selenio (Se)	0.010
Relación de las sustancias inorgánicas con significado para la salud, con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP)	

1.6 Relación de las sustancias biocidas: la tabla XVII representa el nombre de las sustancias biocidas sintéticas con su límite máximo permisible (LMP)

⁴⁵ Fuente: Ministerio de Economía, Centro Nacional de Metrología, Sección Normas COGUANOR

Tabla XVII. Límite máximo permisible (LMP) de sustancias biocidas sintéticas⁴⁶

Compuesto	LMP en microgramos/litro	Compuesto	LMP en microgramos/litro
Insecticidas órgano-clorados		Ácidos fenoxi	
DDT + TDE + DDE	1.0	2, 4-D	30
Hexaclorobenceno	1.0	2, 4, 5-TP (silvex)	9
Aldrín	0.03	2, 4, 5-T	9
Dieldrín	0.03	Mecoprop	10
Heptacloro	0.2	Dicloroprop	100
Heptacloro epóxico	0.1	MCPA	2
Lindano	0.2	Dicamba	2
Endrín	0.2	picloram	500
Metoxicloro	20	Dalapón	200
Clordano	0.2	Endotal	100
Toxafeno	3.0	Triazinas	
Pentaclorofenol	1.0	Atrazina	2
Dinoseb	7.0	Simazina	2
Fumigantes		Acetanilidas	
DBCP	0.2	Alaclor	2
(1,2- dibromuro-3,- cloropropano)	0.05	Metolaclor	10
EBD (dibromuro de etileno)	5.0	Propaclor	10
1,2- dicloropropano	20	Butaclor	10
1,3- dicloropropano		piretroides	
Carbomatos		Permetrina	20
Aldicarb	3	Amidas	
Sulfóxido de aldicarb	3	Propanil	20
Sulfona de aldicarb	3	Piridato	100
Calbofurán	5	Trifluralin	20
Oxamil	200	Diguat	20
Metomil	200	Glifosato	700
Bentazón	30	Di (2- etil-hexil adipato)	400
Molinato	6	Bensopireno	0.2
Pendimetalina	20	Hexaclorociclo- pentadieno	50
Isoproturón	9	Di (etil-hexil) ftalato	6
Órgano-fosforados		PCB'S	0.5
Diazinón	0.1	Órgano-osforados	
Dimetoato	0.1	Etil paratión	0
De los restantes órgano-fosforados		Leptofós	0
		no mas de 0.1 cada uno	

La tabla XVIII representa las sustancias no deseadas con su límite máximo aceptable y -LMA- y su límite máximo permisible -LMP-.

⁴⁶ Fuente: Centro Nacional de Metrología, Sección Normas COGUANOR Ministerio de Economía

Tabla XVIII. LMP de sustancias no deseadas en el agua⁴⁷

Característica	LMA, en miligramos/litro	LMP, en miligramos/litro
Fluoruro (F)	0	17.000
Hierro total (Fe)	0.100	1.000
Manganeso (Mn)	0.050	0.500
Nitrato (NO ₃)	0	10
Nitrito (NO ₂)	0	1

La tabla XIX representa las sustancias orgánicas con significado para la salud y su límite máximo permisible -LMP-

Tabla XIX. LMP de sustancias orgánicas con significado para la salud⁴⁸

Compuesto	LMP, en miligramos/litro
Benceno	5
Cloruro de vinilo	2
Detergentes aniónicos	200
o-diclorobenceno	600
p-diclorobenceno	75
1,2-dicloroetano	5
1,1-dicloroetileno	7
cis-1,2-dicloroetileno	70
trans-1,2-dicloroetileno	100
1,2-dicloropropano	5
Estireno	100
Etilbenceno	700
Monoclorobenceno	100
Sustancias fenólicas	2
Tetracloruro de carbono	5
Tetracloroetileno	5
Tolueno	1000
1,1,1-tricloroetano	200
Tricloroetileno	5
Xileno	10000

Para la periodicidad de los análisis de la calidad del agua, dependerá del primer análisis completo que se realice de esta, es decir los análisis bacteriológicos, fisicoquímicos, y el análisis toxicológico. Este primer muestreo nos dará el indicador

⁴⁷ Fuente: Ministerio de Economía, Centro Nacional de Metrología, Sección Normas COGUANOR

⁴⁸ Fuente: Ministerio de Economía, Centro Nacional de Metrología, Sección Normas COGUANOR

para realizar los muestreos en períodos de 1 a 3 meses en el examen bacteriológico, y de 3 a 6 y hasta 12 meses el fisicoquímico completo (que incluye el toxicológico)

4.2.1.1.5 Limpieza del pozo (mínimo a cada dos años)

La limpieza de un pozo mecánico dependerá de factores como: el grado de minerales que contiene el agua, ya que estos con el tiempo tienden a formar sarros en las rejillas y bloquearan la recarga hídrica, las incrustaciones a que son sometidas las rejillas por parte de de arenas y otros materiales que se filtran a través del filtro de grava, los lodos que se acumulas por efecto de la sedimentación en el fondo del pozo y que por efecto del abatimiento se bombee agua sucia.

Dependiendo el análisis de estos factores se presenta una limpieza como mínimo a cada dos años o más, dado que es necesario sacar el equipo para la realización de este tipo de trabajo, y la movilización del equipo de bombeo y el de limpieza representa un costo alto. Los métodos más comunes para esta limpieza son: el cepillado, el pistoneado y la acción de lavado por chorro a presión.

Atendiendo la magnitud de los costos tenemos el método de inspección visual con cámara de video que es utilizada sin la movilización del equipo de bombeo, que representa un costo menor que los métodos citados anteriormente. La cámara de video nos dará una representación visual del estado actual del pozo y se puede realizar mejor un análisis de la situación y valuar en tiempo real la programación de la limpieza y el método más conveniente.

4.2.1.1.6 Tarjeta de control de operación, se medirán las variaciones de los análisis bacteriológicos, fisicoquímico y el estado del pozo

Esta tarjeta nos indicará la frecuencia del muestreo sí es por mes o a cada tres meses, también nos dará el indicativo, si el agua es apta para consumo humano, dentro de los rangos permisibles de los exámenes, estos análisis se guardaran debidamente en un lugar especial, dado que es nuestra evidencia fidedigna que se esta muestreando el agua, y en la tarjeta de operación tendremos la información de su dictamen, a continuación se presenta un modelo de una tarjeta de operación.

En esta tarjeta aparece el día 17 de febrero como el punto de inicio de la muestra, con el dictamen favorable del agua para el consumo humano, en los análisis fisicoquímico y bacteriológico; es importante hacer notar que en los análisis fisicoquímicos se debe efectuar completo, es decir que incluya en examen toxicológico. En este caso se efectuaron análisis a los tres meses en donde la tabla XX (de operación) muestra el historial del muestreo.

Tabla XX. Inicio del historial de muestreo del agua⁴⁹

TARJETA DE OPERACION		AÑO:		2,007
TIEMPO DE OPERACIÓN EN AÑOS		No. DE AÑOS		0
CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO				
Historial de Muestreo:	Condición del pozo	No. correlativo de análisis		1
Nombre del laboratorio:				
Mes de toma de la Muestra	Día	Análisis Fisicoquímico Dictamen	Análisis Bacteriológico Dictamen	Apariencia del agua
Enero				
Febrero	17	Aceptable	Aceptable	Limpia
Marzo				
Abril				
Mayo				
Junio				
Julio				
Agosto				
Septiembre				
Octubre				

⁴⁹ Fuente: Elaboración propia

Luego tenemos una secuencia del muestreo a los tres meses; sin embargo una evaluación inicial dará los elementos necesarios de juicio para determinar los períodos del muestreo, para los primeros años la tabla XXI ilustra este argumento.

Tarjeta XXI Seguimiento del historial de muestreo del agua⁵⁰

TARJETA DE OPERACION		AÑO:		2,007
TIEMPO DE OPERACIÓN EN AÑOS		No. DE AÑOS		0
CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO				
Historial de Muestreo:		Condición del pozo	No. correlativo de análisis	1
Nombre del laboratorio:				
Mes de toma de la Muestra	Día	Análisis Físicoquímico Dictamen	Análisis Bacteriológico Dictamen	Apariencia del agua
Enero				
Febrero				
Marzo				
Abril				
Mayo	19	Aceptable	Aceptable	Limpia
Junio				
Julio				
Agosto				
Septiembre				
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				

4.2.1.2 Análisis mensual de niveles método de la línea de aire-MLA-

En el análisis mensual de niveles de un pozo mecánico con equipamiento y con producción, se establece desde un inicio la instalación de una sonda de aire, esta sonda es básicamente una manguerita semi-flexible de ¼” de diámetro que desde la superficie es instalada a un manómetro con conexión a un compresor de aire, ésta estará sumergida a una distancia del nivel estático (que se dio como dato de la perforación del pozo). El manejo de prueba de presión de la sonda nos ayudara a

⁵⁰ Fuente: Elaboración propia

la determinación del nivel estático y dinámico: así como; la producción de agua del pozo.

4.2.1.2.1 Medición del nivel estático (NE). Se procede a efectuar la prueba antes del inicio de una jornada de trabajo en el sistema de bombeo, de la perforación del pozo conocemos el nivel estático original, esa será la cantidad de manguera que hay que introducir; sin embargo; luego de un tiempo de producción del pozo, este dato parece incierto, de manera que se procede como se indica a continuación:

Sabemos que; de la perforación del pozo que el N.E esta a 490 pies de profundidad sin embargo; debido a que el pozo sufre una pérdida de agua con el tiempo por los factores antes mencionados, tenderemos a introducir un largo de unos 50 pies mas de longitud de manguera que al bombearle aire a presión y cuando el dial del manómetro se estabiliza procedemos a leer la presión de este y proceder así.

Donde: $L_s = \text{longitud de sonda} = (490 + 50) \text{ pies} = 540 \text{ pies}$

$L_m = \text{es la lectura del manómetro en (psi) libras/ pulg.}^2$

Para este ejemplo tendremos que nuestro pozo tiene 3 meses de estar funcionando y se verificará el nivel estático. Cuando se bombeó aire a presión el manómetro se estabilizo a 21.90 psi; entonces

$(21.90 \text{ psi}) / (1.42) = \text{longitud en metros}$

$\rightarrow (15.42 \text{ mt}) * (3.28 \text{ pies/1 mt}) = 50.57 \text{ pies}$

Donde: 1.42 = representa el factor de conversión de psi metros es una constante de uso común en cálculos hidráulicos donde la presión se lee del dial de un manómetro. Entonces el nivel estático se encuentra a:

$N.E = (540 - 50.57) \text{ pies} = 489.43 \text{ pies}$

Esto con el nivel estático cuando se perforo el pozo presenta una variación de

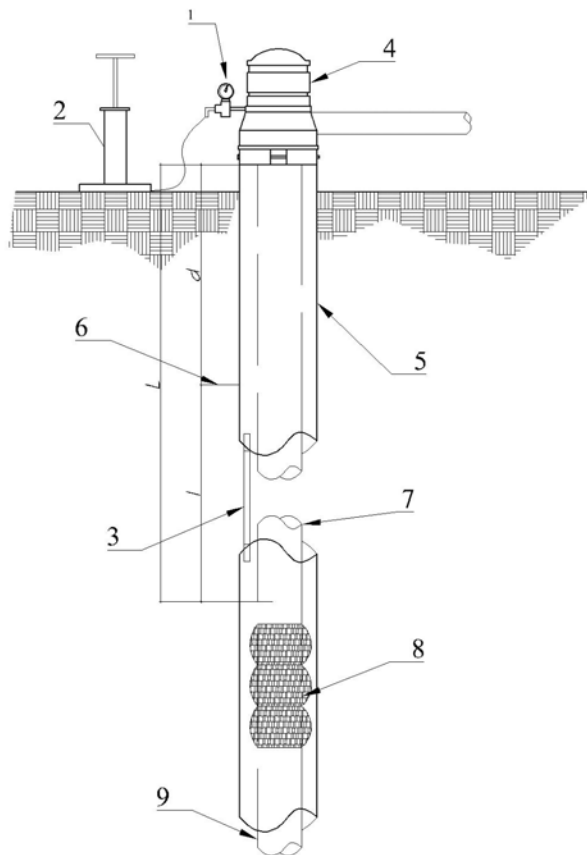
(490 – 489.43) pies = 0.57 pies;

Es decir que estamos dentro del rango aceptable para un pozo nuevo con una excelente recarga hídrica.

4.2.1.2.2 Medición del nivel dinámico (ND)

Para determinar el nivel dinámico completamos una jornada de bombeo y se procede a la referencia de los datos que tenemos del perfil de la perforación del pozo; que para este caso esta a 723 pies el N.D. Es la longitud de sonda que hay que introducir al pozo más el incremento de 50 pies, el proceso de la determinación es análogo al nivel estático. La figura 24 representa un esquema de instalación típica para la medición de niveles por el método de la línea de aire (MLA)

Figura 24. Método de la línea de Aire⁵¹



⁵¹ Fuente: Mathurin Veles Juan Carlos. Optimo Equipamiento de Pozos Mecánicos para la Explotación de Agua Subterránea de Acuerdo a su Requerimiento. Tesis Escuela Ingeniería Civil. USAC

Donde: **elementos principales en la superficie:** **1.** Manómetro de línea de presión, **2.** Inyección de aire (compresor). **3.** Tubo de línea de aire. Elementos para la medición dentro del pozo. **4.** Motor eléctrico sumergible, **5.** Ademe del pozo, **6.** Nivel de agua, **7.** Tubería de la bomba o columna, **8.** Tazones de succión (bomba sumergible), **9.** Tubo de succión.

4.2.1.2.3 Tarjeta de control de niveles: para mantener un registro del pozo con respecto a los niveles, se tiene que definir la frecuencia de la medición, una práctica saludable es realizarlo mensual, pero dependerá del criterio de la empresa que entregue el pozo dada sus recomendaciones. Se presenta seguidamente un modelo de una tarjeta de control.

Tabla XXII. Control de niveles del agua del pozo⁵²

Tarjeta de control de fluido eléctrico y guarda-nivel				Año	2,007
Tiempo de operación en años				No. años de servicio = 0	Datos del fluido nominal Nivel estático = 490 pies Nivel dinámico = 723 pies
Historial de la medición		Condición del pozo Nuevo			
Nombre del pozo		Comunidad Buena Vista Chinautla, Guatemala			
Localización		Comunidad Buena Vista Chinautla, Guatemala			
Responsable de la medición		AC perforaciones			Firma
Mes	Día	Nivel en pies		Estado del pozo	Observación
		Nivel Estático	Nivel Dinámico		
Enero					
Febrero					
Marzo					
Abril					
Mayo	25	489.43 $\Delta_{NE} = 0,57$	722.43 $\Delta_{ND} = 0,57$	En optima condición	Excelente carga hídrica
Junio					
Julio					
Agosto					
Septiembre					
Octubre					
Noviembre					
Diciembre					

⁵² Fuente: Elaboración propia

Donde:

Δ = es la diferencia entre el nivel de perfil y el de la medición; así:

Δ_{NE} = del nivel estático = (490- 489) pies = 0.57 pies

Δ_{ND} = del nivel dinámico = (723- 722.43) pies = 0.57 pies

4.2.1.3 Revisión programada del sistema eléctrico

La entidad que sea dueña de un pozo mecánico se trate de una municipalidad, o de una persona individual tendrá dentro de su programación de mantenimiento preventivo (entre otros parámetros descritos anteriormente) la revisión de las conexiones del fluido eléctrico; trabajo efectuado por parte de un técnico competente. Esta revisión podrá ser programada mensual, los elementos a revisar son:

4.2.1.3.1 Revisión de Acometida. Aquí revisaremos el apriete de los tornillos de la cajas que contiene los flipones de disparo de la carga que se maneja en el sistema de bombeo, se chequea también la situación del aislante de los cables, esta observación es visual, dado que los cables que transportan fluido eléctrico sufren efectos de la intemperie, efectos del propio campo eléctrico y magnético que genera la electricidad y puedan presentar picaduras y/o rotura en alguna sección de su longitud.

4.2.1.3.2 Revisión del banco de transformadores. Dependiendo que tipo de transformador se use; pues; existen dos tipos de transformadores, los bañados en aceite y los que trabajan en seco, la mayoría que son usados en nuestro medio son los bañados en aceite. Básicamente la revisión consiste en verificar el nivel de aceite, los aprietes de los cables de conexión, inspección visual de los cobertores del transformador sobre picaduras, oxidación prematura etc. En nuestro caso que tenemos un equipamiento para 125 HP el cálculo para nuestro banco de

transformadores es: tenemos que convertir los HP a KW utilizando el factor 0.746. Luego se divide la potencia del motor en KW dentro de 0.62 para obtener la potencia aparente mínima del transformador para energizar dicho motor.

Teniendo $(125 \text{ HP} \times 0.746)/0.62 = 150.40 \text{ KVA}$ que en la practica viene a ser 150 KVA que se podría cubrir con tres transformadores de 50 KVA pero los KVA de nuestro calculo nos dio 150.40 KVA buscamos en el mercado eléctrico tres transformadores de 55, o de 60 KVA de no encontrarlos tendremos que sobredimensionar nuestro banco a tres transformadores de 75 KVA.

4.2.1.3.3 Revisión de la oscilación del consumo eléctrico. El componente electrónico que tenemos instalado en el equipo de bombeo nos da las lecturas del amperaje y del voltaje, del sistema para cualquier momento, acá el encargado de la bomba dará la alerta cuando el paro se da por un incremento del amperaje, lo cual nos indica que existe una falla que se debe de investigar su origen, cuando el paro se da por un cambio muy brusco en el voltaje, su localización inmediata es de realizarse primero internamente en el equipo del bombeo, luego de parte del proveedor de energía, para estos parámetros se puede o no llevar una bitácora, sobre amperaje y voltaje, dado que el gabinete de control nos gobierna estas fallas descritas anteriormente.

4.2.1.3.4 Revisión de empalmes y fusibles. La energía antes de entrar al gabinete de control de equipo debe de pasar antes por la caja de flipones y de fusibles y su revisión es inspección visual de sacar uno a uno los fusibles y revisar el componente de metal fundente si no tiene picaduras o alguna pequeña fisura para cambiarlos por uno nuevo. Para los empalmes una vez se efectuaron muy bien en la conexión solo es de revisar que el elemento (en la mayoría de casos es cinta aislante) aislante este bien pegado y verificar el apriete del empalme.

4.2.1.3.5 Revisión del guarda-niveles y electrodos. El guarda-nivel esta incorporado en el circuito del motor desde el gabinete de control su revisión implica inspección de elementos cortocircuitados, o con una mancha de cable que vislumbre una quemadura, apriete del los elementos de sujeción (pequeños tornillos, tiritas de sujeción de cables etc.). Para los electrodos del guarda-nivel estos habrá que sacarlos del pozo y revisarlos si no tienen picadura relativas a los campos eléctricos y magnéticos, o la incrustación de sarros de la mineralización propia del agua. Se presenta la tabla XXIII como evidencia de control para este tipo de revisión.

Tabla XXIII Control mensual del fluido eléctrico⁵³

Tarjeta de control de fluido eléctrico y guarda-nivel				Año	2,007
Tiempo de operación en años				No. años de servicio = 0	Datos del fluido nominal amperaje = 67.57 amperios Voltaje = 460 voltios
Historial de la medición		Condición del pozo En servicio			
Nombre del pozo		Comunidad Buena Vista Chinautla, Guatemala			
Localización		Comunidad Buena Vista Chinautla, Guatemala			
Responsable de la medición		AC Perforaciones			Firma
Mes	Día	Fluido eléctrico		Estado del pozo	Observación
		Nivel Estático	Nivel Dinámico		
Enero					
Febrero					
Marzo					
Abril					
Mayo	25	69 por línea	460 voltios	En optima condición	Situación normal
Junio					
Julio					
Agosto					
Septiembre					
Octubre					
Noviembre					
Diciembre					

⁵³ Fuente: Elaboración propia

4.2.1.3.6 Adecuado contrato de la potencia eléctrica requerida para evitar penalización, y tarjeta de control. Este es un tema particularmente importantísimo dadas las penalizaciones que existen en los contratos del fluido eléctrico su descripción es así: de 0 a 11 KW es una tarifa de baja tensión simple, de 11 a 22.5 KW es una tarifa con baja tensión con demanda, y de 22.5 KW en adelante, siempre se tipifica como baja tensión con demanda pero el contrato es más estricto que en los rangos anteriores, para éste régimen; por ejemplo; en éste caso: se tiene un equipamiento para 125 HP X su factor de conversión a Vatios $(0.746)/3 = 31.08$ KW se procede a contratar 34 KW basándonos en este parámetro tendremos nuestro margen de pérdidas de corriente de 2.92 KW que es un margen suficiente, para los incrementos de amperaje por distintos factores(temperatura en cables y motor, pequeño incrementos de corriente debido a caída de tensión por longitud de cable etc.); así como para la iluminación, y conexión de aparatos eléctricos de uso doméstico.

Se procede a contratar 34 KW, si por alguna circunstancia se pasa a 36 KW los 2 KW de más; se cobran al doble de su precio, para este momento (Julio/2007) el precio del KW para éste régimen es de: Q125.3614; es decir que tendríamos que pagar. Ver tabla XXIV.

Tabla XXIV Valores de penalización por contrato eléctrico⁵⁴

Bitácora	Tabla de penalización por contrato de demanda KW				
	Demanda contratada 34 KW				
	Precio del KW Q 125.3614				
Mes	consumo del mes en KW	Incremento de la demanda contratada	Penalización (Q 125,3614)X2 Q250.7228	Pago sin penalización	Pago con penalización
Enero					
Febrero					
Marzo					
Abril					
Mayo	36 KW	2 KW	Q 501.4456	Q 4,513.0104	Q 5,014.4562
Junio					
Julio					
Agosto					
Septiembre					
Octubre					
Noviembre					
Diciembre					

Acá se puede observar que el incremento es bien alto cuando nos pasamos solamente 2 KW si el incremento es mayor tendremos una situación que estaríamos pagando más por penalización que por lo que consumimos. Por otro lado si no consumimos por alguna razón los 34 KW tendremos que pagar siempre los 34 KW contratados. La empresa que brinda el fluido eléctrico a un determinado usuario cobra otra penalización, esta se da por el bajo factor de potencia el cual se corrige con la instalación de capacitares adecuados. Por tratarse de un tema de especialidad del diseño de un pequeño banco de capacitores no se tratara en este trabajo de graduación; sin embargo; el interesado podrá contratar a una firma eléctrica para tratar este parámetro que merece atención especial.

⁵⁴ Fuente: los costos del KW, Empresa Eléctrica de Guatemala, y la tabla: elaboración propia

4.2.2 Mantenimiento correctivo

4.2.2.1 Análisis del equipo y del pozo, esto nos sirve para efectuar un dictamen de la situación

Cuando los análisis de los niveles del pozo (bajo nivel tanto NE como ND), los incrementos de consumo en el fluido eléctrico nos dará una señal, a la que se le debe de poner atención esto regularmente sucede de dos años en adelante del funcionamiento de un pozo, existen pozos que son muy estables aun más allá de los tres años y medio; sin embargo; nunca se debe de permitir que el sistema de bombeo colapse, y se hace necesario que transcurridos de 2 a 2 años y medio se saque el equipo para realizar mantenimiento al sistema, es decir al equipo de bombeo y al pozo.

4.2.2.1.1 Cepillado de la columna del pozo. Cuando se tiene la planificación del mantenimiento del pozo iniciaremos cepillandolo para botar por este efecto las incrustaciones en la rejilla, su descripción obedece a lo planteado en el capítulo 3, luego de este proceso, procedemos a inyectar agua por chorro a presión para que esta llegue al filtro de grava y lo pueda limpiar, la presión del agua; así como la cantidad de agua inyectada dependerá que tan obstruido se encuentre la tubería ranurada, de forma que la presión no sea excesiva que pueda dañar el filtro de grava.

4.2.2.1.2 Inyección de químicos de limpieza. Esta operación dependerá del criterio del ejecutor de la limpieza del pozo, dado que del análisis de la calidad de agua se sabe que minerales se encuentran presentes que pueda formar sarros o costras en la tubería ranurada; si se analiza que esto es necesario, existen en el mercado comercial productos de limpieza para pozos, que son químicos adecuados para cada caso particular; así como; de su dosificación tiempo de aplicación y posterior lavado por chorro.

4.2.2.1.3 Extracción de sedimentos acumulados. Una vez concluida la cepillada de la tubería y la desincrustada de sarros de la mineralización del agua, procedemos a sacar todos estos sedimentos que están en el fondo del pozo, juntamente con la acumulación de lodos que se sedimentaron por el efecto del abatimiento (arenas y materiales que se pasan y no son bombeados). Para sacar estos sedimentos podemos acceder a uno de los métodos de limpieza descritos en el capítulo 3 los cuales pueden ser por pistoneado o cuchareado.

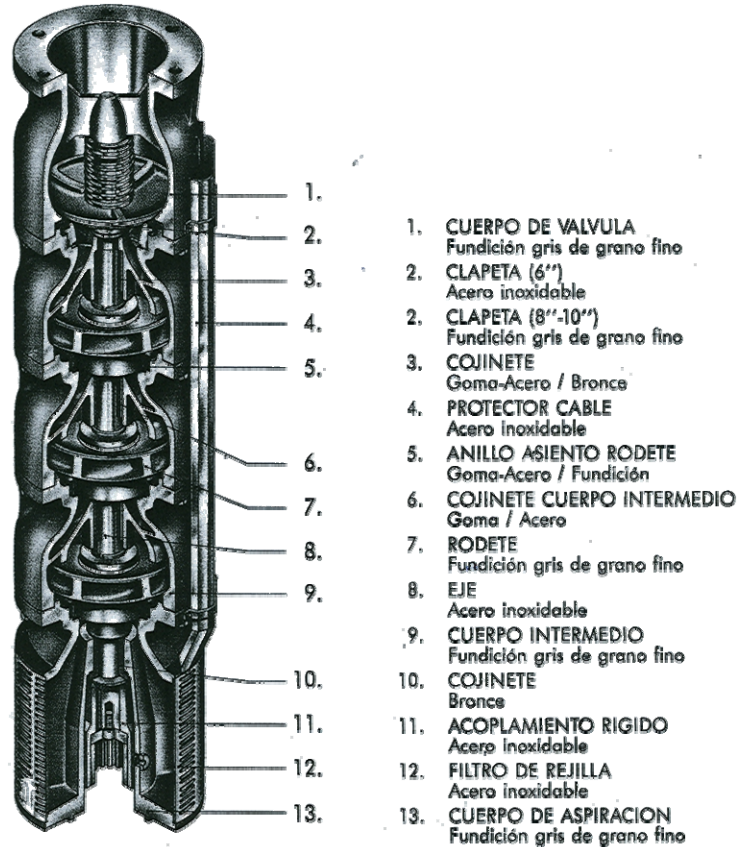
4.2.2.1.4 Limpieza y desinfección por cloro. Este método se describió en el capítulo 3; sin embargo; se trata en esta sección dado que pertenece a la secuencia lógica del mantenimiento del pozo, como se sabe el cloro tiene propiedades desinfectantes, se usa inyectado a una presión dada para un tiempo dado depende del caso de cada pozo en particular.

4.2.2.2 Sistema de bombeo (dependiendo del tipo de bomba). Regularmente las bombas utilizadas en pozos mecánicos del tipo de turbina vertical y para efectuar un examen y mantenimiento se tiene que sacar del pozo.

4.2.2.2.1 Limpieza general. Cuando tenemos la bomba afuera del pozo la colocamos en un banco de trabajo, procedemos a su revisión, evaluación y limpieza.

4.2.2.2.2 Revisión de los impulsores. En la figura 25 muestra un esquema general de una bomba usada en un pozo mecánico, podemos apreciar la ubicación del rodete o impulsor.

Figura 25. Esquema seccionado de una bomba sumergible⁵⁵



Cuando un pozo esta contaminado por arenas u otros materiales, estos son elementos abrasivos en los rodetes o impulsores, ya que su paso por estos son a alta velocidad lo cual provoca una fricción considerable, si el grupo de impulsores esta muy erosionados, se hace necesario cambiarlos por un kit nuevo (el kit trae un juego de sellos para el ajuste de etapa por etapa), regularmente son estos los que tienen el mayor desgaste ya que el eje del impulsor es de acero inoxidable con características anticorrosivos y esta sujeta a poca abrasión.

⁵⁵ Fuente: Manual de bombas Berkeley Electronic Catalog

4.2.2.2.3 Evaluación de cambio del rotor de la bomba. Un rotor de una bomba sumergible amerita su cambio solo que la bomba halla tenido un paro de atascamiento y el eje impulsor se encuentre torcido, es determinante cambiarlo no buscar la forma de repararlo.

4.2.2.2.4 Evaluación de fisuras de la carcasa de la bomba. La minuciosa inspección visual de la carcasa de la bomba nos dará el dictamen, de como son las condiciones del agua que cubre la bomba, si esta tiene una fisura se perderá presión de trabajo y por consiguiente afectara la disminución del caudal, aumentara el esfuerzo de trabajo del motor eléctrico con su debido aumento del amperaje, y esto manda a parar el sistema de control automático, bien, la fisura es posible sellarla con soldadura de hierro colado, si la situación no es grave existen selladores epóxicos para tal objetivo que cumplen satisfactoriamente esta función.

Si amerita que a la carcasa se le realice un trabajo de soldadura, tiene que ser una empresa confiable y con experiencia, normalmente se procede así: se calienta a una temperatura dada (experiencia del soldador) todo el cuerpo de la bomba; esto se hace por dos razones. **1.** Evita que exista pandeo de la carcasa y **2.** Facilita la penetración del material. Tanto para la solución de sellado epóxico como en la soldadura la carcasa se presuriza (normalmente a una presión mayor, que el de trabajo de la bomba) para detectar las salidas de aire, si todo marca bien se procede a armar la bomba.

4.2.2.2.5 Evaluación de los rodamientos del eje de la bomba (según el tipo de bomba). Debemos verificar si el tipo de bomba esta montada sobre cojinetes, o en su caso estará montada sobre bushing de aleación especial para alta revolución (familias de teflones, y/o aleaciones grafitadas de bronce). Normalmente las bombas de este tipo usan tres cojinetes(o bushing) dos en las puntas y uno en la longitud media de la bomba, este tipo de cojinetes viene sellado y con lubricación propia, y dependiendo de su

diseño, es tal que el agua filtrada en ellos sirve como lubricante. Su ubicación dentro del impulsor es disposición del diseñador; sin embargo; en la mayoría de bombas su disposición es así: el que inicia la impulsión es de bronce le siguen dos cojinetes de una combinación de goma-acero y bronce.

Los fabricantes de cojinetes tiene tablas con aproximaciones de servicio y vida útil de un cojinete, esto se evalúa en condiciones especiales; sin embargo; cada bomba obedece a una condición de trabajo muy particular dadas las condiciones de la formación geológica así será la condición de agua en el reservorio.

El cambio completo del kit de cojinetes será la decisión del técnico en mantenimiento. En el banco de trabajo se efectuara un chequeo sobre vibración (bomba armada), para esto se necesita equipo especial, en esta operación se escuchan pequeños ruidos propios de los rodamientos (escuchados con estetoscopio), cuyo desgaste será evaluado por el técnico, y de este análisis dependerá su cambio ó, puestos nuevamente en servicio

4.2.2.2.6 Evaluación del sistema de cableado. Los cable salen del pozo juntamente con la bomba, una vez afuera se dará una inspección visual para verificar picaduras en el aislamiento, se verificara prueba de continuidad para verificar su conductividad. Normalmente estos cable están recubiertos con materiales diseñados para este propósito y su vida útil es relativamente larga, la evaluación de recambio es decisión del técnico.

4.2.2.3 Sistema eléctrico y controles de paro y arranque. Para el mantenimiento del sistema eléctrico del equipamiento de un pozo mecánico es indispensable la revisión programada mensual de los diferentes elementos, que lo conforman, mencionaremos los más relevantes, para guía del lector.

4.2.2.3.1 Análisis de cambio de fusibles. Un fusible amerita su cambio cuando se observa una leve picadura en su elemento metálico fundente, también en los extremos del fusible que son cabezas de cobre si se observa algún daño es necesario cambiarlos, si solo se encuentran con signos de incrustación de suciedad se lija y se colocan nuevamente.

4.2.2.3.2 Análisis de cambio del rotor eléctrico del motor sumergible. Para que el dictamen de cambio de rotor se de, debió de existir un paro repentino brusco que la inercia de la impulsión halla llegado atrasada al gabinete de control para que la orden de paro del sistema de bombeo no se halla ejecutado, otra circunstancia puede ser un corto dentro del sistema del control en el panel de control y se queme el motor. pero estos ejes están diseñados para resistir un margen de torque con ciertas variaciones de carga, que si la situación es pasajera no existirá peligro de atascamiento del rotor y su inevitable pando. Es importante señalar que cuando un motor eléctrico de este tipo se queme se reemplace por uno nuevo, ya que existen empresas que ofrecen repararlos, pero estos motores son especiales y la garantía que lo reparen con una vida útil es bien escasa si es que nula.

4.2.2.3.3 Análisis de cambio del transformador. En la mayoría de pozos mecánicos se hace necesario la colocación de un banco trifásico de transformadores, es bien difícil que un equipo de extracción de agua subterránea no disponga de un banco trifásico de transformadores resultaría oneroso el pago de la factura eléctrica normalmente los transformadores son propiedad del ente dueño del pozo, pero si la proveeduría de un mal fluido eléctrico lo quema se trata de incurrir en responsabilidad al distribuidor, la quema del transformador puede ser por un delta de tensión ó muy bajo ó muy alto, también las cargas electro atmosféricas (rayos) podrían quemar un transformador y esto amerita su cambio, las situaciones que un transformador se quede sin aceite

dieléctrico es bien remota; sin embargo; se debe realizar su inspección del nivel de aceite, si está bajo se debe compensar lo que hace falta y llenarlo a su nivel.

4.2.2.3.4 Análisis del sistema eléctrico y/o electrónico del bombeo y paro automático. Los equipos montados en los gabinetes de control de un sistema de bombeo automático son muy sensibles dado a sus componentes electrónicos, las fallas que ameriten su cambio se dan en situaciones extremas de una sobrecarga, un cortocircuito muy fuerte, una mala conexión, conexiones cruzadas o una deficiente programación, de su operación dado que el sistema en fallas de cualquier índole manda a parar el bombeo, el tiempo de servicio es otro indicador de cambio esto es una condición que involucra a muchos parámetros, conexiones bien hechas, buena programación etc. Para la verificación de funcionamiento se coloca el botón de arranque manual se resetea en arranque y luego trascurrido unos segundos se acciona el paro, luego se hace lo mismo en automático se le determinan los parámetros de arranque y paro y se observa el mando de ejecución.

4.2.2.3.5 Mediciones y observaciones del motor. Para realizar estas mediciones es necesario que el motor este en un banco de pruebas, se le da corriente sin carga se conecta con el voltaje de trabajo (460 para este caso) se observa con el amperímetro el amperaje de arranque y luego el de servicio (sin carga) y se compara con los datos del fabricante.

Siempre existen unas pequeñas variaciones pero se estabilizan en un corto tiempo de estar en funcionamiento.

Cuando el amperaje en servicio sin carga es un poco alto es necesario que se investigue la causa. Y se proceda a corregir si no es posible corregirlo este motor se quemara en su régimen normal de servicio con

carga, es decir bombeando agua. Si se observa una fisura en la carcasa del motor debiéramos cambiar motor a la primera intención ya que no es garantía soldar la carcasa, pero, podrá darse que se tengan carcasas de repuesto según el proveedor y el tipo de bomba si no existieran carcasas en el mercado de bombas y motores sumergibles para pozos profundos, cambiemos el motor.

5. CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE Y SU ESTRUCTURA

5.1 Materiales a utilizar en la construcción de tanques elevados y estructuras

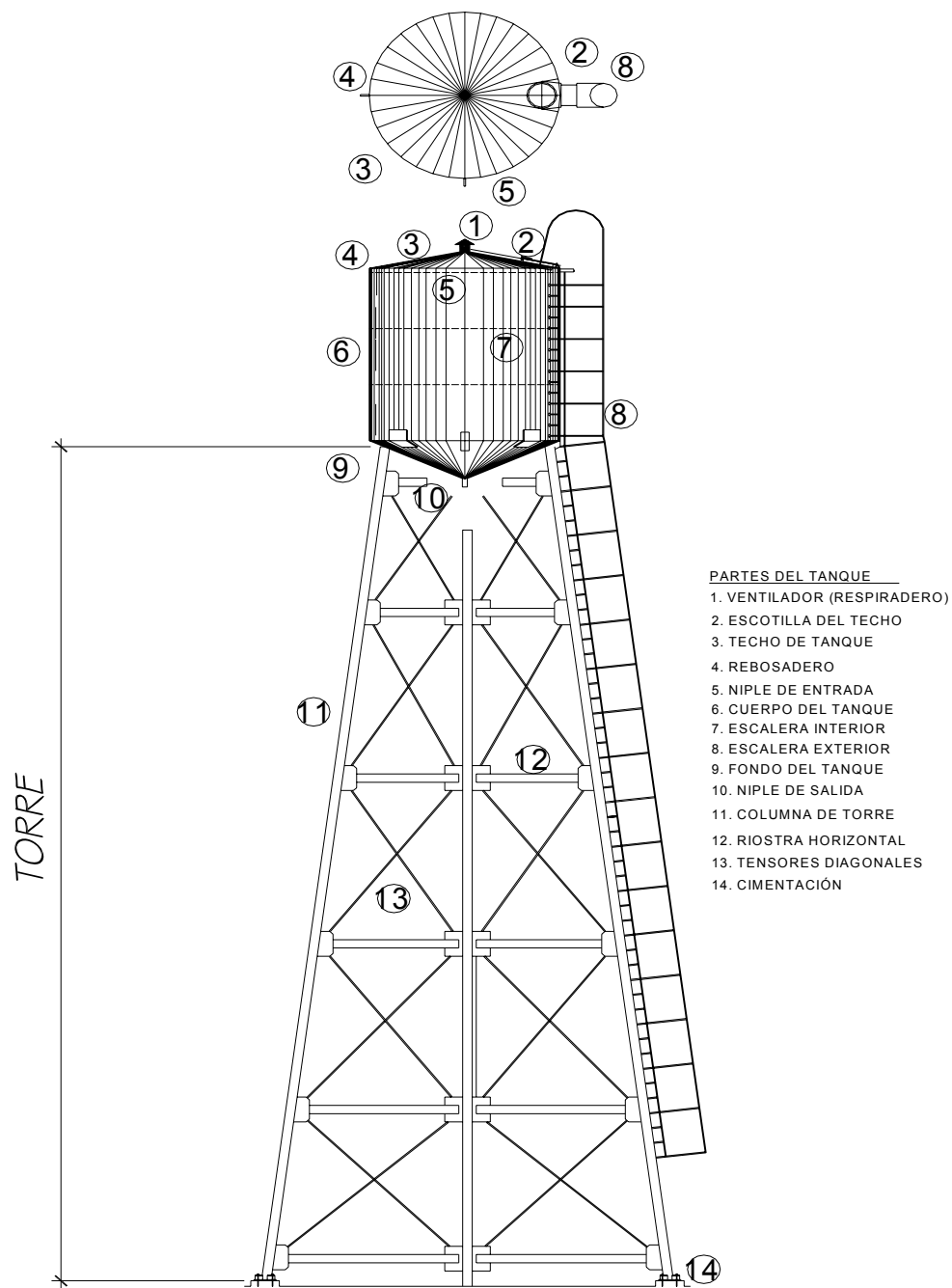
5.1.1 Tanques elevados. Son aquellos de una configuración geométrica cilíndrica, cuadrada o esférica, contruidos para el almacenamiento de líquidos tales como ácidos, álcalis, alcohol, combustibles líquidos, etc. Aquí se enfocará al almacenamiento de agua, en estos tanques con el tratamiento adecuado se puede mantener la potabilidad del agua. Existen dos tipos de tanques elevados: **1.** Tanques de fondo plano que descansan directamente en un entramado de acero, y **2.** Tanque de fondo suspendido que no descansan en ningún tipo de entramado (descansan en ménsulas de apoyo), pudiendo tener una configuración cónica o esférica, estos últimos son los mas comúnmente utilizados debido al ahorro del material, el costo es mas bajo para una capacidad dada y porque el fondo puede se objeto de inspección y mantenimiento en cualquier momento.

Por lo general estos tanque son cubiertos, para evitar las inclemencias del tiempo, la contaminación de materiales transportados por el aire, aves, u otras fuentes, de forma que evita el crecimiento de algas, y de otras plantas que puedan afectar el sabor o apariencia del agua. En la Figura 26 se representan las partes del conjunto de un tanque elevado y su torre.

Para los análisis del estudio tenemos: para el tanque

- Techo o cubierta
- Cuerpo o paredes
- Fondo del tanque (independiente de su configuración geométrica)

Figura 26. Partes del conjunto torre-tanque elevado ⁵⁶

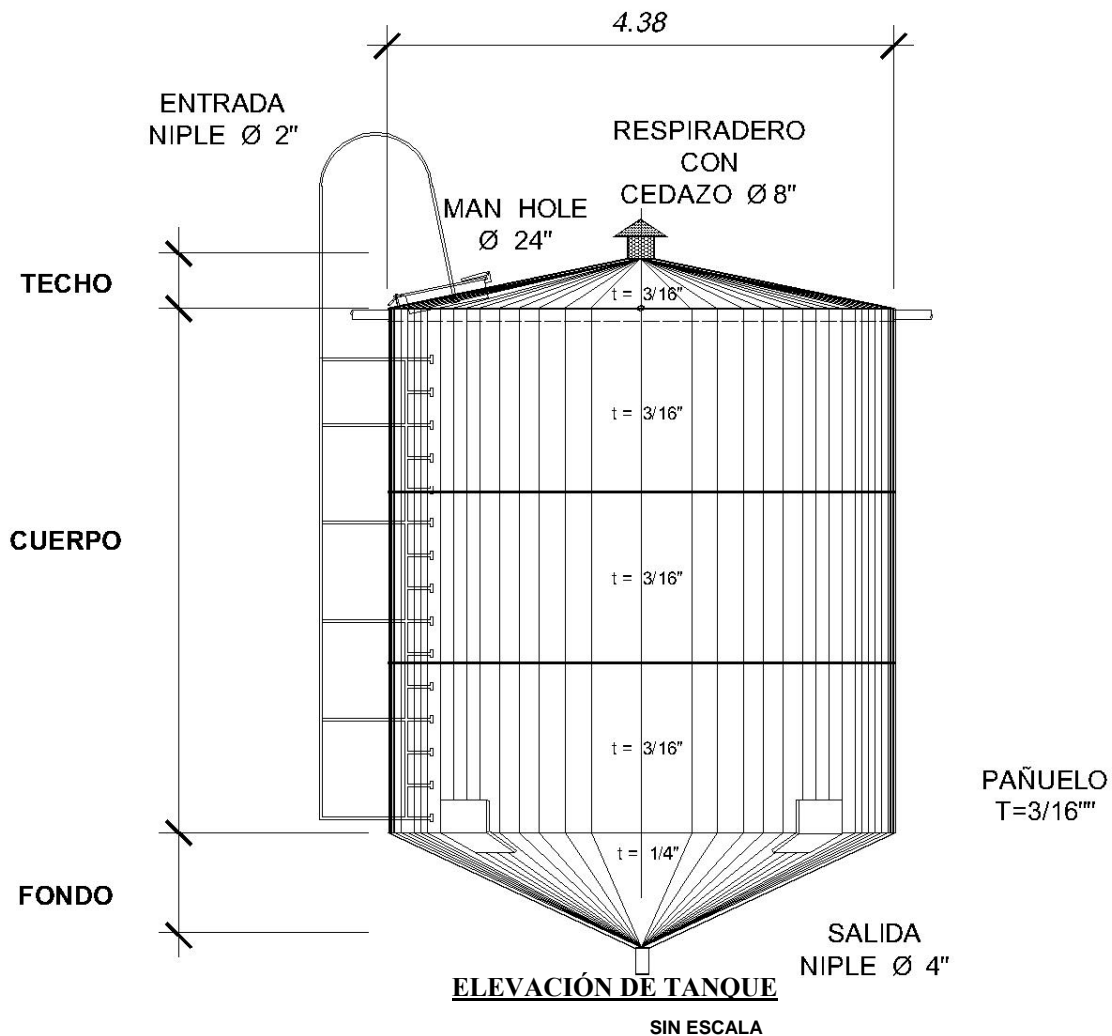


ELEVACIÓN DE TANQUE Y TORRE

⁵⁶ Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 tenemos una representación del tanque con sus partes que lo conforman, la lámina del tanque debe de cumplir con: lámina rolada en frío, norma ASTM serie A-6 específicamente la A-36, con espesores de 1/4" para el fondo y de 3/16 para el resto del cuerpo.

Figura 27. Elevación de tanque⁵⁷



El acero es uno de los metales más importantes y una de las materias primas industriales de más estima. El hierro es el principal ingrediente del acero pero de una forma pura (el hierro) no posee las características mecánicas, como dureza, ductilidad, resistencia a la tracción y compresión etc. Por eso se hace necesario efectuar una aleación

⁵⁷ Fuente: Elaboración propia

con otros elementos que cambian su naturaleza física, mejorando sus características mecánicas. El hierro combinado con el carbón que va de un 0.5% a un 3 por ciento componen una gama de aceros que son utilizados enormemente en la industria.

El acero estructural será al que nos referiremos en este estudio y que incluyen una variedad amplia de aceros estructurales, estos son los más frecuentemente usados debido a su economía, resistencia, ductilidad y otras propiedades mecánicas, lo cual lo hace adecuado para perfiles y láminas que se destinan para diversos usos como: puentes edificios, depósitos en aceros etc. Para las especificaciones en especial las láminas en acero nos referiremos a la norma particular de la ASTM A-36 donde sus siglas corresponden al idioma inglés (American Society Testig Materials) es decir la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales y la denotación A-36 significa que a sido probado en el laboratorio y su código es A-36 donde las características de este material encuentra en tablas para entender ciertos conceptos nos referiremos a la figura 28 (diagrama esfuerzo-deformación) en la que se basara la terminología técnica de este capítulo.

La lámina para fabricación de un tanque elevado es laminada en frío (trabajado a la temperatura ambiente) que es moldeable y soldable y existe en el mercado guatemalteco en una variedad de lámina negra, según el fabricante.

Figura 28. Diagrama esfuerzo-deformación⁵⁸

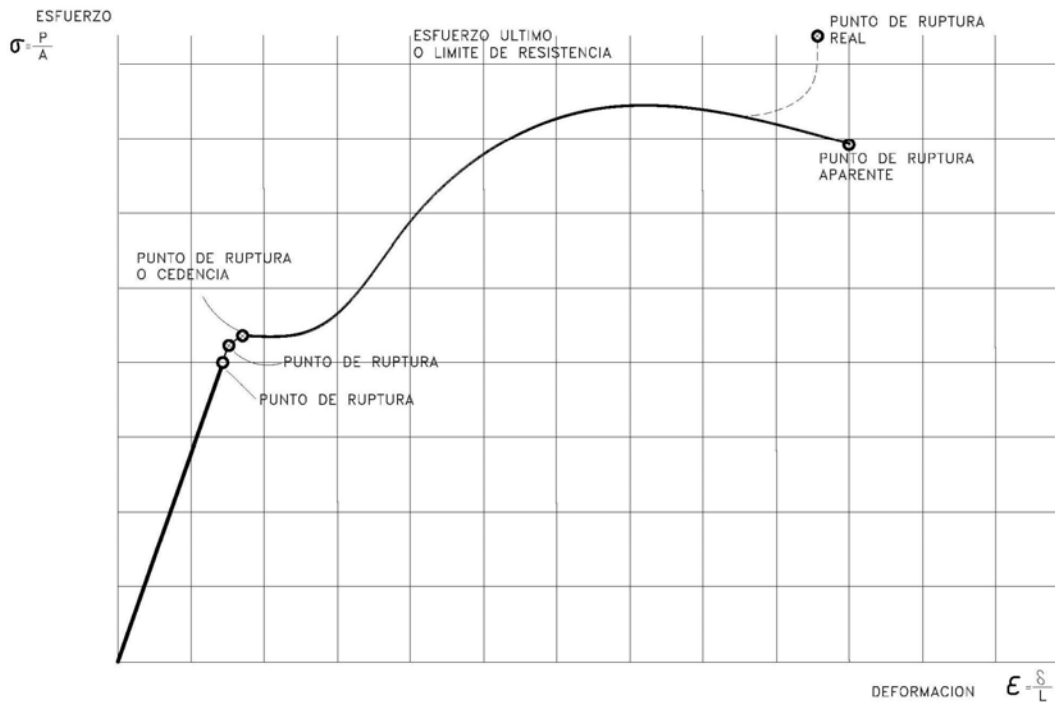


DIAGRAMA: esfuerzo –deformación

Es indispensable observar ciertos conceptos del diagrama esfuerzo-deformación

Analizando el diagrama

Deformación $\epsilon = \delta/L$

Donde:

ϵ = Deformación unitaria

δ = Alargamiento (deformación total)

L = Longitud en la que se produce la deformación

ϵ = Deformación unitaria en una cantidad adimensional; sin embargo cuando se habla

de deformación se emplean para $\epsilon = m/m$ y en la practica es común encontrar

Deformaciones del orden de $1.0 \times 10^{-3} m/m$

⁵⁸ Fuente: Ferdinal L. Singer/Andrew Pytel, Resistencia de Materiales, 3ª. Edición

Conceptos y definiciones del diagrama esfuerzo-deformación

Límite de proporcionalidad

El segmento rectilíneo que va desde el origen del sistema cartesiano es decir del punto “0”, hasta este límite donde termina la línea recta, y en todo este segmento el esfuerzo es proporcional a la deformación, es decir que para toda fuerza aplicada en una área determinada corresponde una deformación la cual no es en sí permanente.

Límite de elasticidad (o límite elástico)

Es el esfuerzo mas allá del cual el material no recupera totalmente su forma original al ser descargado; si no que; queda con una deformación residual llamada deformación permanente.

El punto de fluencia(o cedencia) llamado también límite de fluencia

Es el punto en que para un esfuerzo dado aparece un considerable alargamiento o fluencia del material, sin el correspondiente aumento de carga, que incluso, puede disminuir (la carga) mientras dure la fluencia.

El esfuerzo último o límite de resistencia

Es dato mas alto de la ordenada en “Y” $\sigma = P/A$ donde aparecen los síntomas de fractura.

El punto de ruptura o esfuerzo en el punto de ruptura

En los aceros al carbono (que son los materiales a usar en este estudio) es algo menor que el esfuerzo último, debido a que el esfuerzo en este punto de ruptura se mide dividiendo la carga entre el área inicial de la barra en estudio; sin embargo el área real es menor debido al fenómeno de estricción. Próximo a tener la ruptura; donde; el material se alarga y a la vez se estrecha.

Con esta terminología en mente podemos entender los análisis hechos en este estudio.

5.1.2 Torres o estructuras de tanque elevados. Los perfiles se fabrican en: **1.** Perfil conformado en frío, **2.** Perfil conformado en caliente. Para el caso del fabricado en frío son hechos a partir de láminas fundidas en caliente y pueden ser dobladas o secciones del elemento unidas con soldadura algunos perfiles usados frecuentemente en Guatemala son: angulares de alas iguales, angulares de alas desiguales perfiles “U”, perfiles “C” secciones “Z” y canales con pestañas.

Para los perfiles laminados en caliente son aquellos que ya viene procesados de las acerías en forma estándar y cuyas formas conocidas son perfiles “WF”, vigas “I”, vigas “H”, canales angulares, tee, tubería redonda y rectangular, hierro de sección llena redondo y cuadrado, plancha y platinas algunos de estos perfiles son utilizados en la construcción de las torres de los tanques elevados en la conformación de las columnas tensores y riostras (ver figura 26) existen diferente grados de dureza del acero, que de acuerdo con el tipo de construcción, el diseñador decide utilizar el más común es el ASTM A-36; sin embargo es frecuente que un diseño utilice aceros A-50, A-60, todos según las normas ASTM A-6. Las ménsulas, los tornillos para el acoplamiento, las columnas de la torre, las riostras horizontales, tensores diagonales serán materiales según normas ASTM A-36 los tornillos de acoples según fabricantes podremos usar con un mayor grado de resistencia al corte y son los llamados acerados, los cuales se fabrican en distintas dimensiones.

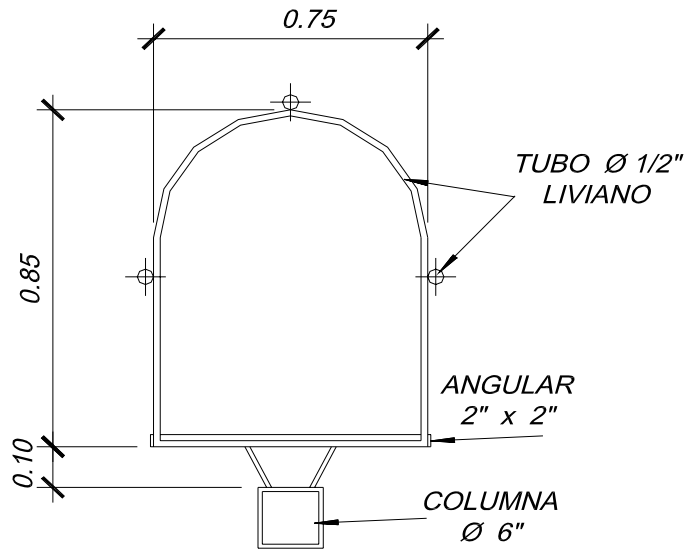
5.1.3 Pintura base anticorrosivo y acabado final. Se tomaran las pintura de base para elementos de mayor penetración en el interior del tanque y que sea adecuada al trato directo con el agua para que su elemento anticorrosivo actué dándole una vida considerablemente aceptable para su siguiente aplicación de la capa protectora, esta pintura debe de estar libre de plomo, por tratarse de un elemento altamente toxico residual. Para el exterior del tanque y toda la conformación de la estructura tendremos dos manos de anticorrosivo para intemperie y una mano aceptable de

pintura de acabado exterior, en el mercado guatemalteco podremos tener asesoría para este fin, de cualquiera de las casas comerciales de pintura.

5.1.4 Accesorios de conjunto tanque estructura podemos tomar como accesorios a los siguientes elementos: **1. Niple de rebalse o rebosadero.** Se fabricara en acero al carbono, y éste tubo suele denominarse comercialmente como tubería de proceso (sea de servicio pesado o liviano en este caso tendremos un niple de tubo proceso pesado por la exposición a la intemperie y el contacto con el agua), de 3 pulg de diámetro uno por cada extremo del diámetro, con una longitud de 12 pulg, roscados en las puntas exteriores para colocar un tapón roscado con una maya de 3/32 o de 1/16 pulg. ó mas fina para evitar que aves y otros insectos (bichos) entren al tanque y tengan contacto con el agua.

2. Los anillos de protección. Estos son los anillos que protegerán a la persona que suba por la escalera externa, ésta estará fabricada en la estructura y el tanque,(servirá para la inspección del tanque) estarán fabricados en tubo proceso liviano de $\frac{1}{2}$ o de $\frac{3}{4}$ de pulg según las consideraciones de costos del fabricante, la separación entre anillos será de de 0.9m a 1.25 máxima y su cuadratura será de 0.75x 0.85m ver detalle de los anillos de protección en la figura 29

Figura 29. Separación de anillos⁵⁹



SEPARACIÓN DE ANILLOS

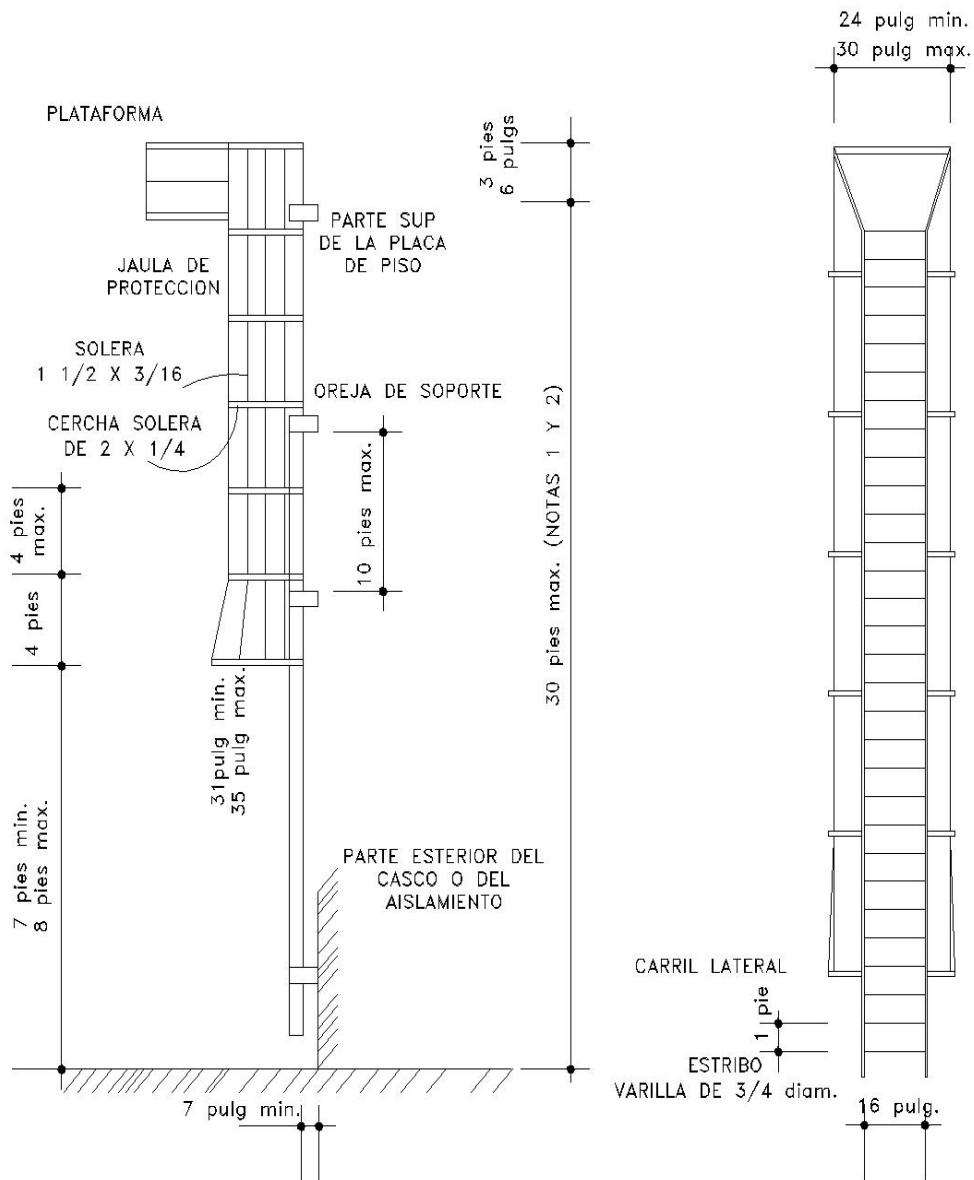
MÍNIMO = 0.90 M

MÁXIMO = 1.25 M

3. Escalera externa. Esta se construirá en la torre y el depósito. Éste accesorio se usará para subir a realizar la inspección del agua. Ésta se fabricara en un soporte del escalón (o huella) con estribos de varilla corrugada de $\frac{3}{4}$ pulg por un largo de huella que varia de 40 a 50 cm y su separación entre escalones será de 12 pulgadas sobre una longitud de anillo de protección de 80cm, ver detalle de escalera en figura 30

⁵⁹ Fuente: Elaboración propia

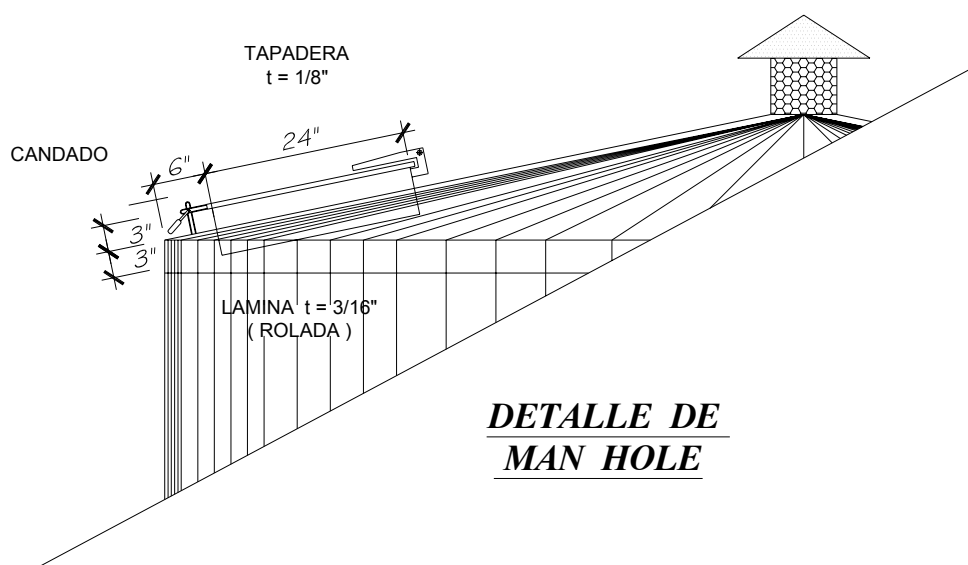
Figura 30. Escalera externa⁶⁰



⁶⁰ Fuente: Megyesy F. Eugene, Manual de recipientes sometidos a presión , diseño y calculo, Editorial Limusa, Noriega

4. **La escotilla del techo.** También llamado Man Hole se fabricara de lámina del espesor del techo con una abertura mínima de 24*40pulg, o, un agujero de un radio 30 pulg. y con una altura mínima de 4 pulg. llevará bisagras adecuadas para abrir la tapadera, la cubierta (tapadera) se traslapara con el agujero en un mínimo de 2 pulg. en todo su perímetro. La figura 31 ilustra esta escotilla

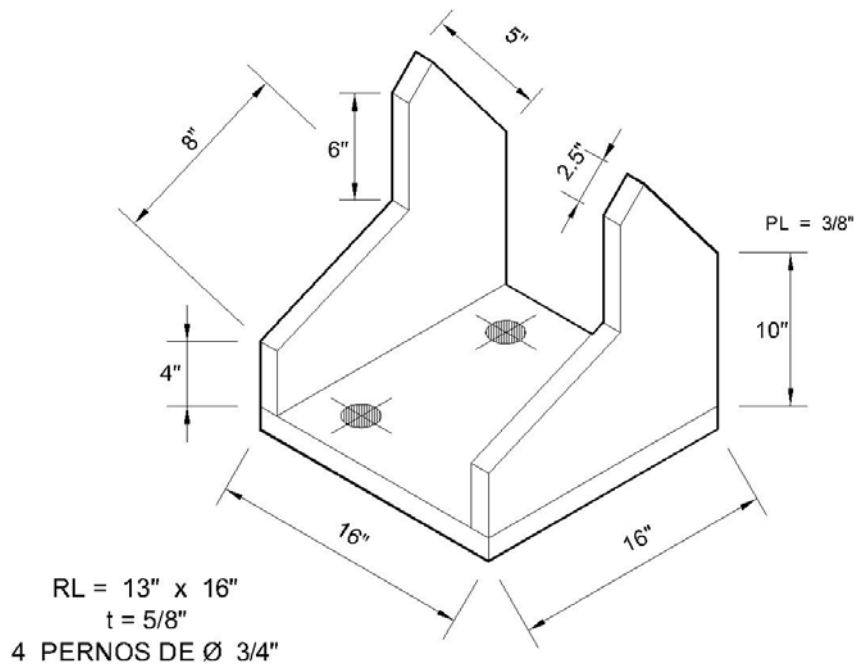
Figura 31. Escotilla del techo o man hole⁶¹



5. **Las ménsulas de apoyo.** Serán de un espesor mínimo en el apoyo de 5/8 pulg y en la aleta del peralte de 1/2 pulg con agujeros para los pernos de anclaje de 3/4pulg (ver detalle de la ménsula). La figura 32 muestra el detalle de una ménsula de apoyo.

⁶¹ Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Detalle de ménsula de apoyo⁶²



DETALLE DE MÉNSULA DE APOYO

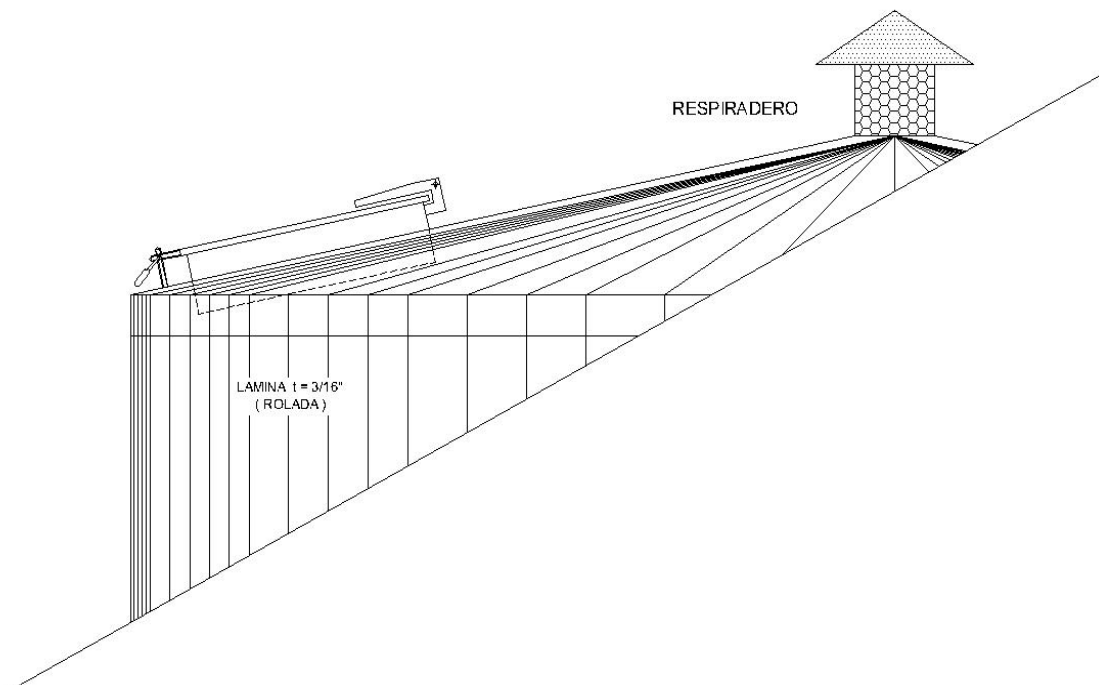
6. Escalera interna. En el interior del tanque tendremos una escalera interna tipo marinera, con peldaños de hierro corrugado de $\frac{3}{4}$ pulg. una separación de 12 pulg. por un ancho del peldaño de 40 cm.

7. Indicador de nivel de agua. Existen varias formas de dispositivos para este propósito, ninguno es infalible en todas las condiciones y en todo tiempo. Una flecha o placa que se desliza sobre una escala graduada y que se encuentra unida a un flotador en el extremo opuesto es la que más se utiliza para el indicador de nivel de agua, este tiene que ser visible a una distancia prudencial.

⁶² Fuente: Elaboración propia

8. Ventilador o respiradero. Normalmente se instalan en la parte superior del techo del tanque, su capacidad mínima será la capacidad máxima de bombeo del agua cuando el agua esta entrando o saliendo, la que sea mas conveniente, las más comunes son las de tipo chimenea y tipo bastón, para este caso en estudio será las de tipo chimenea, estas llevarán una maya de 3/32 o de 1/16 pulg. ó, mas fina para evitar que aves y otros insectos (otros bichos) entren al tanque y tengan contacto con el agua. La figura 33 ilustra el respiradero del tanque.

Figura 33. Detalle que muestra el respiradero del tanque⁶³



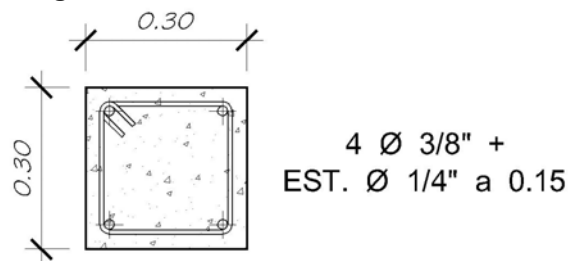
9. Niple de entrada y de salida. Para los niples de entrada se disponen de acuerdo a la capacidad de la bomba del pozo mecánico, normalmente están en diámetros que van de 2, 3 y 4 pulg. Este va siempre instalado en la parte superior por condiciones hidráulicas; para el niple de salida tenemos los diámetros mas usados que son de 3 y 4 pulg. Este es instalado en la parte inferior del tanque, se dispone de esta forma para ganar carga.

⁶³ Fuente: Elaboración propia

5.1.5 La cimentación del conjunto, soporte del peso del tanque-estructura

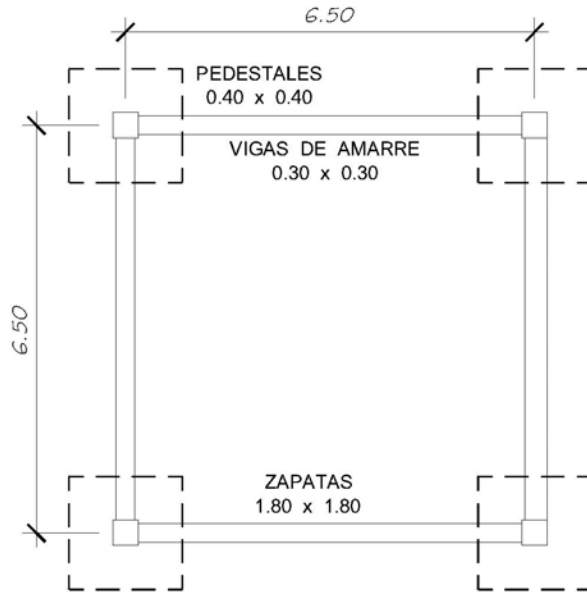
Lo primero que procede para el montaje cuando se contrata la fabricación, el servicio de la estructura y tanque elevado, es la cimentación, proceso que se inicia como mínimo 25 días antes del montaje, para lo cual procedemos a: **1.** Limpieza y nivelación del terreno, **2.** Trazo y zanjeo, **3.** Colocación de zapatas, pedestales y soleras de amare, estas van unidad entre si (las 4) para una mayor fijación; se tiene que tener el cuidado que las medidas y niveles coincidan con los que se dan en los planos, **4.** Fundición de zapatas, **5.** Formaletear las zapatas, **6.** La colocación de los pernos de anclajes fijándolos en la parte superior de las formaletas por medio de una plantilla para pernos (estas plantillas son temporales, solo es para que los pernos queden bien centrados y fundidos correctamente). **8.** Habiendo revisado, por ultimo, medidas y niveles, se procede a fundir todos los pedestales, y soleras de amarre, **9.** Las placas de apoyo o las platinas de apoyo, serán de un espesor mínimo de 3/4pulg. En la mayoría de ocasiones los pernos y las platinas se funden conjuntamente en la cimentación para luego soldar las columnas de la torre; en otros casos solo se funden los pernos de anclaje y las placas de apoyo van soldadas a las columnas. Para este caso en estudio, tenemos un tanque con una capacidad de 100 metros cúbicos tendremos que las platinas se fundirán conjuntamente con los pernos de anclaje. Un detalle de su cimentación de presenta de la figura 34 a la figura 37.

Figura 34. Detalle de la viga de Amarre de la cimentación⁶⁴



⁶⁴ Fuente; Elaboración propia

Figura 35. Planta de bases de la cimentación⁶⁵



MATERIALES DEL TANQUE:

ACERO: ASTM A-36
ELECTRODO: SERIE E-60

-RECUBRIMIENTOS:

-DOS CAPAS DE PINTURA ANTICORROSIVA COLOR ROJO DE LA CASA FULLER EN LA PARTE EXTERIOR Y UNA CAPA DE PINTURA GIL A COAT DE LA CASA FULLER EN LA PARTE INTERNA PARA POTABILIDAD DEL AGUA.

-ESCALERA INTERNA TIPO MARINERA .

MATERIALES DE BASE:

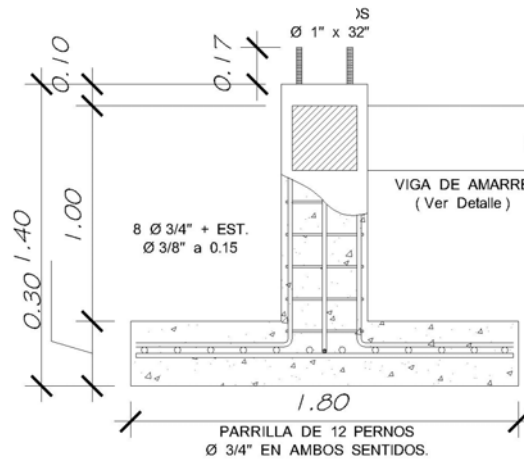
-CONCRETO: 3,000 lbs./pulg²
-ACERO DE REFUERZO: Varrilla Grado 40

-RECUBRIMIENTOS:

-ZAPATAS 0.08 M.
-PEDESTALES 0.02⁵ M.
-VIGAS DE AMARE 0.02⁵ M.

PLANTA DE BASES

Figura 36. Detalle de las bases de la cimentación⁶⁶

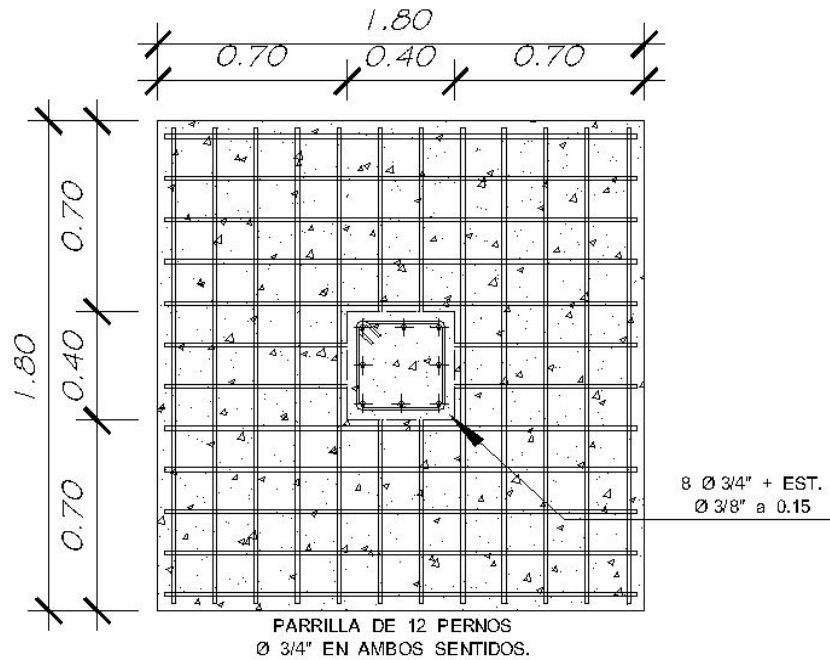


DETALLE DE BASES

⁶⁵ Fuente: Elaboración propia

⁶⁶ Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Planta de la zapata de la cimentación⁶⁷



PLANTA DE ZAPATA

5.1.6 Especificaciones de la estructura y tanque metálico

En esta sección daremos las especificaciones más importantes para que el fabricante construya el conjunto, tanque elevado y su estructura de soporte, para el caso que nos ocupa, serán los coordinadores de la oficinas municipales de planificación los que tendrán los acercamientos con las empresas que construyen estos tipos de elementos; sin embargo; aquí se presentarán las especificaciones más generalizadas que el lector podrá tomar en cuenta en las formalidades de un contrato con una empresa constructora de este tipo.

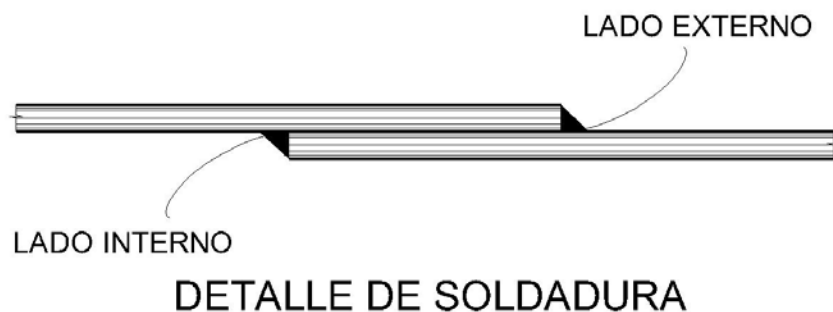
Los materiales serán los de uso común en el medio guatemalteco y que estos cumplan con los requisitos mínimos de propiedades mecánicas. Como la gama de materiales

⁶⁷ Fuente: Elaboración propia

usados para este proposito podemos citar respecto a: **1. Las normas.** Tenemos que la norma ASTM de la serie A-6 y específicamente de la A-36 para la conformación de los fondos, cuerpos y techos de los tanque, **2. Espesores de lámina para los fondos** de los tanques con capacidades que van desde 25 a 100 metros cúbicos tendremos un espesor mínimo de lámina de $\frac{1}{4}$ pulg y para el cuerpo y el techo un espesor de $\frac{3}{16}$ pulg estas láminas serán roladas en frío, **3. Soldaduras para las uniones de los anillos del tanque,** el tipo de unión de los anillos para conformar los tanques serán soldados en el perímetro circunferencial; es decir; la unión del fondo del tanque, con la unión de cuerpo cilíndrico, y la unión del techo serán soldados alrededor de la circunferencia y no a lo largo de cada figura geométrica.

Las soldaduras: 3a. Para el fondo del tanque y el cilindro la soldadura será de filete de configuración acanalada con un traslape de $\frac{3}{4}$ pulg. por tratarse de dos láminas de espesores distintos, (en la figura 38 se ilustra este detalle), y un espesor de soldadura de $\frac{3}{8}$ pulg. de lado interno del tanque y de $\frac{5}{16}$ pulg lado externo, **3b. Para los anillos que conforman el cuerpo** tendremos una soldadura de filete y traslapada con espesores de soldadura $\frac{5}{16}$ pulg. para ambos lados, **3c.** Para la unión del cuerpo con el techo tendremos una soldadura de filete y traslapada con espesores de soldadura $\frac{5}{16}$ pulg. para lado interno y de $\frac{1}{4}$ pulg. lado externo.

Figura 38. Detalle de soldadura⁶⁸

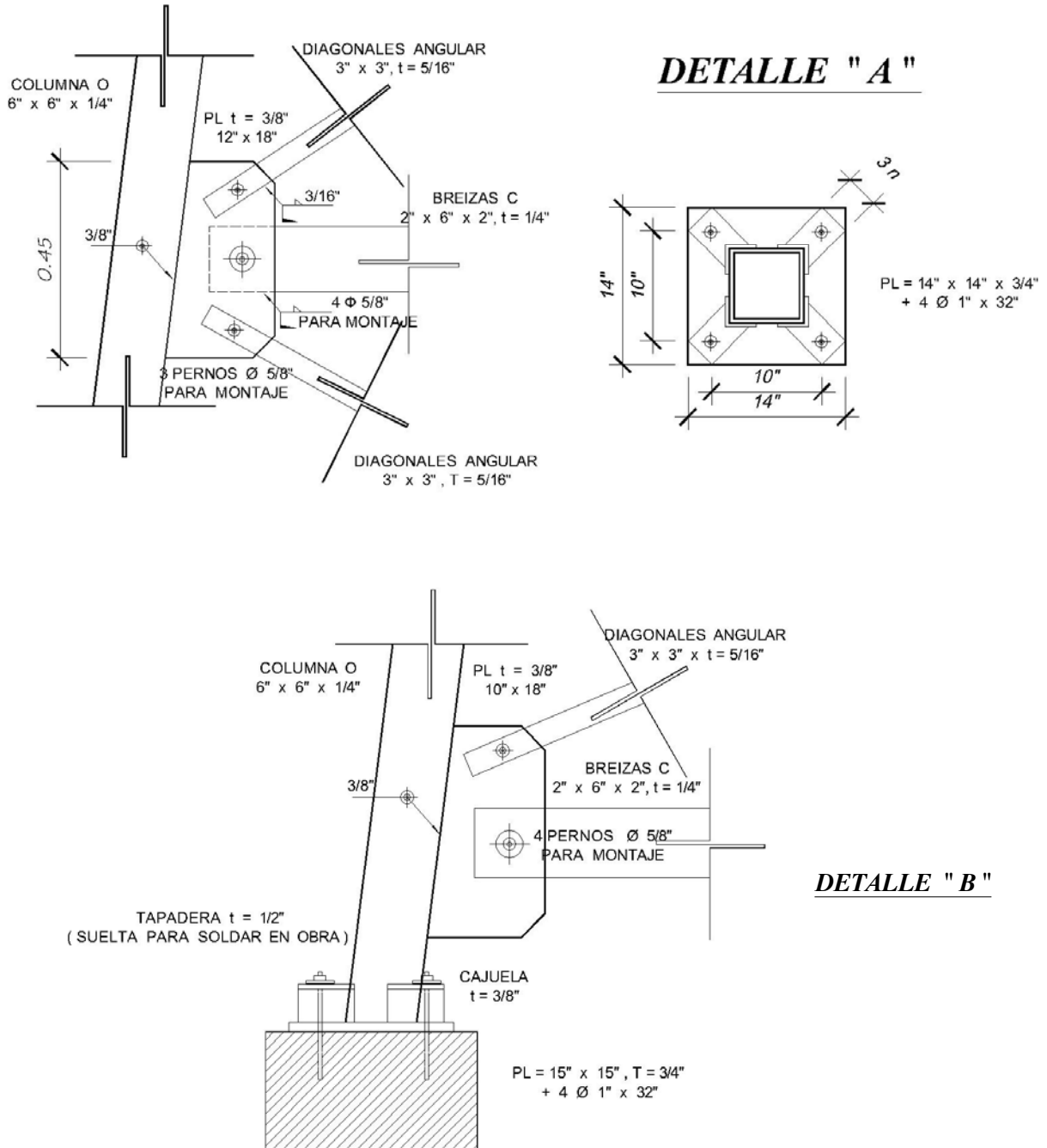


4. Para las uniones de la estructura se realizara con elementos pernaados (atornillados). La experiencia de los constructores de estos elementos indica

⁶⁸ Fuente: Manual de Soldadura SEA-SOA, INTECAP

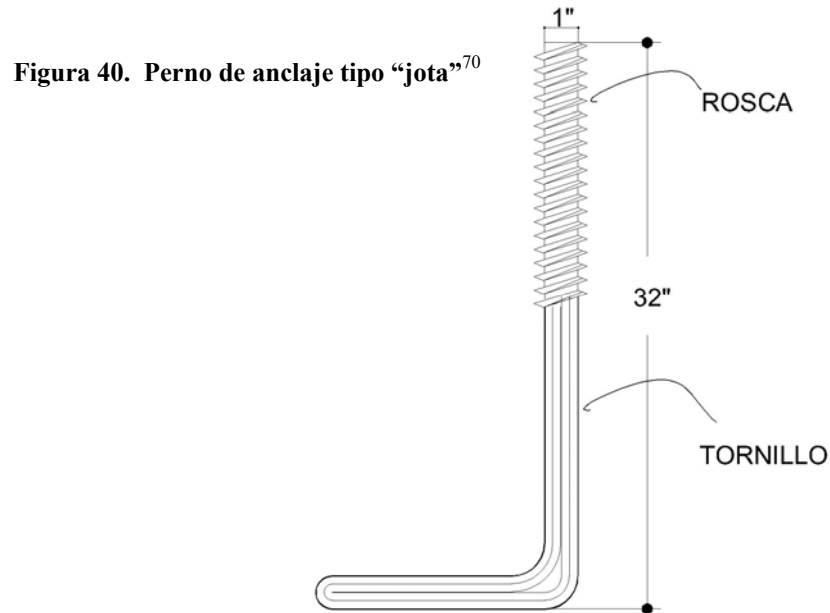
que se prefiere todo el equipo a elementos atornillados por conveniencia de transporte, economía en la construcción y montaje ver detalle de la torre en la sección "A" y el detalle "B" de las figuras 39

Figuras 39. Detalles "A" y "B" de armado de torre⁶⁹



⁶⁹ Fuente: Detalle "A" y "B" y sección diagonal, ilustración propia

5. Para la cimentación requeriremos que esta se haga 25 días (como mínimo) antes del montaje, para este caso tendremos una zapata de 1.80m por lado con una parrilla de 12 varillas de 3/4pulg en ambos sentidos un espesor de losa mínimo de 0.30 m con una columna de una altura mínima de 1.00m con pines de 3/4pulg y estribos de 3/8 pulg con una separación de 15 cm. Un concreto de resistencia a la compresión de $f_c = 281 \text{ Kg/ cm}^2$. Los pernos de anclaje serán cuatro pernos por columna de 1pulg de diámetro con resistencia a la fluencia de $f_{yp} = 2,480 \text{ Kg/ cm}^2$ por un largo de 32pulg, estos tienen una configuración de jota (J) en la parte inferior. La figura 40 muestra un perno de anclaje tipo jota.



6. En la estructura encontramos diversos elementos para su especificación

a. Las columnas estas deberán ser de sección cuadrada o de sección circular con un lado (o radio) mínimo de 6 pulg y de un espesor mínimo de 1/4pulg, de la norma ASTM A-36

b. Las riostras horizontales (o breisas) serán de un perfil "C" o costanera de una sección de (6*2*1/4)pulg u otra combinación de perfil con un espesor mínimo de 1/4pulg,

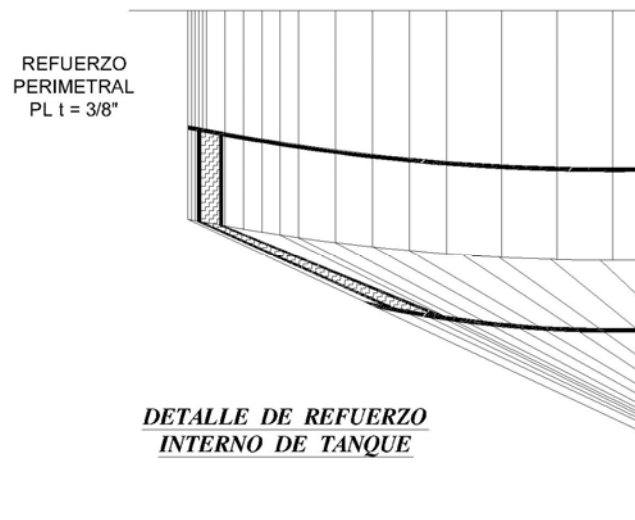
c. Los tensores diagonales podrán ser de angular de (3*3*1/4)pulg, u otra combinación de perfil con un espesor mínimo de 1/4pulg.

⁷⁰ Fuente; Elaboración propia

7. **platinas de montaje de riostras horizontales y tensores diagonales** estas platinas tendrán un espesor mínimos de 1/4pulg en una superficie que sea suficiente para que la riostra y el tensor trabajen juntos.

8. **Refuerzo interno** este refuerzo va soldado en todo el perímetro, y es el que va en la unión del cilindro y el cono inferior o el fondo del tanque, se requieren para este fin planchas de un espesor de 3/8pulg fabricadas al correspondiente ángulo que forma el cuerpo con el fondo del tanque, éste tendrá un largo de 2.5pulg que diste del centro de la unión por el ancho mas conveniente, que el fabricante pueda hacer, para que esta placa quede bien pegada, sin que queden holgura entre las paredes de la unión del cuerpo y el fondo, ver detalle de la figura 41

Figura 41. Detalle del refuerzo interno del tanque⁷¹

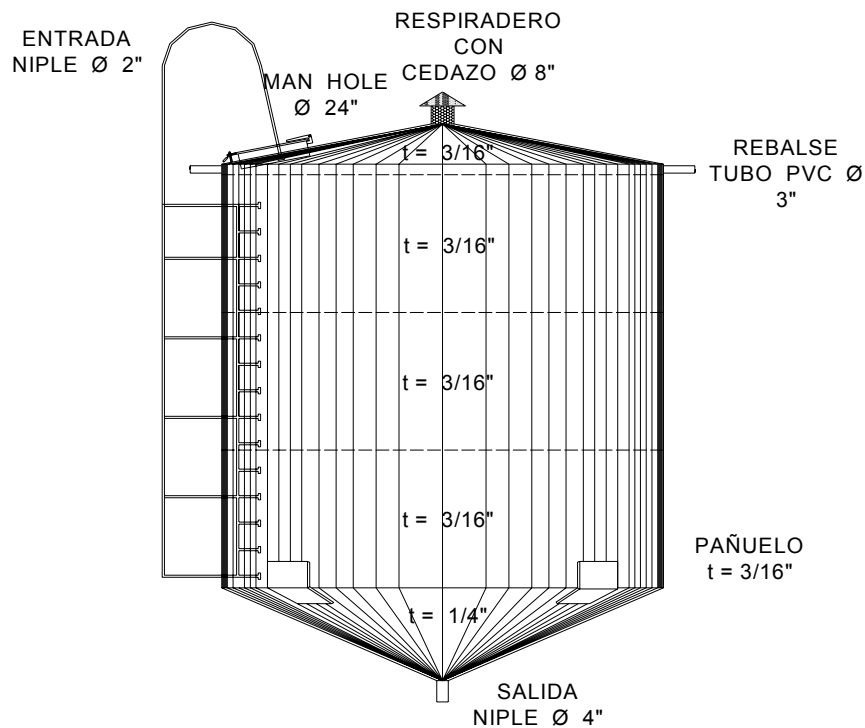


9. **Los pañuelos**, esta es una banda que va soldada al cuerpo del tanque, de una sección de 3/16pulg de espesor por un ancho de 4pulg y por el largo del cuerpo del tanque, se colocaran dos, uno por extremo opuesto al diámetro y en todo el largo del cilindro. En la

⁷¹ Fuente; Elaboración propia

figura 42 se muestra una ilustración de la colocación de estos pañuelos en el tanque (se detalla con franjas negritas en los lados izquierdo y derecho de la figura)

Figura 42. Elevación de tanque con la indicación de los pañuelos⁷²



ELEVACIÓN DE TANQUE

SIN ESCALA

5.1.7 Diseño sugerido del tanque y su estructura, según la necesidad de la población a servir

En toda construcción de ingeniería se debe definir el tamaño físico de las diferentes partes componentes de una estructura, de igual forma las partes de una estructura compuesta debe de ser lo suficientemente rígida para que no se flexione o se comben bajo la acción de las cargas a que esta sometidos. En el caso que nos ocupa (cilindro metálico para agua y su estructura) debemos definir:

⁷² Fuente; Elaboración propia

a. La necesidad de agua de la población y su condición futura

En el análisis de agua de un proyecto real, obtendremos el volumen de agua que necesitamos. Por ejemplo tenemos una comunidad con el proyecto de abastecimiento de agua, presente y futuro. Donde tenemos una proyección a futuro de los habitantes de esa comunidad dada por la fórmula,

$$P_n = P_o * (1 + TC/100)^n \text{ }^{73}$$

Donde:

P_n = población futura a n años; n = número de años

P_o = población inicial TC = tasa de crecimiento, dada en %

Con los datos siguientes: tenemos que para una comunidad pequeña de crecimiento moderado, tenemos

$P_o = 1,000$ habitantes, $n = 20$ años TC = 3.42 % se tiene:

$$P_n = P_o * (1 + TC/100)^n$$

$$P_{20} = 1,000 * (1 + 3.42/100)^{20} \quad \rightarrow P_{20} = 1,959 \text{ habitantes}$$

Dote = área urbana = 120lt/día-hombre; Dote = área rural = 80lt/día-hombre

Tomaremos un promedio de las dotes; Dote_{promedio} = 100 lt/día-hombre

Donde: la condición de consumo en m^3 para el año inicial y al cabo de 20 años será de:

$$V_o = (1,000 \text{ habitantes}) * [(100 \text{lt/día-hombre})] * (365 \text{ días/año}) * (m^3/1000 \text{lt})$$

$$V_o = 36,500 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$V_{20} = (1,959 \text{ habitantes}) * [(100 \text{lt/día-hombre})] * (365 \text{ días/año}) * (m^3/1000 \text{lt})$$

$$V_{20} = 71,175 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$V_o = (1,000 \text{ habitantes}) * [(100 \text{lt/día-hombre})] * (m^3/1000 \text{lt}) = 100 \text{ m}^3 / \text{diarios}$$

⁷³ Fuente: Manual de Formulación y Evaluación de Proyectos; Secretaria de planificación y Programación - SEGELAN-

$$V_{20} = (1,959 \text{ habitantes}) * [(100 \text{lt/día-hombre})] * (\text{m}^3/1000 \text{lt}) = 195.9 \text{ m}^3 / \text{diarios}$$

Bien: un tanque metálico que estará montado en una estructura se dimensionará para un promedio de 50 % de su consumo diario de población inicial y población a 20 años plazo es decir $[(50/100) * (100 + 195.6/2)] = 73.9 \text{ m}^3 / \text{diarios}$; entonces:

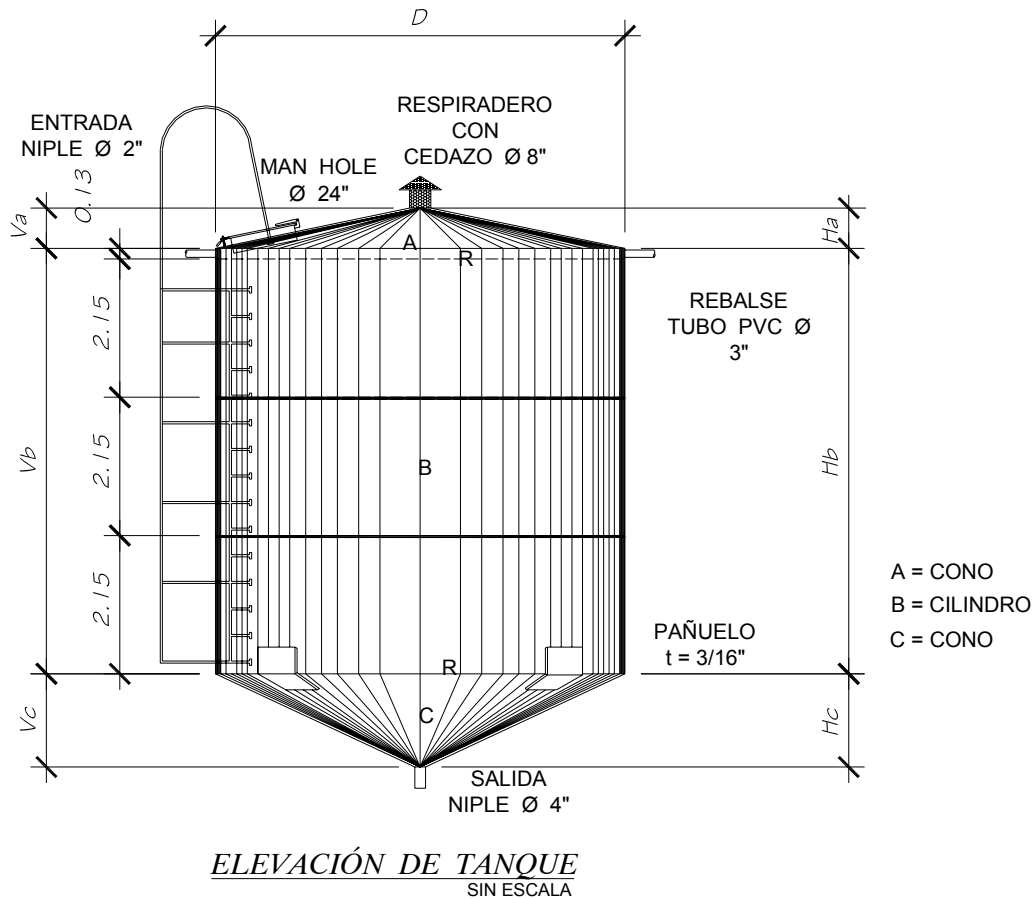
$$V_{20} \equiv 100 \text{ m}^3 \quad \equiv \text{ es un símbolo de equivalencia (equivalente a)}$$

Se concluye que la población de esta comunidad podría requerir un tanque elevado de 74 m^3 ; sin embargo; se trabajará para un tanque de 100 m^3 ; que es un parámetro suficiente para satisfacer la condición de consumo (con dos llenadas del tanque) del año de inicio del proyecto; así como; su condición futura a 20 años plazo.

b. Una vez obtenido el volumen de agua para el abastecimiento diario de la población a servir procedemos a diseñar el conjunto estructura- tanque metálico y sus componentes de soporte, para este caso que es el objeto de estudio y que el lector pueda seguir los pasos y las consideraciones necesarias para tenerlo como un marco de referencia. Normalmente a la empresa que se contrata para la perforación del pozo tiene injerencia en la construcción del conjunto estructura-tanque metálico, de otra forma se contrata a una compañía que tenga credibilidad y experiencia en ingeniería de construcción de estructuras en acero. Por de pronto nos ocuparemos de un tanque metálico que sea capaz de soportar la presión interna ejercida por el agua, y que a la vez no sea sobre diseñado (obviamente, su costo será altísimo) o en el peor de los casos, que sea sub-diseñado y que tenga lugar a fugas de agua, o que eventualmente estalle, por los efectos de la presión interna que ejerce el agua.

c. Sabemos que tenemos una población inicial de 1,000 habitantes; con una proyección a 20 años que nos da un total de 1,959 habitantes; y sabemos que para satisfacer esta necesidad proyectaremos el diseño de un tanque de 100 m^3 para esto nos referimos a la figura 43

Figura 43. Elevación de tanque con acotamientos de las figuras geométricas⁷⁴



5.1.7.1 Diseño sugerido del tanque de acuerdo a su requerimiento

Ahora que tenemos el dato del agua que la gente necesita procedemos a dimensionar (diseño del tanque) la configuración geométrica del tanque y a calcular los volúmenes de cada sección.

Tenemos que:

$$V_t = \text{volumen total}; V_t = V_a + V_b + V_c$$

de la figura concluimos que el radio R es común para las tres configuraciones geométricas

⁷⁴ Fuente; Elaboración propia

V_a = volumen del cono recto superior; $\rightarrow V_a = 1/3 \pi R^2 H_a$

V_b = volumen del cilindro recto; $\rightarrow V_b = \pi R^2 H_b$

V_c = volumen del cono recto inferior; $\rightarrow V_c = 1/3 \pi R^2 H_c$

$V_t = V_a + V_b + V_c$;

Donde el volumen V_a es el volumen del cono recto superior, el cual no contendrá agua, ya que básicamente es un espacio para el techo, y es donde se dispondrá para la escotilla de visita; además; el tubo del rebosadero estará al menos 25 centímetros por debajo de la altura total del cono recto circular es decir del V_b y donde el sistema de paro de la bomba de llenado lo hará desactivar por acción de su mecanismo, de tal forma que el volumen total V_t estará sujeto a los volúmenes de V_b , y V_c entonces se concluye que:

$V_t = V_b + V_c \rightarrow V_t = \pi R^2 H_b + 1/3 \pi R^2 H_c$ donde:

$$V_t = \pi R^2 (H_b + 1/3 H_c)$$

En este caso no se conoce ni el radio R, ni la altura H del conjunto que contendrá el agua se asumen varios valores para H_b , y H_c y de ésta; despejamos R de la ecuación

$$V_t = \pi R^2 (H_b + 1/3 H_c);$$

Sin embargo; los valores que se asuman para estas dos alturas (H_b , y H_c) estarán de acuerdo a los cortes reales (de cuadratura) de los pliegues de láminas al carbono que maneja la industria del acero en el mercado guatemalteco. Tomando en cuenta estas consideraciones se tiene que:

$H_b = 6.45$ m ó una altura de 21 pies

(6.45 m, ancho del pliego) como el lector comprenderá no existe en el mercado una máquina que haga un corte en el ancho de una lámina de semejante tamaño (donde las siderúrgicas producen láminas de 8 pies -2.44m- de ancho máximo por un largo máximo de $10\pi = 31$ pies = 9.448m). Dividiremos este ancho (o, la altura al ver parada la lámina, o a lo largo si se prefiere) en tres segmentos de 7 pies cada una (2.15 metros c/una). Luego para la altura(o, ancho) de la lámina del cono inferior se tiene.

$H_c = 3\text{pies} = (0.9144\text{m} \approx 0.90\text{m})$, sustituyendo estos valores en:

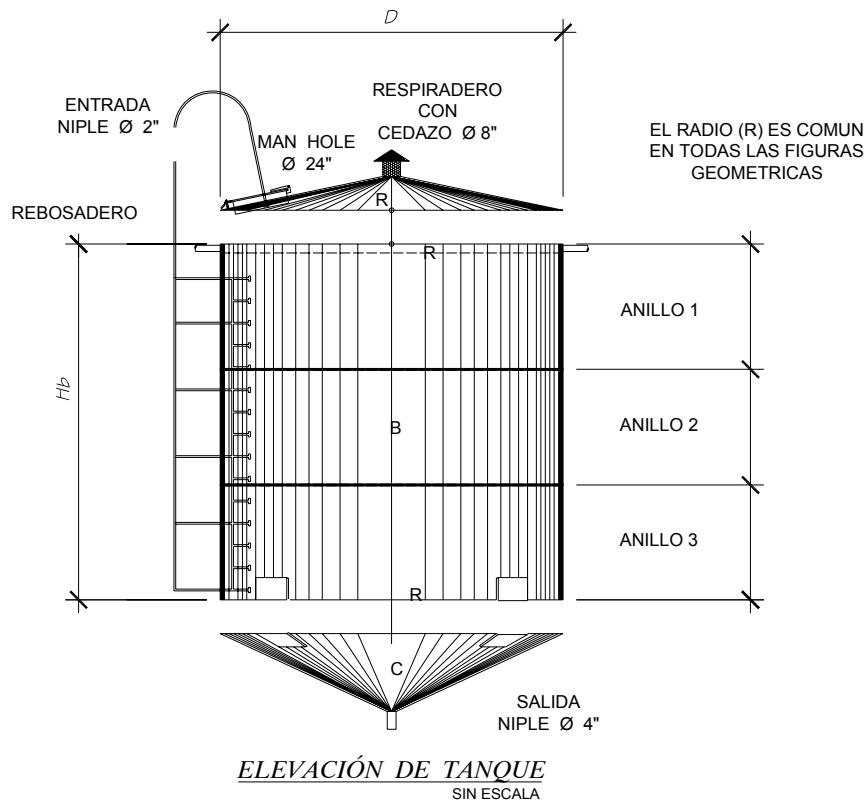
$$V_t = \pi R^2 \left(H_b + \frac{1}{3} H_c \right) \rightarrow 100 = \pi R^2 \left[(6.45) + \frac{1}{3}(0.90) \right] \text{despejando } R \text{ tenemos}$$

$$R^2 = (100) / (\pi) * (6.75) \rightarrow R = \sqrt{4.7157} \rightarrow R = 2.17 \text{ mts}$$

. \rightarrow el diámetro D es $2R \rightarrow D = 4.34\text{m}$.

La figura 44 muestra todos los sectores de lámina que conforman el: cilindro (tres anillos), y el cono inferior, y el cono superior.

Figura 44. Elevación del tanque con descripción de los anillos⁷⁵



Entonces el área de cada uno de los sectores que conforman el cilindro recto es:

$A = \pi RH = 2 * \pi (2.17m)(2.15m)$; $A = 29.311420m^2$ con esto podemos relacionar el largo de la lamina sabiendo que:

Área del un pliego de lamina = $A_{pliego} \rightarrow A_{pliego} = (a) \times (b)$

$A_{pliego} = (a) \times (b) \rightarrow 29.311420 m^2 = 2.15m * b \rightarrow b = 13.6332 mts$

Este largo corresponde a un corte de de sizalla de 45 pies con lo cual tendremos un nuevo dato (real) para "b" que es de:

$b_{real} = 13.77m$

⁷⁵ Fuente; Elaboración propia

Para este largo serán para cada anillo del cilindro (lleva tres anillos) dos pliegues de 2.15m por 6.8166m. Entonces nuestra área real será de:

$$\text{Área}_{\text{real}} = A = (a) \times (b) = 2.15\text{m} \times 13.77\text{m} \rightarrow A = 29.6055\text{m}^2,$$

Como la superficie de este sector (uno de los tres sectores) del cilindro es;

$$S = A; \rightarrow 29.6055\text{m}^2 = \pi R H = \pi R (2.15\text{m})$$

Despejando R que es el radio real y este es común para todo el conjunto se tiene:

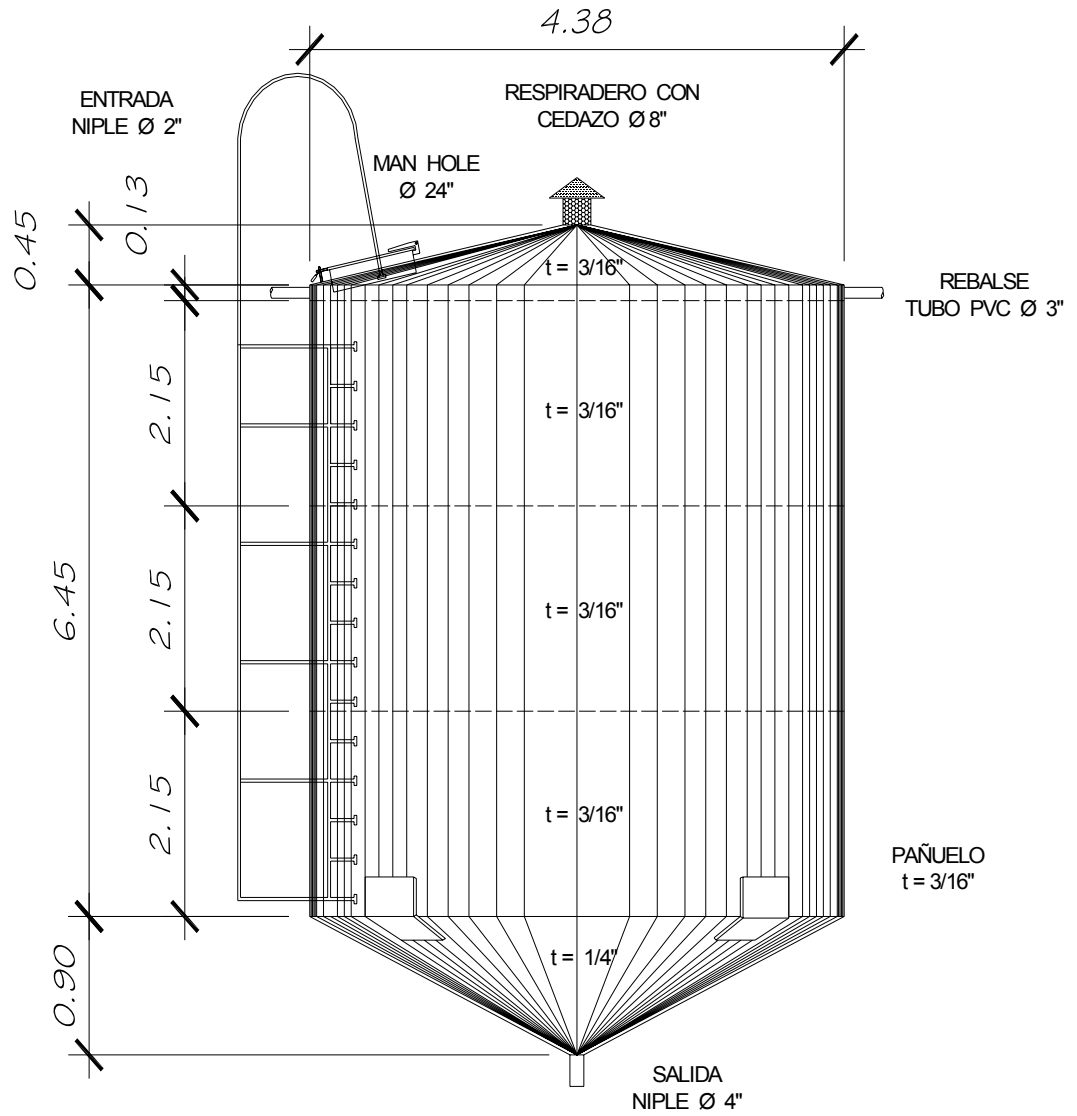
$$\text{Radio}_{\text{real}} = (29.6055\text{m}^2) / \pi * (2.15\text{m})$$

$$\text{Radio}_{\text{real}} = 2.1915\text{m}, \quad D = 4.38\text{m}$$

$\rightarrow D = 4.38\text{m}$, que es el diámetro común de las tres configuraciones geométricas a saber; cono recto superior, cilindro recto y el cono recto inferior.

Para las dimensiones del cono recto superior, tomaremos una altura, que nos permita efectuar una inspección por su escotilla (man hole), y que el mecanismo que el sistema de paro de la bomba no tope con la carcasa, para estos efectos una altura de 1.5 pies (0.45m) será suficiente. Entonces el tanque tendrá las dimensiones siguientes, que muestra la figura 45; así como; la dimensiones de la torre que se presento en la figura 26.

Figura 45. Elevación del tanque con acotamientos⁷⁶

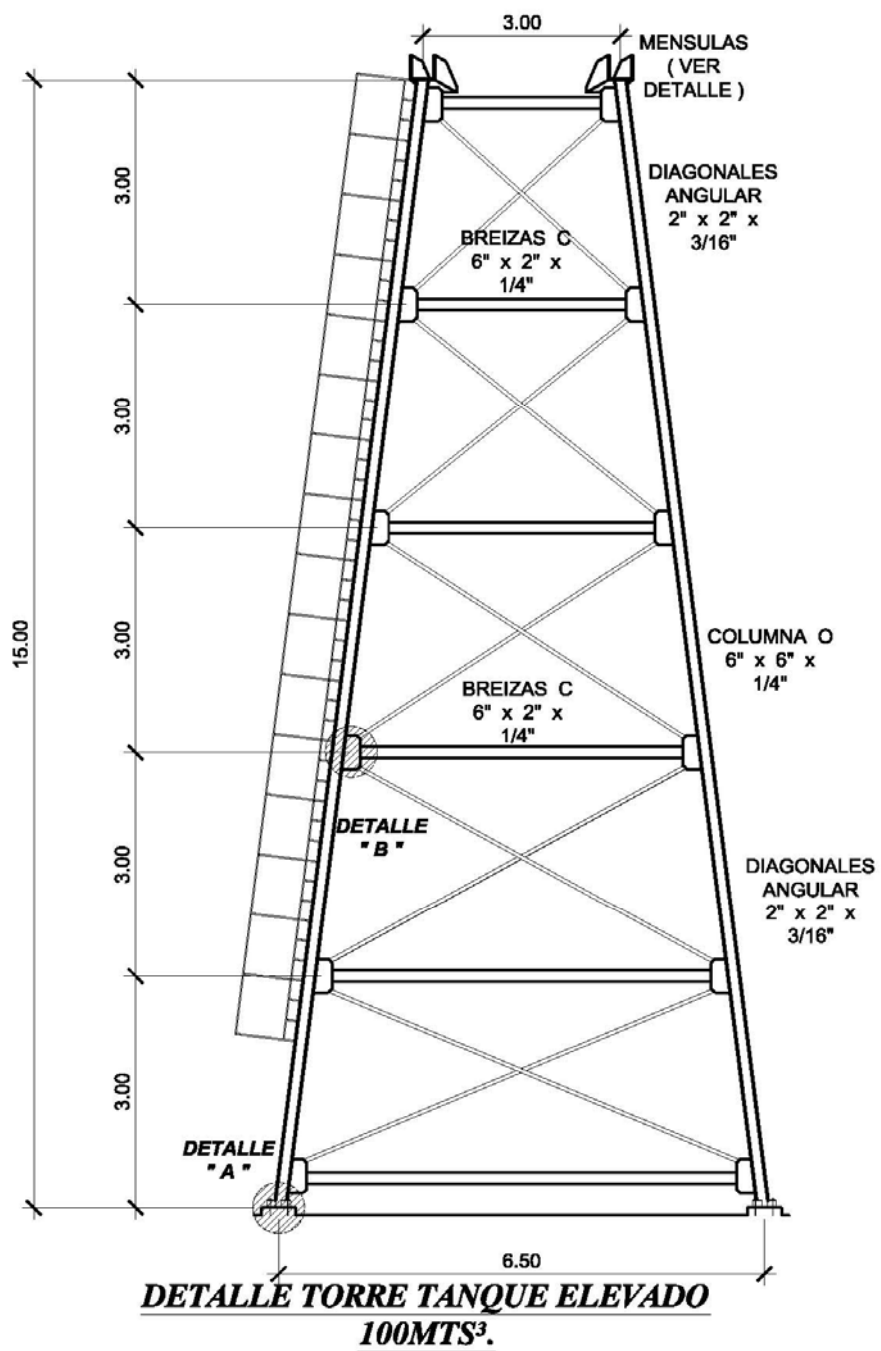


ELEVACIÓN CILINDRO DE TANQUE

SIN ESCALA

⁷⁶ Fuente; Elaboración propia

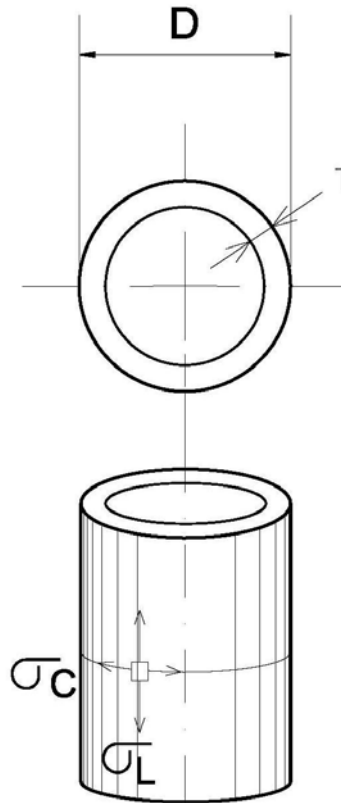
Figura 46. Torre acotada⁷⁷



⁷⁷ Fuente; Elaboración propia

De la resistencia de los materiales, particularmente de la estática de los cilindros de pared delgada se tiene que: (ver figura 47)

Figura 47. Esfuerzos en cilindros de pared delgada⁷⁸



σ_c = esfuerzo circunferencial $\rightarrow \sigma_c = PD/2t$

σ_L = esfuerzo longitudinal $\rightarrow \sigma_L = PD/4t$; donde

P = presión interna del fluido (en este caso agua) en Kg/ m³

D = diámetro de tanque en (m)

t = espesor de la lámina en cm. (o, pulgadas)

De las fórmulas anteriores tenemos que el esfuerzo circunferencial σ_c tiene un valor del doble que el esfuerzo longitudinal σ_L ; de forma que: sí la presión de un tanque de pared

⁷⁸ Fuente: Megyesy F. Eugene, Manual de recipientes a presión , diseño y calculo, Editorial Limusa/ Noriega

delgada se eleva hasta alcanzar el punto de ruptura, la falla del material tendrá lugar a lo largo de una sección longitudinal, por lo tanto: debemos diseñar el depósito para resistir la deformación ó en el peor de los caso una ruptura, de acuerdo al esfuerzo circunferencial σ_c , donde este esfuerzo debe de ser el esfuerzo que tiene el material en el punto de fluencia ó mejor dicho el límite de fluencia σ_{yp} donde el valor de este límite esta dado en tablas normalizadas, para este caso usaremos la norma ASTM A-36.

σ_{yp} mínimo es: $\sigma_{yp} = 36,000 \text{ lb/pulg}^2$ o $\sigma_{yp} = 248 \text{ MP}_a$, donde:

$\text{MP}_a = 1 \times 10^6 \text{ Pa}$; las unidades del pascal son: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$,

Donde: la letra “N” denota la unidad de fuerza en el SI (Sistema Internacional) llamada Newton tenemos que:

$1 \text{ MP}_a = 10 \text{ Kg / cm}^2$, también $1 \text{ Kg} = 10 \text{ N}$

Con esto en mente y efectuando la conversiones pertinentes se tiene que un acero ASTM A36 tiene un límite de fluencia de

$$\sigma_{yp} = (248 \text{ MP}_a) * (10 \text{ Kg / cm}^2) / (1 \text{ MP}_a) \rightarrow \sigma_{yp} = 2,480 \text{ Kg / cm}^2$$

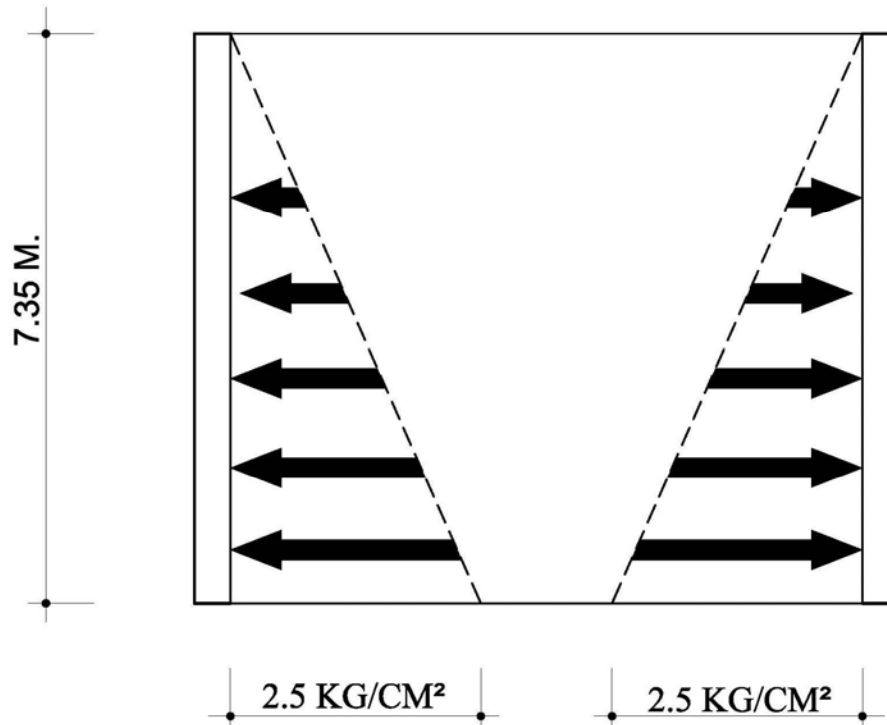
donde tomamos el valor de:

$$\sigma_{yp} = 2,500 \text{ Kg / cm}^2 \quad \text{por seguridad}$$

Diseño del fondo del tanque

La figura 48 muestra los triángulos de fuerzas de un fluido (agua) en un depósito cilíndrico.

Figura 48. Triángulos de fuerzas de un fluido en un depósito cilíndrico⁷⁹



La presión que ejerce el agua en el fondo del tanque es:

$$P = \omega * H_t ; \text{ y } H_t = H_b + H_c \text{ donde}$$

$$H_t = 6.45\text{m} + 0.90\text{m} \rightarrow H_t = 7.35\text{m}$$

P = presión que ejerce el agua en el fondo del tanque

ω = peso del líquido por unidad de volumen $\rightarrow \omega = 1,000 \text{ Kg/m}^3$ de la formula

$$P = 1,000 \text{ Kg/m}^3 * 7.35\text{m} \rightarrow P = 7,350 \text{ Kg /m}^2; \rightarrow P = 0.735 \text{ Kg / cm}^2$$

Para el esfuerzo circunferencial σ_c tenemos

$$\sigma_c = PD/2t$$

También reconocemos que este esfuerzo σ_c debe de estar en equilibrio con el esfuerzo del

límite de fluencia σ_{yp} de la lámina en estudio con un factor de seguridad $f_s = 1.8$

Entonces; se debe de cumplir la igualdad:

⁷⁹ Fuente: William A Nash, Resistencia de Materiales, Editorial Mc Graw-Hill Serie de compendios Schaum

$$\sigma_{yp}/1.8 = PD/2t;$$

Se tienen datos siguientes a saber:

$$P = 0.735 \text{ Kg / cm}^2, \quad D = 438 \text{ cm}, \quad \sigma_{yp} = (2,500 \text{ Kg / cm}^2)/(1.8)$$

Sustituyendo estos datos en la igualdad

$$\sigma_{yp}/1.8 = PD/2t \text{ se tiene:}$$

$$(2,500 \text{ Kg / cm}^2) / (1.8) = (0.735 \text{ Kg / cm}^2)(438 \text{ cm}) / (2t)(0.85)$$

Despejando "t" de esta igualdad tenemos:

$$t = (0.735 \text{ Kg / cm}^2)(438 \text{ cm}) (1.8) / (2) * (2,500 \text{ Kg / cm}^2) * (0.85) \rightarrow t = 0.13634 \text{ cm}$$

$t = 0.13634 \text{ cm}$ y convirtiendo ($t =$ espesor de la lámina) t en pulgadas se tiene

$$t = (0.13634 \text{ cm}) (\text{pulg}/2.54 \text{ cm}) \rightarrow t = 0.053679 \text{ pulg}$$

Este espesor de lámina $t = 0.053679 \text{ pulg}$ es el equivalente a una lámina de $7/128 \text{ pulg.}$ a esta "t" se le suma un espesor de lámina de $1/8 \text{ pulg}$ por ser el diámetro menor de 18 pies o de 5.4864 m (y nuestro diámetro es de 4.38 m) con esto tenemos, que:

$t = (7/128) \text{ pulg} + (1/8) \text{ pulg.} \rightarrow t = (23/1284) \text{ pulg}$ teniendo "t" en decimales de pulgada se tiene $t = 0.179687 \text{ pulg}$ donde acá ya se ha tomado en cuenta el coeficiente de eficiencia de la soldadura, que generalmente es de 0.85 (soldadura a tope de llenado completo) $\rightarrow t = 0.179687 \text{ pulg}$; por conveniencia en la seguridad del depósito escogemos la lámina comercial, donde $t = 1/4 \text{ pulg} = 0.25 \text{ pulg}$. Donde el lector podrá notar que se tiene un espesor de $5/64 \text{ pulg}$ arriba del espesor encontrado.

Es de tomar en cuenta que estos cálculos están basados con aproximadamente cuatro factores de seguridad a saber **1.** $f_s = 1.8$ con respecto al límite de fluencia σ_{yp} **2.** Se sumo un espesor de $1/8 \text{ pulg}$ con respecto a la corrosión por contacto del agua y por ser un diámetro menor de 18 pies **3.** Un coeficiente de eficiencia (0.85) por ser elemento soldado

a tope sección llena, y además se tomo para el límite de fluencia del material acero ASTM A-36 $\sigma_{yp}=2,480\text{Kg/cm}^2$ un aproximado superior de $\sigma_{yp}=2,500\text{ Kg /cm}^2$

Diseño del cuerpo del tanque

Para este diseño tendremos una analogía con el procedimiento realizado para el fondo del tanque, ó cono recto inferior (con los correspondientes factores de seguridad)

Datos

σ_{yp} = esfuerzo en el límite de fluencia del material

$\sigma_{yp}= 2,500\text{ Kg/cm}^2$ (de acuerdo al valor ASTM A-36)

f_s = factor de seguridad, $f_s = 1.80$

$\omega = 1,000\text{ Kg/m}^3$ densidad del agua

$H = 645\text{ cm}$; altura del cilindro;

t = espesor de la lámina

$D = 438\text{cm}$ diámetro del cilindro recto

P = presión interna del agua,

$P = \omega * H$

f_{e_s} = factor de eficiencia por soldadura

$f_{e_s} = 0.85$

1/8pulg = factor de adición al espesor “ t ” por corrosión a diámetros menores de 18 pies

\equiv es un signo de equivalencia (equivale a).

Se tiene que:

$\sigma_c = PD/2t$ esfuerzo circunferencial de acuerdo a la presión interna del fluido “ P ”

$P = \omega * H = (1000\text{ Kg/m}^3)(6.45\text{m})(\text{m}^2)/(100\text{cm})^2 \rightarrow P = 0.645\text{ Kg/cm}^2$

Teniendo la igualdad siguiente

$\sigma_{yp}/(1.8) = (PD)/(2*t*0.85)$ procedemos a encontrar “ t ”

$(2,500\text{Kg/cm}^2)/(1.80) = (0.645\text{ Kg/cm}^2)(438\text{cm})/(2t),$

$t = (0.645\text{ Kg/cm}^2)(438\text{cm})(1.8)/(2*2,500\text{Kg/cm}^2 * 0.85)$

$t = 0.11965\text{cm}, \rightarrow t = (0.11965\text{cm})*(1\text{pulg}/2.54\text{cm})$

$t = 0.0471\text{pulg} \equiv a t = 3/64\text{pulg}$

Sumando 1/8pulg a este espesor $t = 3/64$ pulg tenemos

$$t = (3/64 + 1/8)\text{pulg} \rightarrow t = 11/64\text{pulg}$$

un perfil comercial arriba de 11/64pulg es 3/16pul; $\rightarrow t = 3/16\text{pulg}$.

Diseño del techo del tanque

Para los análisis de esta parte del tanque, sabemos que no estará bajo el efecto de ninguna presión interna realizada por el agua; sin embargo; se tomara un espesor de lámina correspondiente al del cuerpo, ya que la altura del techo servirá para inspecciones rutinarias, y efector del control de llenado, como se había descrito anteriormente.

Datos

$H = 0.45$ m altura del techo

$D = 4.38$ metros diámetro del cono superior, que es el mismo del conjunto

$(\sigma_{yp})/(2) = (PD)/(2*t*0.85)$, para $P = \omega*H$, si $\omega = 0$ debido que a la falta de agua

$\rightarrow P = 0$ como no existe ninguna presión interna usaremos el espesor “t” de 3/16 pulg.

Como un espesor conveniente para el proceso de soldado y rigidez del tanque.

$t = 3/16\text{pulg}$

5.1.7.2 Diseño de la estructura del Tanque.

Para este diseño tomaremos las siguientes consideraciones:

- 1. Tipo de juntas:** el empalme o unión de las placas del tanque y las partes de las conexiones en la estructura se hará atornillada o pernada y placas soldadas como platinas a las bases de las columnas, ménsulas a las partes de secciones de las columnas.
- 2. Carga muerta:** será el peso estimado de todas las construcciones permanentes y accesorios, el peso unitario del acero(que es el material usado para esta construcción) 490 libras/pie³ (7,850 kg/ m³) y el del concreto entre los límites de 144 a 150 libras/pie³ (2,300 kg/ m³)

3. **Carga viva:** será el peso estimado del líquido cuando el tanque esta lleno hasta el rebosadero(o el volumen de diseño) el peso unitario (densidad) del agua es 62.4libras/pie³ (1,000kg/ m³).
4. **Carga de viento:** se asumirá que es de 30 libras/pie² (150 kg/ m²) en superficies verticales y de 18 a 20 libras/pie² (190 a 100kg/ m²) en proyecciones de áreas cilíndricas y 15 libras/pie² (75 kg/ m²), en proyecciones de áreas de doble curvatura y superficie cónicas.
5. **Carga de sismo:** este aspecto hay que estipularlo claramente en el contrato para el diseño de la estructura del tanque elevado; dado que; es una condición especial hay que estimarlo de un código local, y se determinara respecto a las zonas en el mapa sísmico de Guatemala. En todos los cálculos de la carga de viento y de sismo en estructuras de tanques elevados se asumirá la carga completa lateral de la estructura y que actúa sobre esta en el centro de gravedad de las cargas. Para este caso se usará el método estático equivalente. El conjunto de tablas siguientes nos muestren distintos valores usados para el diseño de la estructura.

Tabla XXV. Esfuerzos unitarios por tracción*

Esfuerzos unitarios por tracción		
No.	Tipo de material	Esfuerzo unitario máximo lb./pulg. ²
1	Acero estructural de sección neta	15,000
2	Pernos y otras partes roscadas	15,000
3	Acero de fundición	11,250
4	placas de acero de paredes	15,000

* Fuente: Bran Palomo Ronny Ramiro, Análisis comparativo de costos entre torres con juntas soldadas y torres con juntas pernadas, para tanque elevados en acero, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

Tabla XXVI. Esfuerzos unitarios por compresión *

Esfuerzos unitarios por compresión		
No.	Tipo de material	Esfuerzo unitario máximo lb./pulg. ²
1	Acero estructural y metal de soldadura	15,000
2	Acero de fundición	ver miembros por compresión
3	Columnas y miembros horizontales	11,250
4	Rigidizadores de vigas de alma llena, de secciones laminadas al pie del filete	18,000

Tabla XXVII. Esfuerzos unitarios por flexión *

Esfuerzos unitarios por flexión		
No.	Tipo	Esfuerzo unitario máximo lb./pulg. ²
1	Tensión en las fibras extremas, excepto placas para bases de columnas	15,000
2	placas para bases de columnas	20,000
3	Compresión en las fibras extremas de secciones laminadas y vigas de alma llena, miembros compuestos para valores de LD/BT, menores o iguales a 600	15,000
4	LD/BT, mayor de 600	9,000,000/(LD/LT)
5	acero de fundición	11,250
6	Pines en fibra extrema	22,500

Donde:

L = Longitud no soportada;

B = Ancho del miembro

D = Peralte del miembro;

T = Espesor de su patín en compresión

* Fuente: Bran Palomo Rony Ramiro, Análisis comparativo de costos entre torres, con juntas soldadas y juntas Pernadas, para tanque elevados en acero, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

Tabla XXVIII. Esfuerzos unitarios por corte*

Esfuerzos unitarios por corte		
No.	Tipo de material	Esfuerzo unitario máximo lb./pulg. ²
1	Pines y pernos tratados, en agujeros rimados o barrenados	15,000
2	Pernos corrientes	7,500
3	Almas de vigas, y vigas de alma llena, sección total	9,750
4	Acero de fundición	7,325
5	Placas del tanque y uniones estructurales de material de acero	11,250

Tabla XXIX. Esfuerzos unitarios por aplastamiento *

Esfuerzos unitarios por aplastamiento		
No.	Tipo	Esfuerzo unitario máximo lb./pulg. ²
1	Pines	24,000
2	áreas en contacto con superficies laminadas	22,500
3	áreas en contacto con superficies similares	20,250
2	Expansión de rodillos y arcos de diámetro "d"	600/d
Concreto:		
1	2,500 lb./pulg. ²	625
2	3,000 lb./pulg. ²	625
3	4,000 lb./pulg. ²	1,000
4	5,000 lb./pulg. ²	1,250

* Fuente: Bran Palomo Rony Ramiro, Análisis comparativo de costos entre torres, con juntas soldadas y juntas pernadas, para tanque elevados en acero, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

Tabla XXX Esfuerzos unitarios por corte simple y doble *

Esfuerzo por:			
No.	Tipo	corte doble lb./pulg. ²	corte simple lb./pulg. ²
1	Pernos tratados en agujeros rimados o barrenados	30,000	24,000
2	Pernos corrientes	18,750	15,000

- 6. Esfuerzos combinados: Esfuerzos combinados axiales y de flexión:** son todos aquellos miembros diferentes de las columnas, sujetos tanto a esfuerzos axiales como de flexión, serán proporcionados para que la cantidad: $(f_a/F_a + f_b/F_b)$ no exceda la unidad. Las columnas, sujetas a esfuerzos axiales y de flexión, serán proporcionados para que el término $(f_a + f_b)$ no excedan el valor de P/A . F_a : Esfuerzo que se permitiría si únicamente existiera el esfuerzo axial. F_b : esfuerzo unitario que se permitiría, si únicamente existiera el esfuerzo de flexión; f_a : esfuerzo unitario axial real, igual a la fuerza axial dividida por el área del miembro; f_b : Esfuerzo unitario de flexión real, igual al dividir el momento de flexión por el módulo de sección del miembro.
- 7. Pernos:** los pernos sujetos a corte y fuerzas de tensión, serán proporcionados, para que los esfuerzos unitarios combinados no excedan el esfuerzo unitario permisible para pernos únicamente en tensión
- 8. Vientos y otras fuerzas:** los miembros sujetos a esfuerzos producidos por la combinación de viento con carga muerta y viva, o únicamente por viento, serán proporcionados para esfuerzos unitarios 25% más grandes. Siempre previendo que las

* Fuente: Bran Palomo Rony Ramiro, Análisis comparativo de costos entre torres, con juntas soldadas y juntas pernadas, para tanque elevados en acero, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

secciones requeridas no sean menores que las solicitadas, para combinación de cargas muerta y viva como se especificó anteriormente.

- 9. Sismo y otras fuerzas:** los miembros sujetos a esfuerzos producidos por una combinación de sismo y carga muerta y viva, ó únicamente por sismo, pueden ser proporcionados para esfuerzos unitarios 25% más grandes, pero previendo que la sección no sea menor que la requerida, para la combinación de cargas muerta y viva especificada en dicha sección, y usando los esfuerzos unitarios adecuados. No es necesario combinar viento y sismo, sino únicamente proporcionar cada uno de los miembros para una combinación con los esfuerzos producidos por otras causas, resultando en el mayor tamaño del miembro.
- 10. Asignación por corrosión:** deberán hacerse consideraciones cuidadosas por el cliente para la asignación adecuada de corrosión. Ésta asignación dependerá de la naturaleza corrosiva del agua almacenada, la proximidad del tanque al agua salada, o ambientes salinos, dependiendo de otras causas de corrosión atmosférica (lluvia ácida). La asignación de corrosión especificada por el cliente debe de ser agregada al espesor determinado por los análisis efectuados (ver los cálculos en el diseño del tanque), a menos que se especifique de otro forma, para aducir o eximir responsabilidad al constructor.
- 11. Espesores mínimos:** los espesores mínimos los determina el análisis realizado, para cada parte (tanque o estructura); sin embargo; es importante señalar que, el espesor para cualquier parte de la estructura es de 3/16 pulg, para partes no en contacto y de 1/4 pulg, para aquellas partes diferentes de las placas cilíndricas en contacto con el agua, cuando el deposito se encuentre lleno, el espesor mínimo para columnas tubulares y puntales es de 3/16 pulg.
- 12. Uniones de las placas de las paredes:** en los cálculos de los espesores de las placas de las paredes cilíndricas esforzadas por el peso o la presión del contenido del tanque, la presión en el extremo mas bajo de cada anillo se asumirá que es constante, en el área

completa del anillo (ver el diagrama de fuerzas del diseño del fondo del tanque). Las juntas longitudinales en franjas circunferenciales adyacentes, pueden ser escalonadas o en alineación. Las juntas que se crucen con otras serán biseladas y soldadas continuamente a través de la intersección. Las paredes del tanque o depósito serán formadas adecuadamente para que tomen la configuración deseada del depósito.

13. Valores de diseño para soldaduras de juntas estructurales: las juntas soldadas serán proporcionadas para que los esfuerzos en una sección, a través de la garganta de la soldadura, sin incluir soldadura de refuerzo, no exceda los siguientes (ver tabla XXXI) porcentajes de los esfuerzos-tensión de trabajo permisibles del material de las juntas estructurales.

Tabla XXXI. Valores de diseño de la soldadura *

Valores de diseño de la soldadura		
No.	Tipo de esfuerzo	porcentaje de diseño
Soldaduras acanaladas		
1	Tensión	85%
2	Compresión	100%
3	Corte	75%
soldaduras de filete		
1	Corte transversal	65%
2	Corte longitudinal	50%

Los esfuerzos en una soldadura de filete serán considerados como de corte en la garganta, para cualquier dirección de aplicación de la carga. La garganta de una soldadura de filete se asumirá que es 0.707 veces la longitud del lado mas corto del filete de soldadura.

14. Cargas laterales: para columnas y riostras, de formas estructurales la carga de viento que actúa sobre los miembros se encontrarán multiplicando el área

* Fuente: Bran Palomo Ronny Ramiro, Análisis comparativo de costos entre torres, con juntas soldadas y juntas pernadas, para tanque elevados en acero, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

proyectada por los miembros con la carga distribuida asumida. Para un sismo se encontrara una carga única. La presión del viento en cualquier dirección sobre una columna estructural no de forma tubular, se tomara como 30lb/pies², de la más grande de las dos áreas proyectadas; **la primera:** sobre el plano vertical, el que contiene el eje longitudinal de la columna y el eje vertical del tanque de la torre; **la segunda:** en un plano vertical perpendicular al anterior.

Todas las juntas circunferenciales en columnas y puntales tubulares, serán juntas soldadas para juntas completas de penetración. Las juntas longitudinales serán juntas a tope soldadas como mínimo del lado exterior (como se explicó en el diseño del tanque) al espesor de la placa.

15. Esbeltez: la máxima relación de esbeltez L/r será como se describe en la tabla XXXII

Tabla XXXII. Máxima relación de esbeltez *

Máxima relación de esbeltez L/r		
No.	Tipo	L/r
1	Miembros por compresión que transportan peso o presión del contenido del tanque	120
2	Miembros por compresión que transportan cargas laterales de viento o sismo, o ambas	175
3	Miembros que transportan cargas únicamente del techo	175

16. Espesor mínimo: el espesor mínimo para columnas y puntales será de 3/16pulg;(según indiquen los cálculos) pueden usarse barras redondas o cuadradas de sección sólida para arriostamiento diagonal contra carga laterales y tendrán un diámetro mínimo de 3/4pulg.

17. Pernos de anclaje: como se describió en las especificaciones, el papel que tendrán en las cimentaciones, pueden ser simples o barras deformadas de varios tipos. Estos pernos

* Fuente: Bran Palomo Ronny Ramiro, Análisis comparativo de costos entre torres, con juntas soldadas y juntas pernadas, para tanque elevados en acero, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

se diseñaran para el máximo esfuerzo posible a que puedan estar sometidos, usando el área en la raíz de la rosca ó la más pequeña que exista. Los pernos de anclaje pueden extenderse hasta un máximo de 3 pulg. del fondo de la cimentación, pero no necesariamente mas allá de lo suficiente para desarrollar la máxima fuerza de levantamiento, y debe terminar en ángulo recto, gancho o dobles en el fondo de la cimentación; la fuerza que desarrollarán los pernos de anclaje para barras simples usadas como pernos de anclaje, será calculada por la fórmula siguiente.

$$U = 1.5 * \sqrt{f'c} \leq 160; \quad \text{Donde:}$$

U = esfuerzo unitario de anclaje

F'c = esfuerzo de compresión del concreto lb/pulg²

Los extremos roscados de los pernos de anclaje en su parte superior deberán proveerse tuercas y contratuercas, en caso de no usar contratuerca se aplanara con un martillo en su parte superior a efecto de prevenir que no se aflojen las tuercas.

18. Cimentaciones: las cimentaciones para las estructuras de tanques elevados podrán ser zapatas aisladas de sección constante o variable y losas continuas. La alternativa se escogerá con base en diversos factores, tomando en cuenta, principalmente: el valor del soporte del suelo, magnitud de cargas que actúan en la estructura, etc. Se recomienda dejar las estructuras entrelazadas.

Con las consideraciones expuestas anteriormente para el diseño de la estructura realizaremos el análisis de cálculo por sismo ya que el viento no es crítico en nuestro medio para la mayor parte de las estructuras.

Datos: para encontrar el peso del: líquido, techo, cuerpo, fondo, accesorios

$$\rho_{H_2O} = \text{peso unitario del agua; } \rightarrow \rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (62.4 lb /pie}^3\text{)}$$

$$\rho_{\text{acero}} = \text{peso unitario del acero; } \rightarrow \rho_{\text{acero}} = 7,850 \text{ kg/m}^3 \text{ (490 lb /pie}^3\text{)}$$

$$\rho_{\text{concreto}} = \text{peso unitario del concreto;}$$

$$\rho_{\text{concreto}} = 2,300 \text{ kg/m}^3 \text{ (de 144 a 150 lb /pie}^3\text{)}$$

$$D = \text{diámetro} = 4.38 \text{ m}; \quad R = 2.19 \text{ m}$$

$$t = \text{espesor del material}; \rightarrow t_{\text{techo}} = t_{\text{cuerpo}} = 3/16 \text{ pulg.}; \quad t_{\text{fondo}} = 1/4 \text{ pulg.}$$

$$H_{\text{techo}} = 0.45\text{m};$$

$$H_{\text{cuerpo}} = 6.45\text{m}$$

$$H_{\text{fondo}} = 0.90\text{m};$$

$$1\text{kg} = 2.2181 \text{ lb}$$

W = letra que denotara el peso; se manejará las libras de fuerza

- **Peso del líquido total en el contenido del tanque (lleno de agua) ver figura 45**

$$W_{\text{agua}} = \text{volumen total} * \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \text{ m}^3 * 1000 \text{ kg/m}^3; \rightarrow W_{\text{agua}} = 100,000 \text{ kg}$$

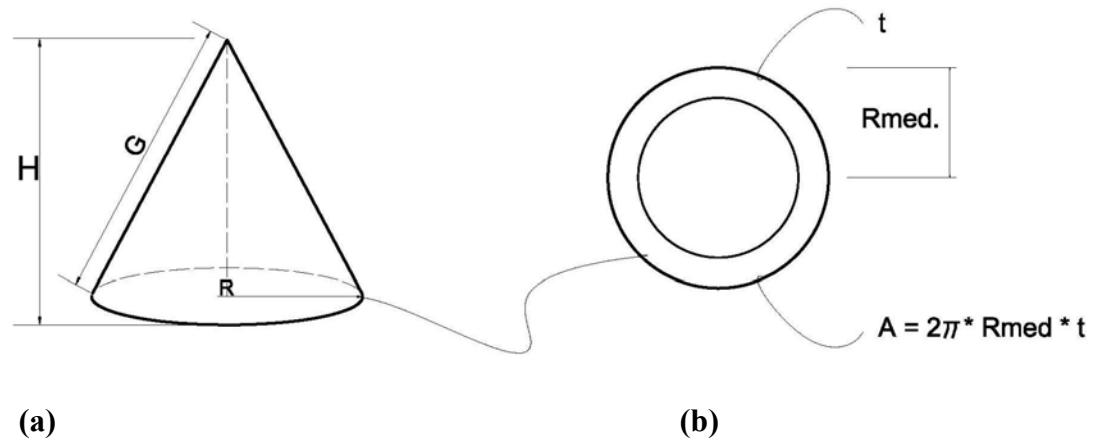
$$W_{\text{agua}} = (100,000 \text{ kg}); \quad \rightarrow W_{\text{agua}} = 224,810 \text{ lb.}$$

- **Peso del techo.** La figura 49 (a y b) se usaran para efectuar el cálculo del peso del material del tanque.

$$W_{\text{techo}} = (\text{Volumen de cono}) * \rho_{\text{acero}}; \quad t_{\text{techo}} = \text{espesor de la lámina del techo}$$

$$\text{pero } V_{\text{cono}} = [(\text{area}_{\text{cono}}) + ((\text{area}_{\text{corona}}) * t_{\text{techo}})] * t_{\text{techo}}$$

Figura 49. Área de cono y corona circular delgada⁸¹



Área total del cono = área de la superficie del cono + el área de la corona circular delgada

Donde:

$$t = (3/16 \text{ pulg}) * (2.54 \text{ cm/pulg}) * (1 \text{ m}/100) = 4.7625 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$R_1 = D/2 = 4.38/2 = 2.19 \text{ m}$$

$$R_2 = R_1 - t = 2.19 \text{ m} - 4.7625 \times 10^{-3} \text{ m} = 2.1852375 \text{ m}$$

$$A_{\text{sup cono}} = \pi * R * G ; \text{ de la figura No } G = \sqrt{(R^2 + H^2)}$$

$$A_{\text{corona}} = 2 * \pi * R_{\text{medio}} * t ; \text{ pero}$$

$$R_{\text{medio}} = (R_1 + R_2)/2 = (2.19 \text{ m} + 2.1852375 \text{ m}) / 2 = 2.1876181875 \text{ m}$$

$$A_{\text{total}} = \pi * R * G + 2 * \pi * R_{\text{medio}} * t = [\{ (\pi * R * \sqrt{(R^2 + H^2)}) \} + \{ (2 * \pi * (R_1 + R_2)/2 * (t)) \}]$$

$$A_{\text{total}} = \pi [R * \sqrt{(R^2 + H^2)} + (R_1 + R_2) * t]$$

$$A_{\text{total}} = \pi [2.19 \text{ m} * \sqrt{(2.19^2 + 0.45^2)} + (2.19 + 2.18) * 4.7625 \times 10^{-3} \text{ m}] \text{ operando la ecuación}$$

$$A_{\text{total}} = \pi [4.89630 + 0.0208370] \rightarrow A_{\text{total}} = 15.44764 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen del cono} = (A_{\text{total}}) * (t)$$

$$V_{\text{cono}} = (15.44764 \text{ m}^2) * (4.7625 \times 10^{-3} \text{ m})$$

⁸¹ Fuentes: Para (a) Ilustración propia; para (b) con la fórmula del volumen del cono + la fórmula del área de la corona circular delgada de; Egor P. Popov Introducción a la Mecánica de Sólidos, Editorial Limusa. 1982

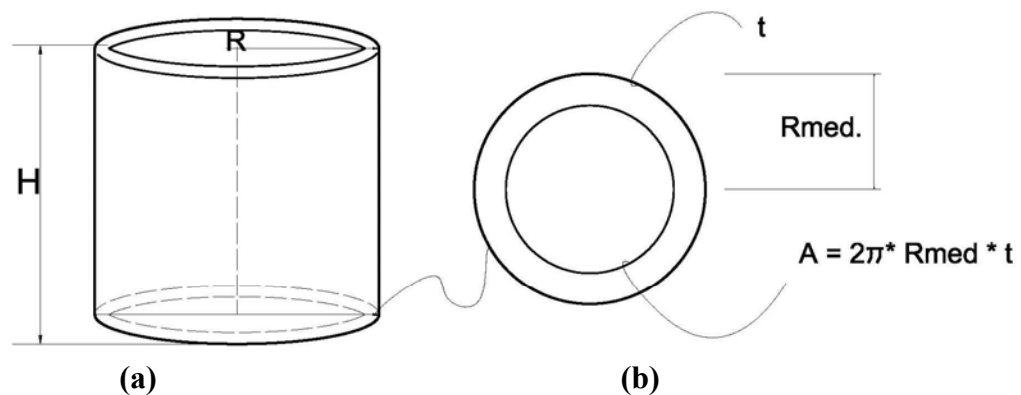
$$V_{\text{cono}} = 0.073569385 \text{ m}^3; \quad W_{\text{techo}} = (\text{Volumen de cono}) * (\rho_{\text{acero}})$$

$$W_{\text{techo}} = (0.073569385 \text{ m}^3) * (7,850 \text{ kg/m}^3)$$

$$W_{\text{techo}} = 577.5191 \text{ kg}; \quad W_{\text{techo}} = 1,298.3219 \text{ lbs}$$

Para el peso del cuerpo y del fondo seguimos un proceso similar al usado para encontrar el peso del techo. Ver la ilustración de la figura 50 (a) y (b)

Figura 50. Área de cilindro recto y corona circular delgada⁸²



• Peso del cuerpo

$$W_{\text{cuerpo}} = (\text{volumen del cuerpo}) * (\rho_{\text{acero}}); \quad \rightarrow V_{\text{cuerpo}} = (A_{\text{total}}) * (t)$$

A_{total} = área lateral del cilindro + dos veces el área de la corona

$$A_{\text{total}} = (2\pi * R * H + 2 * (2 * \pi * R_{\text{medio}} * t))$$

$$A_{\text{total}} = [\{ (2\pi * R * H) \} + \{ (4 * \pi * (R_1 + R_2) / 2 * (t)) \}]$$

$$A_{\text{total}} = 2\pi [(R * H) + \{ (* \pi * (R_1 + R_2) * (t)) \}]$$

⁸² Fuentes: Para (a) Ilustración propia; para (b) con la fórmula del volumen del cilindro + la fórmula del área de la corona circular delgada; Egor P. Popov Introducción a la Mecánica de Sólidos, Editorial Limusa, 1982

$$A_{\text{total}} = 2\pi [(2.19 \cdot 6.45) + (2.19 + 2.18) \cdot 4.7625 \times 10^{-3}]$$

$$A_{\text{total}} = 2\pi [(2.19 \cdot 6.45) + (2.19 + 2.18) \cdot 4.7625 \times 10^{-3}] =$$

$$A_{\text{total}} = 2\pi [(14.1255) + (0.0208370)] = 88.8840 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total}} = 88.8840 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{cuerpo}} = (A_{\text{total}}) \cdot (t) = (88.8840 \text{ m}^2) \cdot (4.7625 \times 10^{-3} \text{ m}) = 0.423310 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cuerpo}} = 0.423310 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{cuerpo}} = (V_{\text{cuerpo}}) \cdot (\rho_{\text{acero}}) = (0.423310 \text{ m}^3) \cdot (7,850 \text{ kg/m}^3) = 3,322.986 \text{ kg}$$

$$W_{\text{cuerpo}} = 3,322.986 \text{ kg}; \quad W_{\text{cuerpo}} = 7,470.404 \text{ lbs}$$

- **Peso del fondo** → (un proceso similar al techo)

$$W_{\text{fondo}} = 611.4638 \text{ kg}; \quad W_{\text{fondo}} = 1,374.6317 \text{ lbs}$$

- **Peso de los accesorios**

Para el peso de los accesorios podemos asumir 1000 lbs

$$W_{\text{accesorios}} = 1,000 \text{ lbs}$$

$$\text{Peso de tanque vacío} = W_{\text{techo}} + W_{\text{cuerpo}} + W_{\text{fondo}} + W_{\text{accesorios}}$$

$$\text{Peso de tanque vacío} = 1,298.3219 + 7,470.404 + 1,374.6317 + 1,000 \text{ lbs}$$

$$\text{Peso de tanque vacío} = 11,143.3576 \text{ lbs lo aproximamos a } 11,500 \text{ lb}$$

$$\text{Peso de tanque vacío} = \mathbf{11,500 \text{ lb}}$$

$$\text{Peso de tanque lleno} = \text{peso del tanque vacío} + \text{peso del líquido}$$

$$\text{Peso de tanque lleno} = 11,500 \text{ lb} + 224,810 \text{ lbs} = 236,310 \text{ lb}$$

$$\text{Peso de tanque lleno} = \mathbf{236,310 \text{ lb}}$$

- **Peso de la torre**

Datos

Columnas detubo cuadrado 6 1/2pulg X 6 1/2 pulg ; t = 1/4 pulg.

Riostras o briesas horizontales sección C “ [“ 2pulg X 2pulg ; t = 1/4 pulg.

Riostras o briesas horizontales, angulares 2pulg X 2pulg ; t = 1/4 pulg.

$$W_{\text{columnas}} = (V_{\text{perfil}}) * (\rho_{\text{acero}}) = 4 * 2.2371 \text{ pie}^3 * 490 \text{ lb/ pie}^3$$

$$\mathbf{W_{\text{columnas}} = 4,384.716 \text{ l lb}}$$

$$W_{\text{riostras}} = 24 (V_{\text{perfil}}) * (\rho_{\text{acero}}) = 24 * 0.37008 \text{ pie}^3 * 490 \text{ lb/ pie}^3$$

$$\mathbf{W_{\text{riostras}} = 4,352.18 \text{ lb}}$$

$$W_{\text{tensores}} = 40 (V_{\text{perfil}}) * (\rho_{\text{acero}}) = 40 * 0.128125 \text{ pie}^3 * 490 \text{ lb/ pie}^3$$

$$\mathbf{W_{\text{tensores}} = 2,511.25 \text{ lb}}$$

Peso total de la estructura (torre)

$$W_{\text{torre}} = W_{\text{columnas}} + W_{\text{riostras}} + W_{\text{tensores}}$$

$$W_{\text{torre}} = 4,384.716 \text{ l lb} + 4,352.18 \text{ lb} + 2,511.25 \text{ lb}$$

$$\mathbf{W_{\text{torre}} = 11,247. 966 \text{ lb.}}$$

$$W_{\text{conjunto}} = W_{\text{tanque lleno}} + W_{\text{torre}} = 236,310 + 11,247.966$$

$$\mathbf{W_{\text{conjunto}} = 247,557. 966 \text{ lb}}$$

- **Analizando por sismo**

$$\text{Por el método SEAOC; } V_{\text{corte}} = Z * I * K * C * S * W$$

Donde Z = factor de zona, cuyos valores dependen del grado de sismicidad de la región siendo los siguientes. Ver tabla XXXIII

Tabla XXXIII. Valores de sismos *

Tabla 5.9 valores de sismos			
No.	zona	valor de Z	Interpretación
1	zona 0	Z = 0	Zona de ausencia de daño sísmico
2	zona 1	Z = 0,25	Zona de daño menor, intensidad 5 y 6
3	zona 2	Z = 0,5	Zona de daño moderado, intensidad 7
4	zona 3	Z = 1	Zona de daño mayor

I = factor de importancia de la estructura, su valor depende, si la estructura debe de seguir funcionando después de un sismo.

I = 1.5 estructuras vitales

I = 1 estructuras normales

K = factor de tipo de estructuras (geometría de la construcción)

K = 0.67 a 1.33; estructura de edificios

K = 2; estructura no considerada como edificios

K = 3; para torres

C = aceleración espectral de la masa entre la gravedad

$C = 1/(15\sqrt{T})$; $\sqrt{\quad}$ = raíz cuadrada

T = periodo de la vibración de la estructura

T 0.10N; N = numero total de pisos

W = peso de la estructura

S = valor que toma en cuenta el caso de interacción suelo-estructura; dada la resonancia que se produce si los periodos de vibración del suelo y la estructura son similares, varia entre 1 y el valor de 1.5

Entonces

$Z = 0.5$; $I = 1.00$; $K = 2.5$; $S = 1.25$; W = peso de la estructura: Donde

* Fuente: Bran Palomo Ronny Ramiro, Análisis comparativo de costos entre torres, con juntas soldadas y juntas pernadas, para tanque elevados en acero, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

$$C = 1/(15\sqrt{T}); \quad T = (0.05 * h_{\text{centroidal}} * n) / (\sqrt{D_{\text{distancia adyacente}}})$$

$$T = (0.05 * 61.992)(1) / (\sqrt{21.32}); \quad T = 0.6713$$

$$C = 1/(15\sqrt{0.6713}); \quad C = 0.0813$$

Condición; sí

$$C * S \leq 0.140; \quad 0.0813 * 1.25 \leq 0.140$$

$$0.1017 \leq 0.140 \quad \text{se cumple}$$

Entonces

$$V = Z * I * K * C * W = 0.5 * 1 * 2.5 * 0.101709 * W; \quad W = \text{peso del un elemento};$$

$$V = 0.1271W \quad W_{\text{conjunto}} = W_{\text{torre}} + W_{\text{deposito lleno}} = 247,557.966 \text{ lb}$$

$$W_{\text{por columna}} = (W_{\text{conjunto}}) / 4 = (247,557.966 \text{ lb}) / 4 = 61,889.4915 \text{ lb}$$

$$W_{\text{por columna}} = 61.8894 \text{ kips}; \quad 1 \text{ kips} = 1000 \text{ lb}$$

V = denota el corte

$$\text{Corte producido por el deposito } V_d = 0.1271 * 236,310 = 30,043.5080 \text{ lb}$$

$$\text{Corte producido por el deposito } V_d = 30.0435 \text{ kips}$$

$$\text{Corte producido por la torre } V_t = 0.1271 * 11,247.966 = 1429.6164 \text{ lb} = 1.4296 \text{ kips}$$

$$\text{Corte producido por la torre } V_t = 1.4296 \text{ kips}$$

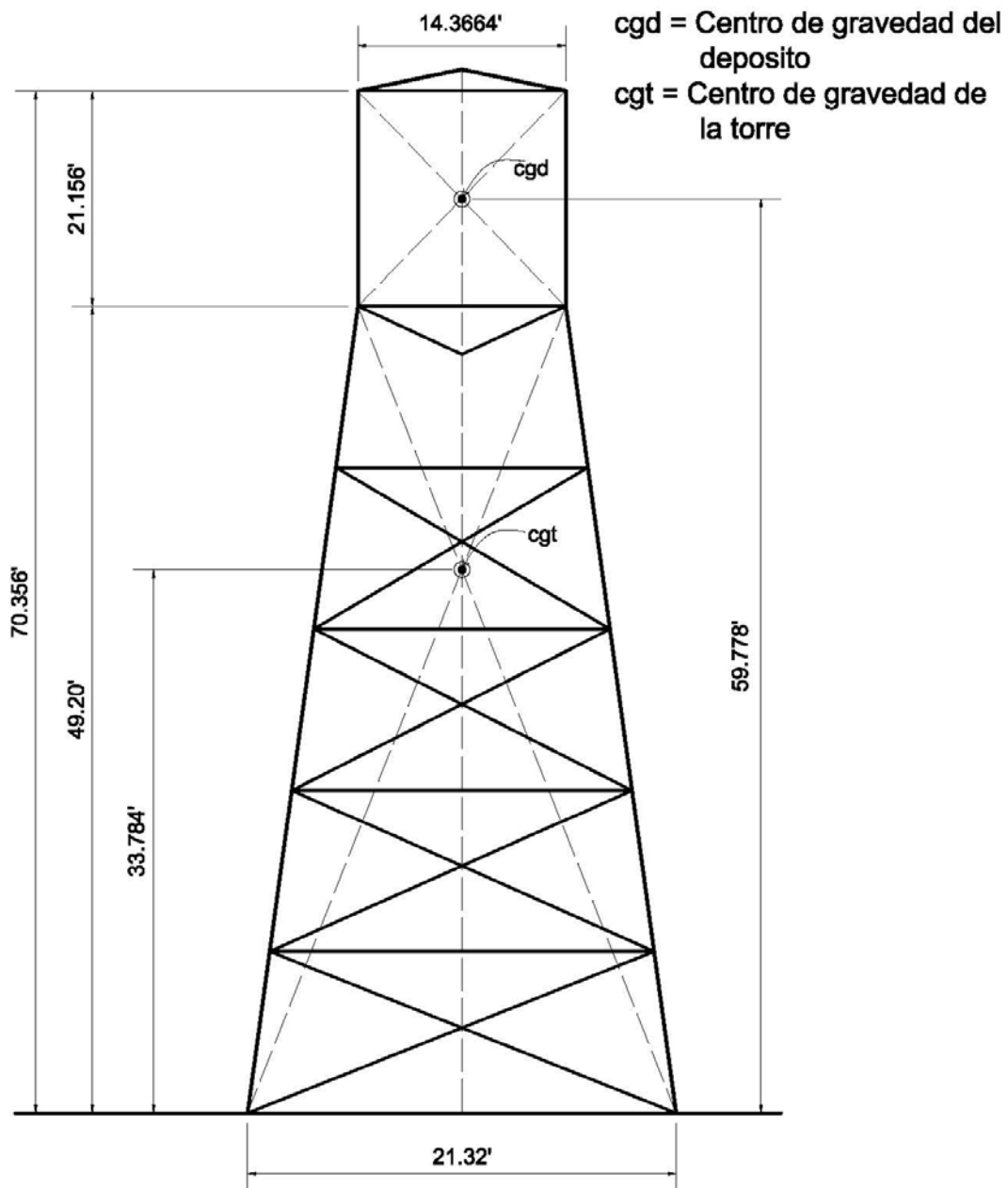
$$V' = V_d * 1.25 = 30.0435 \text{ kips} * 1.25 = 37.5543 \text{ kips}$$

$$V'' = V_t * 1.25 = 1.4296 \text{ kips} * 1.25 = 1.7875 \text{ kips}$$

$$\text{Corte total de la estructura} = V' + V'' = 37.5543 \text{ kips} + 1.7875 \text{ kips} = 39.3418 \text{ kips}$$

La figura 51 nos muestra las medidas de referencia para diseño de la estructura

Figura 51. Torre-tanque con descripción de centros de gravedad ⁸³



⁸³ Fuente: Elaboración Propia

- **Deduciendo los momentos**

$M' = \text{momento producido por el depósito} = (V') * (\text{el centro de gravedad del depósito})$

$$M' = 37.5543 * 59.778 = 2,244.9209 \text{ kips-pie}$$

$M'' = \text{momento producido por la torre} = (V'') * (\text{el centro de gravedad de la torre})$

$$M'' = 1.7875 * 33.784 = 60.2706 \text{ kips-pie}$$

$$\text{Momento total estructura} = M' + M'' = (2,244.9209 + 60.2706)$$

$$\text{Momento total estructura} = \mathbf{2,305.1915 \text{ kips-pie}}$$

- **Tomando momentos respecto la base de la torre en el sentido XX-YY**

$$\text{Corte por marco } V_m = (\text{corte total})/2 = (39.3418)/2 = 19.6709 \text{ kips}$$

$$\mathbf{V_m = 19.6709 \text{ kips}}$$

$$\text{Momento por marco } M_m = (\text{momento total})/2 = (2,305.1915)/2$$

$$\text{Momento por marco } M_m = 1,152.5957 \text{ kips-pie}$$

$$M_m = 1,152.5957 \text{ kips-pie}$$

$$\text{Reacción en la base } R_o = (M_m)/(\text{dist. Adyacente})$$

$$R_o = (1,152.5957 \text{ kips-pie})/(21.32 \text{ pie})$$

$$\mathbf{R_o = 54.0617 \text{ kips} = P_{0-1} = -R_4}$$

- **Determinación del esfuerzo en el panel siguiente**

$$P_{1-2} = [\{ (M_1' + M_2'')/2 \} / (\text{dist. Adyacente columnas})]; \text{ donde}$$

$$M_1' = V'_{\text{dep}} * (\text{el Nuevo centro de gravedad del depósito})$$

$$M_1' = (37.5543 \text{ kips}) * (59.778 - 9.84) = 1,875.3866 \text{ kips-pie}$$

$$M_2'' = (V''_{\text{torre}}) * (\text{el nuevo centro de gravedad de la torre})$$

$$M_2'' = (1.7875 \text{ kips}) * (39.2944 - 9.84) \text{ pie} = 52.6497 \text{ kips-pie}; \text{ Entonces:}$$

$$P_{1-2} = [((1,875.3866 + 52.6497)/2) \text{ kips-pie} / (21.32 \text{ pie})] = 45.2166 \text{ kips}$$

$$\mathbf{P_{1-2} = 45.2166 \text{ kips} = -P_{4-5}}$$

- **Fuerza máxima sobre columna**

$$P_{\max} = (\text{momento total de la estructura}) \cdot (f)/L; \quad f = 0.707 \text{ factor para cuatro columnas}$$

$$P_{\max} = (2,305.1915 \text{ kips-pie}) \cdot (0.707) / (21.32); \quad P_{\max} = 76.4432 \text{ kips}$$

$$P_{\max} = 76.4432 \text{ kips}$$

- **Determinación de las fuerzas de riostra diagonal o tensores**

$$(AD)_{4-1} = (R_o - P_{4-5}) \cdot \sec\beta; \quad \text{donde } \beta = \text{ángulo que forma diagonal con columna}$$

$$(AD)_{4-1} = (R_o - P_{4-5}) \cdot (1/\cos\beta)$$

$$(AD)_{4-1} = (54.0617 - 45.2166) \cdot (1/\cos 59.40) = (8.8451) \cdot (1.9644)$$

$$(AD)_{4-1} = 17.3753 \text{ kips}$$

- **Determinación de las fuerzas de riostra horizontales**

$$RH_{4-0} = (V_{\text{total}})/4 + (AD)_{4-1} \cos\theta - 0.5(P_{0-1} - P_{4-5}) \sin\lambda$$

$$RH_{4-0} = [\{ (39.3418)/4 \} + (17.3753) (\cos 23.595) - 0.5(54.0617 - 45.2166) \sin 7]$$

$$RH_{4-0} = (9.8354 + 15.9226 - 0.5389) = 25.2191 \text{ kips}$$

$$RH_{4-0} = 25.2191 \text{ kips}$$

- **Corte total en pernos**

$$V_p = V_t/2 = (39.3418)/2 = 19.6559 \text{ kips}$$

$$V_p = 19.6559 \text{ kips}$$

- **Análisis por sismo según diagonal de la sección de la torre.**

Determinación de corte por marco

$$V_m = (f \cdot V_t)/2 = (0.707 \cdot 39.3418)/2 = 13.8967 \text{ kips}$$

$$V_m = 13.8967 \text{ kips}$$

Determinación del momento por marco

$$M_m = [f^*(M' + M'')/2] = [(0.707*(2,244.9209 + 60.2706))/2]$$

$$M_m = 814.8851 \text{ kips-pie}$$

Determinación de la reacción en la base

$$R_o = M_m/L = (814.8851 \text{ kips-pie})/ 21.32 \text{ pie} = 38.2216 \text{ kips}$$

$$R_o = 38.2216 \text{ kips}$$

- **Diseño de elementos:**

- **Diseño de columnas**

→ se tiene que la compresión es crítica

$$C = P_{\max} + P_{\text{peso total por columna}} = (76.8894 + 61.8894) \text{ kips}$$

$$C = 138.3326 \text{ kips}$$

Para la "L" de la columna tomamos $(3.00\text{m} - 0.305\text{m}) = 8.84\text{pie} = 106.08 \text{ pulg}$

Se prueba con tubo cuadrado de 6pulg.x 6pulg.; $t = 1/4 \text{ pulg}$

Área = 5.875 pulg²; → (área de la sección transversal)

$r = 2.3217 \text{ pulg}$; → (radio de giro del elemento)

Entonces:

Utilizando $K = 1$ para elementos articulados en los extremos

$$K \leq 1.00 \rightarrow K*L/r = (1*106.08)/2.3217 = 45.6906 \approx \underline{46}$$

$$F_a = 18.77 \text{ ksi} ; \text{ y } 1.33*F_a = 1.33*18.77 = 24.96 \text{ ksi};$$

$$F_a = 24.96 \text{ ksi};$$

Como se ve, F_a incrementa un 33% cuando en el diseño se incluyen cargas vivas, cargas muertas, viento y sismo.

Donde:

F_a = esfuerzo permisible de compresión según la AISC por ASD sección 9

$K = 1.33$ factor de riesgo

$K_{si} = 1000 \text{ lb/pulg}^2$

$f_a = (C_{\text{compresión crítica}}) / \text{área del elemento} = (138.3326/5.875)$

$f_a = 23.5459 \text{ ksi}$

Condición:

Si $f_a \leq F_a$ se acepta

$23.5459 \text{ ksi} \leq 24.96 \text{ ksi}$;

Se aceptan columnas cuadradas de (6x6) pulg. Con $t = 1/4$ pulg

Diseño de riostras horizontales

Datos

Fuerza = $R_{H_{4-0}} = 25.2191 \text{ kips}$; $L = 6.00\text{m} = 19.68 \text{ pies} = 236.16 \text{ pulg}$

Se prueba con canal tipo costanera “[de (2x6x2) pulg; con $t = 1/4$ pulg

Área = 2.73 pulg^2 ; $r = 2.2814 \text{ pulg}$.

$K \leq 1.00 \rightarrow K \cdot L/r = (1 \cdot 236.16)/2.2814 = 103.5153 \approx 104$

$F_a = 18.66$, y $1.33F_a = 1.33 \cdot 18.66 = 24.8178 \text{ ksi}$

$F_a = 24.8178 \text{ ksi}$

$f_a = (R_{H_{4-0}}) / \text{área del elemento} = (25.2191 \text{ kips})/2.7303\text{pulg}^2 = 9.2367 \text{ ksi}$

$f_a = 9.2367 \text{ ksi}$

Condición

Sí $f_a \leq F_a$ se acepta

$9.2367 \text{ ksi} \leq 24.8178 \text{ ksi}$ entonces:

Se aceptan las canales de (2x6x2) pulg; con $t = 1/4$ pulg

Diseño de tensores diagonales

Datos

$$\text{Fuerza} = (AD_{4-1}) = 17.3753 \text{ kips}$$

$$L = 7.00\text{m} = 22.96 \text{ pie} = 275.52 \text{ pulg.}$$

$$\text{Se prueba con angular de } (3 \times 3) \text{ pulg; } \quad \text{y } t = 5/16 \text{ pulg}$$

$$\text{Área} = 1.78 \text{ pulg; } \quad r = 0.953 \text{ pulg}$$

$$K \leq 1.00 \rightarrow K \cdot L/r = (1 \cdot 275.52)/0.953 = 289.1080 \approx 289$$

$$F_a = 8.23 \text{ ksi y } 1.33F_a = 1.33 \cdot 8.23 = 10.9459 \text{ ksi}$$

$$\mathbf{F_a = 10.9459 \text{ ksi}}$$

$$f_a = (17.3753 \text{ kips})/(1.78) = 9.7614 \text{ ksi}$$

$$\mathbf{f_a = 9.7614 \text{ ksi}}$$

Condición

Sí $f_a \leq F_a$ se acepta

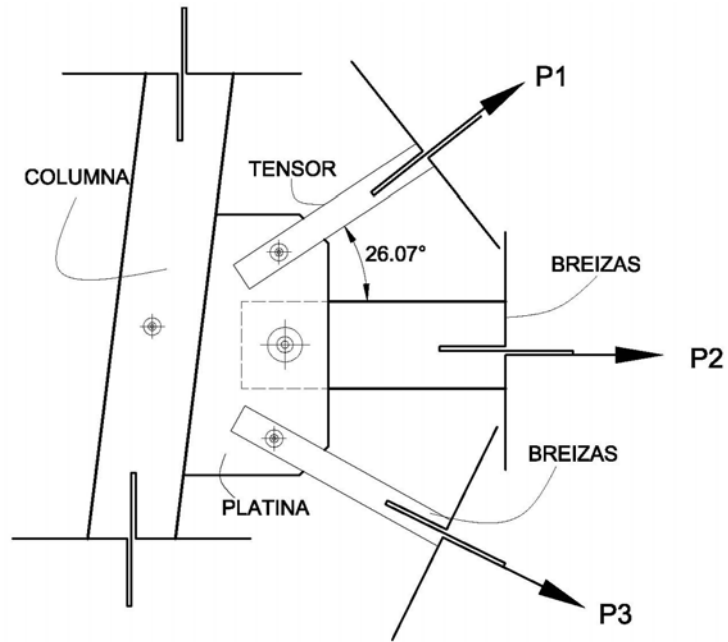
9.7614 ksi \leq 10.9459 ksi; entonces

Se aceptan las angulares de (3x3) pulg; **con t = 5/16 pulg**

- **Diseño de soldadura para unión de placas y columnas**

Se toman en consideración las siguientes fuerzas que actúan en cada elemento, horizontal y diagonal más críticos; así:

Figura 52. Detalle "B" con indicación de fuerzas⁸⁴



DETALLE " B "

$P1 = AD_{4-1} = 17.3753 \text{ kips}$

$P2 = RH_{4-0} = 25.2191 \text{ kips}$

$P3 = AD_{4-1} = 17.3753 \text{ kips}$

Se diseña con el nudo mas crítico

Componentes en "X" y en "Y" de las fuerzas P1, P2, y P3

$P1 = 17.3753 \text{ kips}$ $P_{1x} = 15.6074 \text{ kips}$ $P_{1y} = 7.6586 \text{ kips}$

$P2 = 25.2191 \text{ kips}$ $P_{2x} = 25.2191 \text{ kips}$ $P_{2y} = 0$

$P3 = 17.3753 \text{ kips}$ $P_{3x} = 15.7760 \text{ kips}$ $P_{3y} = 7.3028 \text{ kips}$

⁸⁴ Fuente: Elaboración propia

$$\sum F_x = \text{tensión} = (15.6074 + 25.2191 + 15.7760) = 56.6025 \text{ kips}$$

$$\sum F_y = \text{corte} = (7.6359 - 7.2812) = 0.3547 \text{ kips}$$

$$\text{Esfuerzo máximo por corte} = 0.40 \cdot 36 \text{ ksi} = 14.40 \text{ ksi}$$

$$\text{Esfuerzo máximo por tensión} = 0.60 \cdot 36 \text{ ksi} = 21.60 \text{ ksi}$$

Chequeo del área o longitud de platina

$$\sigma = P/A \rightarrow A = P/\sigma$$

$$\text{El área debido al corte } A_{s_v} = (0.3547 \text{ kips})/ 14.40 \text{ kips/pulg}^2 = 0.02463 \text{ plug}^2$$

$$\text{El área debido a la tensión } A_{s_t} = (56.6025 \text{ kips})/ 21.60 \text{ kips/pulg}^2 = 2.6204 \text{ plug}^2$$

Asumimos una garganta de $t = 1/4$ pulg

Procediendo al diseño: con el crítico que es el área en tensión $A_{s_t} = 2.6204 \text{ plug}^2$

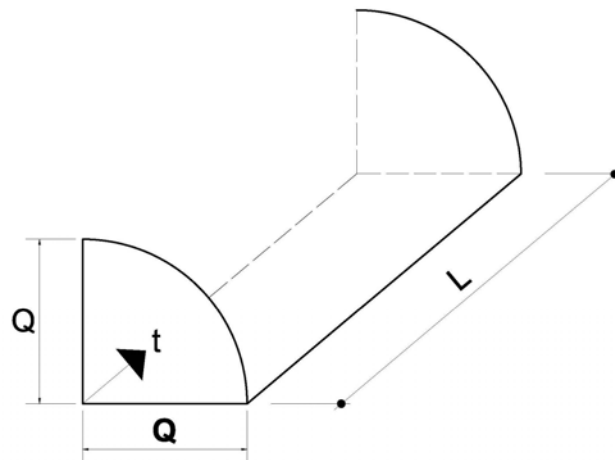
Entonces:

$$\text{Una platina } A = b \cdot h \rightarrow h = A/b = (2.6204 \text{ plug}^2)/ (1/4 \text{ pulg}); \quad h = 10.4816 \text{ plug}$$

Chequeo de soldadura (electrodo E-70); E-70 = 70 ksi.

La figura 5.24 ilustra el área de la soldadura

Figura 53. Detalle del área y relleno de la soldadura⁸⁵



⁸⁵ Fuente: Elaboración propia

$$A = t * L \text{ pero } Q = t * \cos 45; \rightarrow A = t * \cos 45 * L \rightarrow L = A / (t * \cos 45)$$

$$L = (2.6204) / (1/4 * \cos 45); L = 14.8232 \text{ pulg};$$

Pero también

- Capacidad de soldadura = $0.707 * 1/4 * 0.30 * 70 \text{ksi} = \underline{3.7117 \text{ kips/ pulg}}$
- Longitud de soldadura = $(F_{\text{tensión}}) / (\text{capacidad de soldadura})$
- Longitud de soldadura = $(56.6025 \text{ kips}) / (3.7117 \text{ kips/ pulg}) = 15.2497 \text{ pulg}$

De las dos longitudes (“L”) tomamos la mayor $L = 15.2497 \text{ pulg}$

Entonces tendremos una platina de $(10.4816 \times 15.2497) \text{ pulg}; t = 1/4 \text{ pulg}$

Por seguridad y comodidad para atornillar dispondremos de una platina de $12 \text{ pulg} \times 18 \text{ pulg}; t = 1/4 \text{ pulg}$

- **Diseño de unión pernada de tensores y riostras horizontales a placas**

Para los tensores fuerza $P1 = AD_{4-1} = 17.3753 \text{ kips}$

El núm. de pernos = fuerza / esfuerzo permisible a corte simple

De la tabla **1-D** del AISC ASD 9^a Edic. para los pernos de $\varnothing 5/8 \text{ pulg}$ A325, el esfuerzo permisible a corte simple es de 6.40 kips .

núm. Pernos = $17.3753 \text{ kips} / 6.40 \text{ kips} = 2.7148 \text{ pernos} \approx \mathbf{3 \text{ pernos de } 5/8 \text{ pulg por unión}}$

- **Para riostras horizontales**

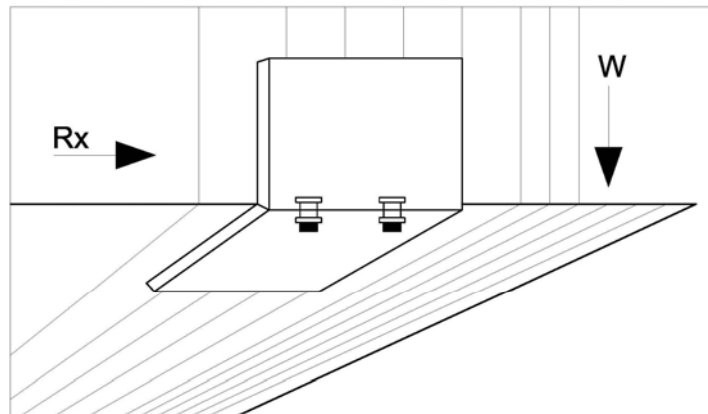
Fuerza = $P2 = RH_{4-0} = 25.2191 \text{ kips}$

núm. Pernos = $25.2191 \text{ kips} / 6.40 \text{ kips} = 3.9404 \text{ pernos} \approx \mathbf{4 \text{ pernos de } 5/8 \text{ pulg por unión}}$

- **Diseño de unión pernada del depósito con columnas**

La figura 54 muestra un detalle de la ménsula atornillada al depósito

Figura 54. Detalle de ménsula atornillada al depósito⁸⁶



Detalle de la ménsula con apoyo en el tanque (cilindro y cono inferior)

Peso del depósito lleno $W_{\text{tanque lleno}} = 236,310.00 \text{ lb} = 236.31 \text{ kips}$ ($236.31\text{kips}/ 4=$

Peso por columna = 59.0775 kips

Capacidad de soldadura = $0.707 \cdot 1/4 \cdot 0.30 \cdot 70 = 3.7117 \text{ kips-pulg.}$

Longitud de soldadura = fuerza por columna / capacidad de soldadura

Longitud de soldadura = $59.0775\text{kips} / 3.7117 \text{ kips-pulg} = 15.9165 \text{ pulg.} \approx 16 \text{ pulg.}$

Entonces tendremos una ménsula de (13 x 16)pulg ; $t = 5/8 \text{ pulg.}$ (Por seguridad).

La fuerza horizontal R_x es igual a la fuerza de corte producida por el depósito lleno respecto al punto de apoyo.

⁸⁶ Fuente: Elaboración propia

$R_x = V' \text{deposito} / 2 = (1.25 * 30.0435 \text{ kips}) / 2 = 18.7771 \text{ kips}$. De la tabla **1-D** del AISC ASD 9^a Edic. Para los pernos de $\varnothing 5/8$ pulg A325, el esfuerzo permisible a corte simple es de 6.40 kips.

núm. Pernos = fuerza / esfuerzo permisible a corte simple

núm. Pernos = $18.7771 \text{ kips} / 6.40 \text{ kips} = 2.9339$ pernos ≈ 3 pernos de $\varnothing 5/8$ pulg. por unión

Por seguridad se colocarán 4 pernos de $\varnothing 3/4$ de pulg. Por unión

5.1.8 Diseño de la cimentación

Para este diseño, nos limitaremos a datos mínimos que se deben de cumplir, dado que no es el objeto, de esta investigación su diseño, por las variables que presenta el suelo base, donde se montará la estructura. Las cimentaciones para las estructuras de tanques elevados podrán ser zapatas aisladas de sección constante o variable y losas continuas. La alternativa se escogerá con base en diversos factores, tomando en cuenta, principalmente: el valor del soporte del suelo, magnitud de cargas que actúan en la estructura, etc.

Requeriremos que esta se haga 28 días (como mínimo) antes del montaje, para este caso tendremos una zapata de 1.80m (mínimo) por lado con una parrilla de 12 varillas de $3/4$ pulg en ambos sentidos un espesor de losa mínimo de 0.30m (mínimo) con una columna de una altura mínima de 1.00m con pines de $3/4$ pulg y estribos de $3/8$ pulg con una separación de 15 cm entre estribos. Un concreto de resistencia a la compresión de $f_c = 281 \text{ Kg} / \text{cm}^2$ y para los pernos de anclaje tendremos cuatro pernos por columna de 1 pulg de diámetro por un largo de 32 pulg, estos tienen una configuración de jota (J) en la parte inferior. La platina que va a ser soldada a la parte inferior de las columnas de la torre tendrá una cuadratura mínima de (15x15) pulg. con $t = 3/4$ pulg; dependiendo del suelo- base la zapata tendrá una profundidad mínima de 1.40m. Y una sección de columna de (0.30 X 0.30) m.

Para éste diseño (de la cimentación) el lector tendrá un indicador contra lo que presenta el contratista del proyecto. (Ver detalle de la cimentación en la sección 5.1)

CONCLUSIONES

1. Para desarrollar un proyecto de abastecimiento de agua a través de la perforación de un pozo mecánico, solicitado por un organismo particular, un concejo municipal, o como requerimiento de una comunidad, se debe buscar el terreno idóneo, donde se construirá la obra, éste debe estar libre de gravámenes y con nombramiento legal de propiedad de una comunidad o municipal; así como la formalidad con respecto al paso de servidumbre, también se debe llegar a él fácilmente y que el fluido eléctrico sea accesible.
2. Para perforar un pozo mecánico es muy importante elaborar un estudio hidrogeológico, para saber si el terreno es adecuado para la explotación del agua subterránea. El agua subterránea es un recurso vital para el abastecimiento de poblaciones para consumo humano y otros usos, pareciera que es un recurso infinito; sin embargo; como todo recurso natural debe ser explotado de forma racional y dentro de los límites establecidos por las leyes de la naturaleza para su renovación y purificación; así como a su recarga hídrica de la fuente en explotación.
3. Establecer con los contratistas de pozos mecánicos el método idóneo y económico de perforación; así como la documentación de los parámetros de la formación geológica perforada, y la entrega del perfil estratigráfico del pozo. Un buen perfil estratigráfico nos proporcionará los parámetros necesarios para seleccionar el sistema adecuado de bombeo y de controles eléctricos y/o electrónicos del pozo.
4. Los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de la calidad del agua para consumo humano se deben establecerse desde un inicio y un monitoreo constante nos dará la seguridad de su abastecimiento seguro.

5. Con un mantenimiento periódico adecuado al pozo mecánico se podrá solucionar los problemas de sedimentación de materiales en el fondo; así como de las incrustaciones en la rejilla que obstruyen el paso del agua.
6. Un adecuado uso de las tarjetas de control, tanto los parámetros de la calidad del agua como en los controles del fluido eléctrico el cual nos dará un margen más amplio de la vida útil del pozo y del sistema de bombeo, evitándonos un eminente colapso de un paro imprevisto.
7. El diseño adecuado del tanque metálico aéreo de captación de agua y de la estructura de la torre nos permitirán abastecer a una población del vital líquido sin ningún problema.
8. Para los contratos de perforación, equipamiento del pozo, y la construcción del tanque-estructura de la torre, se debe tomar en cuenta a las empresas que tengan la experiencia comprobada en cada ramo, para garantizarnos el desembolso de la inversión.

RECOMENDACIONES

1. Cuando una organización habilita un pozo mecánico, es necesario tomar conciencia sobre el uso racional del agua. Debiendo ejecutar obra social-ambiental respecto a nuestro entorno y promover la siembra de árboles en áreas de laderas de montaña, del tal forma que sea propicio el ciclo de recarga hídrica del subsuelo, tomando en cuenta el radio de influencia del pozo y/o de los pozos vecinos.
2. La limpieza de los pozos mecánicos debe de realizarse como mínimo a cada dos años, debido a las incrustaciones (o costras) que algunos minerales provocan en las rejillas filtrantes de las camisas del pozo que obstaculizan el paso del agua.
3. Se debe de colocar un sello sanitario como mínimo a cinco pies por debajo del cabezal de descarga del pozo, evitando de esta forma la infiltración de aguas contaminadas de otras formaciones, que nos puedan contaminar el acuífero.
4. Es necesaria la implementación de registros para documentar la calidad del agua como mínimo cada tres meses, evitando una eventual sorpresa de contaminación del agua de consumo humano.
5. Para tener un margen de vida útil del pozo es indispensable que se tenga el monitoreo mensual de los parámetros de la producción del pozo, los registros del nivel estático y dinámico; así como los efectos de variación del fluido eléctrico.
6. Se debe de dar capacitación a los que tendrán a su cargo la operación y guardiana del pozo, dado que las eventualidades de un paro imprevisto en los sistemas de control automático, se dañen, éstos se puedan pasar a la modalidad de operación manual, se permita el tiempo de respuesta de la unidad técnica correspondiente.

7. Es necesaria la supervisión de la entrega del conjunto del tanque metálico, su estructura, verificando que los materiales sean nuevos y de las especificaciones establecidas.
8. Se debe de supervisar los trabajos de cimentación de la torre, ya que esta soportará el peso de todo el conjunto, es decir con el tanque lleno de agua.
9. Es indispensable que se busque el asesoramiento de las empresas que tienen a su cargo la comercialización de sistemas de bombeo y de equipamiento de pozos mecánicos, de esta forma tendremos elementos de índole económica, calidad y servicio, para decidirnos en la contratación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aragón Loyo, Elmer Emilio. Método de mantenimiento por aire comprimido para pozos de extracción de agua subterránea. Trabajo de graduación de ingeniería civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 105 pág.
2. Barrios Valentín, Pedro Manuel. Descripción de los métodos más comunes de perforación de pozos para abastecimiento de agua. Trabajo de graduación de ingeniería civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 94 pág.
3. Berkeley Engineering Manual, Delavan Wisconsin U.S.A.: Febrero 2002.
4. Biblioteca Encarta. Microsoft Corporation 2006.
5. Bran Guzmán, José Luis. Consideraciones técnicas y económicas para el diseño de un equipo de bombeo sumergible, para ser instalado en un pozo mecánico. Trabajo de graduación de ingeniería mecánica-industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 116 pág.
6. Bran Palomo, Ronny Ramiro. Análisis Comparativo de costos entre torres con juntas soldadas y torres con junta pernadas, para tanques elevados en acero. Trabajo de graduación de ingeniería civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 116 pág.
7. Castany G. Tratado practico de las aguas subterráneas. Barcelona España: Editorial OMEGA S.A., 1997. 588 pág.

8. Agua potable, especificaciones. Comisión guatemalteca de normas (COGUANOR). Ministerio de Economía Centro nacional de Metrología.
9. Culajay González, Flor de Maria. Determinación de humedades en los suelos utilizando un sistema de generación de microondas. Trabajo de graduación de ingeniería civil .Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 116 Pág.
10. Decreto Ley código civil. Nueva edi. Actualizadas y con sus reformas incluidas. Guatemala: Editorial Ayala Jiménez sucesores. 2006. 267 pág.
11. Echeverría Solís, Antonio de Jesús. Perforación de pozo mecánico calculo e instalación del sistema de bombeo para la aldea Buena Vista Chinautla Guatemala. Trabajo de graduación de ingeniería mecánica. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Faculta de Ingeniería, 2006. 85 pág.
12. Espinoza Rodríguez, Jimmy Eduardo. Mejoramiento del factor de potencia de los pozos penalizados, de la empresa municipal de agua de la ciudad de Guatemala. Trabajo de graduación de ingeniería eléctrica. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Faculta de Ingeniería, 2006. 174 pág.
13. Estructura interna de la tierra. Unidad de investigación y servicios geofísicos. Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Guatemala: 2006. 19 pág.
14. Jonson Edgar E. El agua subterránea y los pozos. Sain Paul Minnesota U.S.A. : Publicación de Jonson Division, 1975. 116 pág.
15. Legget Robert F. y Paul F. Karrot. Geologia aplicada a la ingeniería civil. 3era ed. México: editorial Mc. Graww Hill, 1986. 425 pág.

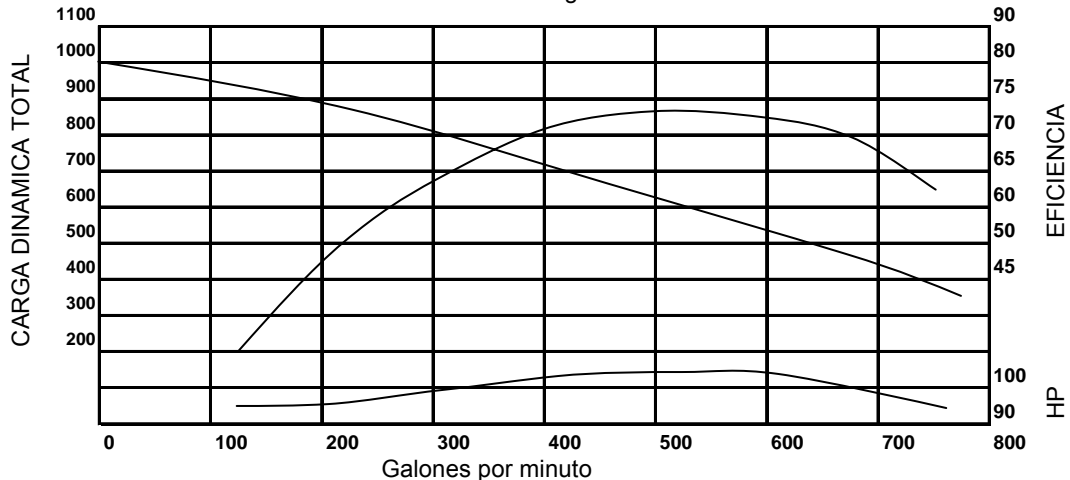
16. Manual de soldadura SEA-SOA bloque básico, aprendizaje-habilitación nivel operativo. Guatemala: Instituto de capacitación y productividad (INTECAP), 1985. 96 pág.
17. Marks, Lionel. Manual del ingeniero Mecánico. 8ava edi. Vol. I-III. México: editorial Mc. Graw Hill Interamericana, 1994.
18. Megyesy Eugene F. Manual de recipientes sometidos a presión diseño y calculo. México: Editorial LIMUSA, 1998 532 pág.
19. Monroy González, Luis Enrique. Evaluación y complemento de estudio hidrogeológico de Mixto a través de la perforación de pozos profundos en sectores específicos del municipio. Trabajo de graduación de ingeniería civil .Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 124 Pág.
20. Nash William. Resistencia de materiales. 2da edi. México editorial Mc. Graw Hill 1980. 299 pág.
21. Normas para postular proyectos de inversión, y manual de formulación y evaluación de proyectos. Secretaria de Planificación y Programación (SEGEPLAN), presidencia de la republica de Guatemala. C.A. 2006. 76 pág.
22. Ortega Zelada, Víctor Aron. Diseño y selección de equipos de bombeo para agua accionado por motores eléctricos. Trabajo de graduación de ingeniería eléctrica. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 116 Pág.
23. Popov, Egor P. Introducción a la mecánica de sólidos. México: Editorial LIMUSA, 1982. 652 pág.

24. Saldarriaga V., Juan G. Hidráulica de tuberías. 3era edi. Colombia: Editorial Mc. Graw Hill, 2001. 260 pág.
25. Singer L Ferdinand y Andrew Pytel. Resistencia de materiales. 3era edi. México: Editorial HARLA, 1982. 560 pág.
26. Vélez Mathurin, Juan Carlos. Optimo equipamiento de pozos mecánicos para la explotación de agua subterránea, de acuerdo a su requerimiento. Trabajo de graduación de ingeniería civil .Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 126 Pág.
27. WCS-WELL SCHOOL. Tecnología básica de perforación. Harvey L.A. U.S.A. 2000. 145 pág.

A N E X O S

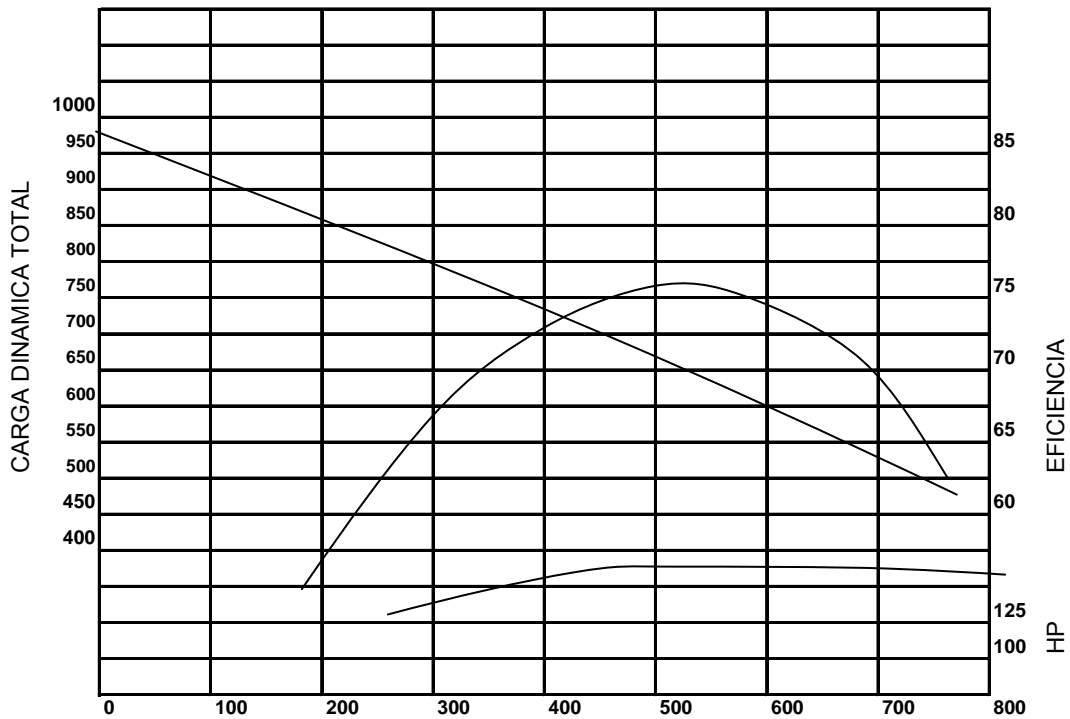
- Gráficas de curvas de bombas
- Tablas
- Planos

Gráfica 1: Carga-Caudal



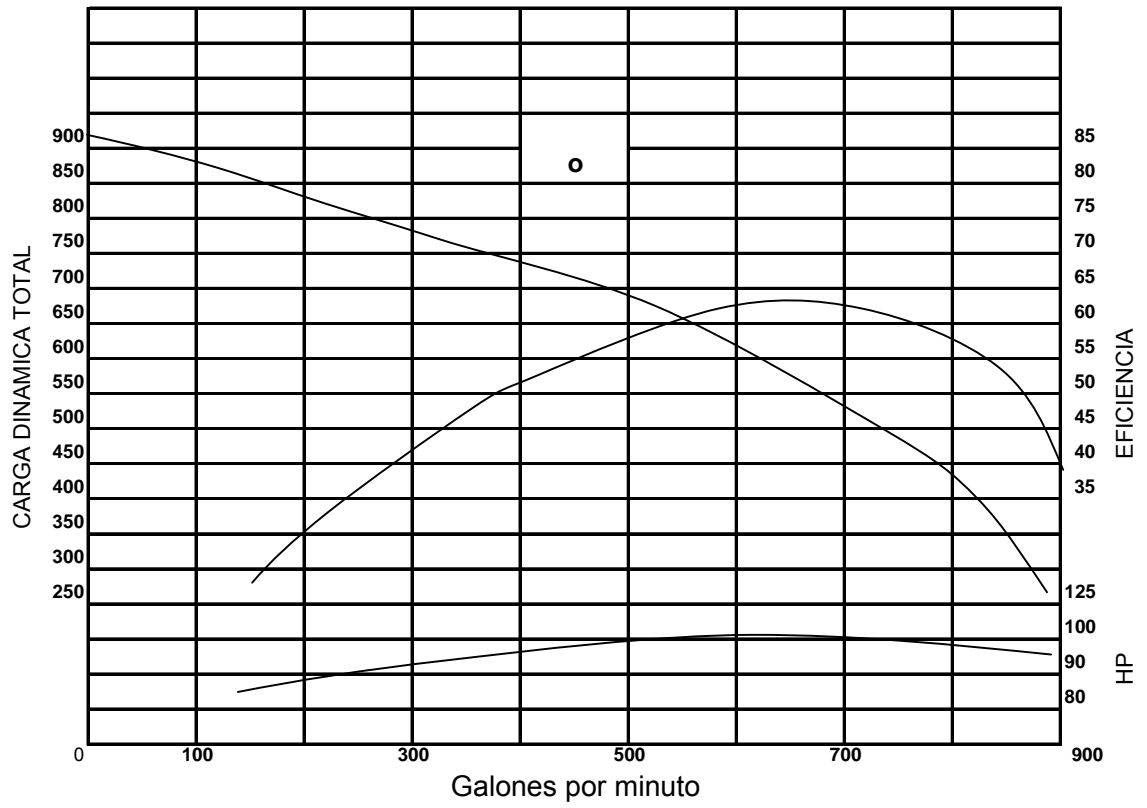
Fuente: Berkeley Electronic Catalog

Gráfica: 2 Carga- Caudal

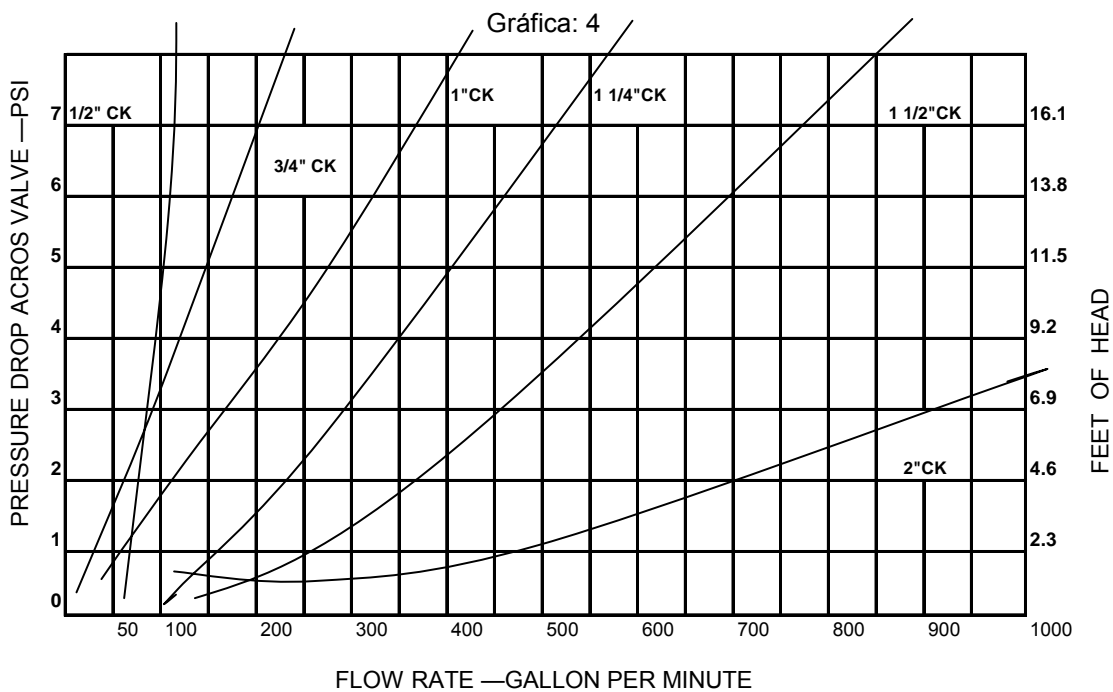


Fuente: Berkeley Electronic Catalog

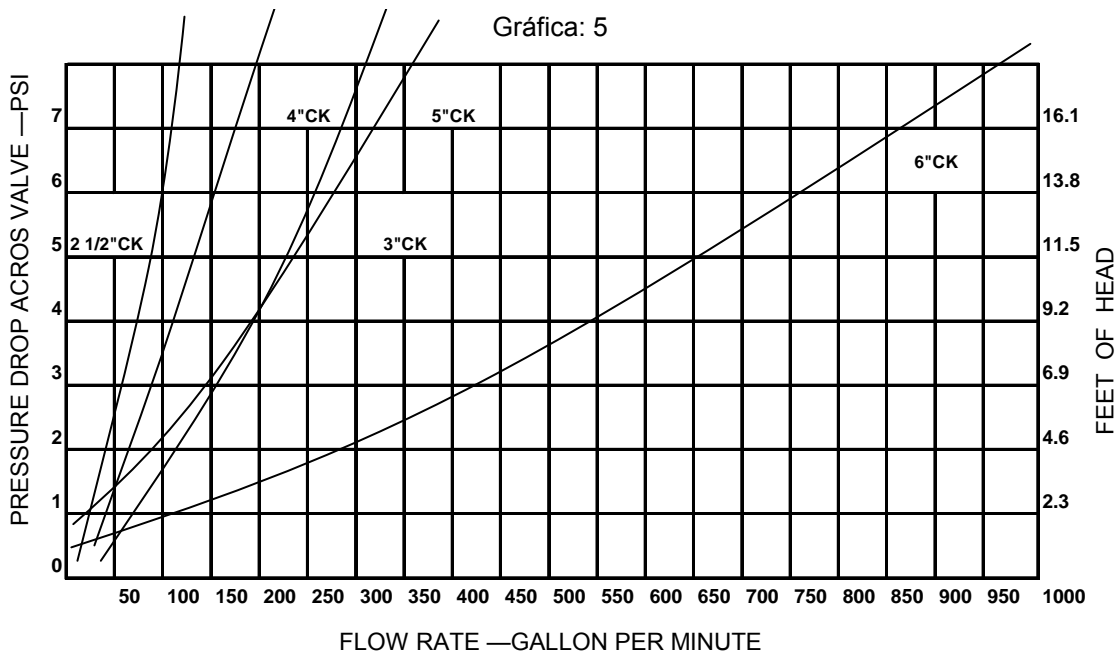
Gráfica: 3 Carga-Caudal



Fuente: Berkeley Electronic Catalog



Fuente:
Glenn Hellyn, Manual de Bombas de agua Sumergibles Grandes, pág. 64

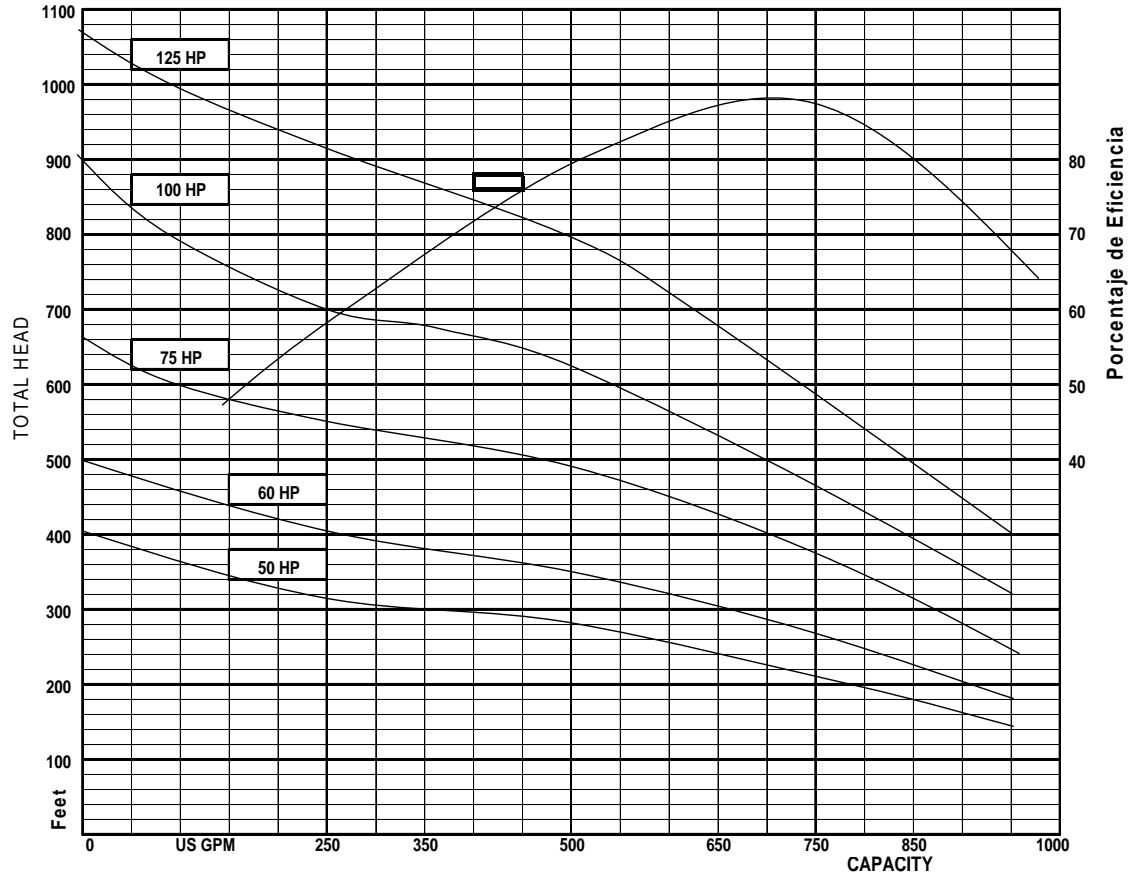


Fuente:
Glenn Hellyn, Manual de Bombas de agua Sumergibles Grandes, pág. 64

Gráfica 6

SUBMERSIBLE TURBINE -PUMPS-

Nominal RPM. 3450 Based on Fresh Water @ 68° F Maximun Working Presure 510 PSI



Fuente: Berkeley Electronic Catalog Pag. 26.03

TABLA XXXIV

PERDIDA DE FRICCIÓN EN TUBOS

Esta tabla proporciona la velocidad en pies/seg. Y la pérdida de altura de carga en pies por c/100 pies de tubería para el agua que fluye a través de una tubería de plástico cedula 40

Galones por min.	1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"		2"		2 1/2"		3"		3 1/2"		4"	
	Velo- cidad	pre- sión	Velo- cidad	pre- sión	Velo- cidad	pre- sión	Velo- cidad	pre- sión	Velo- cidad	pre- sión	Velo- cidad	pre- sión	Velo- cidad	pre- sión	Velo- cidad	pre- sión	Velo- cidad	pre- sión	Velo- cidad	pre- sión
2	2,10	3,47	1,20	0,89																
4	4,23	12,7	2,23	3,29	1,49	1,01	0,86	0,27	0,63	0,12										
6	6,34	26,8	3,61	6,91	2,23	2,14	1,29	0,57	0,94	0,26	0,57	0,09								
8	6,45	46,1	4,62	11,60	2,98	3,68	1,72	0,95	1,26	0,45	0,77	0,16	0,52	0,05						
10	10,6	69,10	6,02	17,90	3,72	5,50	2,14	1,44	1,57	0,67	0,96	0,24	0,65	0,08	0,43	0,03				
12			7,22	24,90	4,46	7,71	2,57	3,02	1,89	0,94	1,15	0,37	0,78	0,11	0,52	0,05				
15		TUBO	9,02	37,60	5,60	11,80	3,21	3,05	2,36	1,41	1,50	0,51	0,98	0,17	0,65	0,07	0,49	0,03		
18		DE	10,80	50,90	6,69	16,50	3,86	47,28	2,83	1,99	1,72	0,70	1,18	0,24	0,78	0,10	0,58	0,04		
20		5"	12,00	63,90	7,40	19,70	4,29	5,21	3,15	2,44	2,01	0,86	1,31	0,29	0,87	0,12	0,65	0,05	0,51	0,03
25						30,10	5,36	7,80	3,80	3,43	2,50	1,28	1,63	0,43	1,09	0,18	0,81	0,08	0,64	0,04
30	0,49	0,02			9,30	41,80	6,43	10,80	4,72	5,17	2,89	0,18	1,96	0,61	1,30	0,25	0,97	0,11	0,77	0,16
35	0,57	0,03			11,15	55,90	7,51	14,70	5,51	6,91	3,35	2,40	2,35	0,81	1,52	0,33	1,14	0,15	0,89	0,08
40	0,65	0,04			13,02	71,40	8,58	18,80	6,30	6,83	3,82	3,10	2,68	1,03	1,74	0,43	1,30	0,19	1,02	0,10
45	0,73	0,05			14,88		9,65	23,50	7,08	10,90	4,30	3,85	3,02	1,32	1,95	0,54	1,46	0,24	1,15	0,13
50	0,82	0,06	0,57	0,02	16,70		10,72	28,20	7,87	13,30	4,78	4,65	3,35	1,56	2,17	0,65	1,62	0,29	1,28	0,16
55	0,90	0,07	0,62	0,03			11,78	33,80	8,66	16,00	5,26	5,55	3,69	1,88	2,39	0,74	1,70	0,34	1,41	0,19
60	0,98	0,08	0,68	0,04			12,87	40,00	9,44	16,60	5,74	6,53	4,02	2,19	2,60	0,90	1,95	0,40	1,53	0,22
65	1,06	0,09	0,74	0,05			13,92	46,70	10,23	21,60	6,21	7,56	4,36	2,53	2,82	1,02	2,00	0,47	1,66	0,25
70	1,14	0,10	0,79	0,06			15,01	53,10	11,02	24,90	6,69	8,40	4,69	2,91	3,04	1,21	2,27	0,54	1,79	0,30
75	1,22	0,11	0,85	0,07			16,06	60,60	11,80	28,20	7,17	9,82	5,03	3,33	3,25	1,41	2,32	0,60	1,91	0,34
80	1,31	0,13	0,91	0,08			17,16	68,20	12,69	32,00	7,56	11,10	5,36	3,71	3,49	1,54	2,60	0,69	2,04	0,38
85	1,39	0,15	0,96	0,09			18,21	77,00	13,38	35,30	8,13	12,50	5,70	3,81	3,69	1,66	2,62	0,76	2,17	0,42
90	1,47	0,16	1,02	0,10			19,30	84,60	14,71	39,50	8,61	13,80	6,03	4,61	3,91	1,92	2,92	0,85	2,30	0,47
95	1,55	0,18	1,08	0,11					14,95	43,70	9,08	15,30	6,37	5,07	4,12	2,04	2,93	0,96	2,42	0,53
100	1,63	0,19	1,13	0,12					15,74	47,90	9,56	16,80	6,70	5,64	4,34	2,33	3,25	1,03	2,55	0,57
110	1,79	0,23	1,25	0,13					17,31	57,30	10,50	20,20	7,37	6,81	4,77	2,82	3,57	1,25	2,81	0,69
120	1,96	0,27	1,36	0,14					18,89	67,20	11,50	23,50	8,04	7,89	5,21	3,29	3,99	1,45	3,06	0,80
130	2,12	0,31	1,47	0,15					20,46	78,00	12,40	27,30	8,71	8,79	5,64	4,22	4,62	1,68	3,31	0,93
140	2,29	0,36	1,59	0,16					22,04	89,30	13,40	31,50	9,38	10,50	6,08	4,32	4,54	1,93	3,57	1,07
150	2,45	0,41	1,70	0,17	0,90	0,04			23,60		14,30	35,70	10,00	12,00	6,51	4,93	4,87	2,19	3,82	1,23
160	2,61	0,46	1,80	0,19	1,02	0,05					15,30	40,40	10,70	13,60	6,94	5,54	5,19	2,47	4,08	1,37
170	2,77	0,51	1,92	0,21	1,08	0,05					16,30	45,10	11,40	16,00	7,36	6,25	5,52	2,75	4,33	1,53
180	2,94	0,57	2,04	0,24	1,15	0,06					17,20	50,30	12,10	16,80	7,51	6,58	5,85	3,01	4,60	1,70
190	3,10	0,63	2,16	0,26	1,21	0,07					18,20	55,50	12,70	18,60	8,24	7,28	6,17	3,39	4,84	1,80
200	3,27	0,70	2,27	0,29	1,28	0,07					19,10	60,60	13,40	20,30	8,68	8,36	6,50	3,73	5,11	2,06
220	3,59	0,83	2,44	0,34	1,40	0,08	0,90	0,03			21,00	72,40	14,70	24,90	9,55	10,00	7,14	4,45	5,62	42,44
240	3,92	0,98	2,67	0,41	1,53	0,10	0,98	0,03			22,90	85,50	16,10	28,70	10,40	11,80	7,79	5,22	6,13	2,91
260	4,25	1,13	2,89	0,47	1,65	0,12	1,06	0,04			24,90	99,20	17,40	33,00	11,30	13,70	8,44	6,07	6,64	3,28
280	4,50	1,30	3,11	0,54	1,79	0,13	1,15	0,04					18,50	38,10	12,20	15,70	9,09	6,95	7,15	3,85
300	4,90	1,48	3,33	0,62	1,91	0,15	1,22	0,05					20,10	43,20	13,00	17,90	9,74	7,90	7,66	4,37
320	4,13	1,66	3,56	0,69	2,05	0,17	1,31	0,06					21,60	48,40	13,90	20,10	10,40	8,55	8,17	4,93
340	5,44	1,97	3,78	0,76	2,18	0,19	1,39	0,07					22,90	54,50	14,50	22,50	11,00	9,96	8,58	5,50
360	5,77	2,07	4,00	0,86	2,30	0,21	1,47	0,07					24,20	60,20	15,60	24,90	11,70	11,00	9,10	6,15
380	6,19	2,28	4,22	0,94	2,43	0,24	1,55	0,08	1,08	0,03			25,60	66,70	16,50	27,70	12,30	12,20	9,59	6,58
400	6,44	2,50	4,43	1,03	2,60	0,25	1,63	0,09	1,14	0,04			26,80	73,30	17,40	30,60	13,00	13,40	10,10	7,52
450	7,20	3,10	5,00	1,29	2,92	0,32	1,84	0,11	1,28	0,05					19,50	36,70	13,90	16,70	11,49	9,31
500	8,02	3,80	5,56	1,36	3,19	0,39	2,04	0,13	1,42	0,05					21,70	46,10	16,20	20,30	12,60	11,30
550	8,52	4,50	6,11	1,56	3,52	0,46	2,24	0,16	1,56	0,06					23,90	55,00	17,90	24,30	13,00	13,50
600	9,62	5,30	6,65	2,19	3,85	0,54	2,45	0,18	1,70	0,07					26,00	64,40	19,50	28,50	15,10	15,80
650	10,40	6,20	7,22	2,53	4,16	0,63	2,65	0,21	1,84	0,09					28,20		21,10	33,00	16,40	18,30
700	11,02	7,10	7,76	2,92	4,40	0,72	2,86	0,24	1,99	0,10							22,30	32,90	17,50	21,10
750	12,00	8,10	8,34	3,35	4,80	0,82	3,06	0,28	2,13	0,11							24,40	43,00	18,90	24,00
800	12,80	9,10	8,90	3,74	5,10	0,89	3,26	0,31	2,27	0,13							26,00	48,40	20,20	26,80
850	13,60	10,20	9,45	4,21	5,48	1,03	3,47	0,35	2,41	0,15							27,60	54,10	21,40	30,10
900	14,40	11,30	10,00	4,71	5,75	1,16	3,67	0,39	2,56	0,16								60,00	22,70	33,40
950	15,20	12,50	10,50	5,26	6,06	1,35	3,68	0,43	2,70	0,18										
1000	16,00	13,70	11,10	5,66	6,38	1,40	4,08	0,48	2,84	0,19										
1100	17,60	16,40	12,20	6,54	7,03	1,65	4,49	0,56	3,13	0,23										
1200	19,61	19,20	13,30	8,04	7,66	1,96	4,90	0,66	3,41	0,27										
1300	20,80	-	14,40	8,60	8,30	2,28	5,31	0,76	3,69	0,31										

Los datos que se muestran están calculados de la formula de William y Hazen; H = 3.023; C1.852; D1.67 y V = 1.852 usando C = 150 para agua a 60° F; donde: H = pérdida de carga debido a la altura; V = velocidad del fluido en pies/seg.; D = diámetro del tubo en pies C = coeficiente que representa la rugosidad interna del tubo.

TABLA XXXV

PÉRDIDA DE FRICCIÓN EN TUBERÍA SUMERGIDA

Caudal en ga- lones por minuto	Fricción causada por el paso del agua; en tubo de acero nuevo 5 pulgadas por 100 pies						Fricción causada por el paso del agua; en tubo de acero nuevo 6 pulgadas por 100 pies					
	hierro sumergido			hierro sumergido			hierro sumergido			hierro sumergido		
	5" tubería (5.047" I.D.)			5" O.D. tubería (4.813" I.D.)			6" tubería (6.065" I.D.)			6" O.D. tubería (5.761" I.D.)		
	velo- cidad en pies /seg	Carga de velo- cidad en pies	Pérdida de altura por 100 pies	velo- cidad en pies /seg	Carga de velo- cidad en pies	Pérdida de altura por 100 pies	velo- cidad en pies /seg	Carga de velo- cidad en pies	Pérdida de altura por 100 pies	velo- cidad en pies /seg	Carga de velo- cidad en pies	Pérdida de altura por 100 pies
30	461	0,004	0,024	53	00	0,030						
40	641	0,006	0,040	71	01	0,051						
50	802	0,010	0,050	88	01	0,075	0,57	0,005	0,027	0,56	0,005	0,025
60	962	0,014	0,083	1,06	0,02	0,105	0,68	0,007	0,038	0,67	0,007	0,034
70	1,12	0,020	0,110	1,23	0,02	0,138	0,79	0,010	0,048	0,78	0,009	0,045
80	1,28	0,026	0,140	1,41	0,03	0,176	0,91	0,013	0,062	0,89	0,012	0,057
90	1,44	0,032	0,173	159	0,04	0,218	1,02	0,016	0,077	1,00	0,016	0,071
100	1,60	0,040	0,210	1,76	0,05	0,265	1,13	0,020	0,094	1,11	0,019	0,086
120	1,92	0,058	0,293	2,11	0,07	0,370	1,36	0,029	0,132	1,33	0,028	0,120
140	2,25	0,078	0,389	2,47	0,09	0,491	1,59	0,039	0,176	1,55	0,038	0,158
160	2,57	0,102	0,480	2,82	0,12	0,607	1,82	0,051	0,226	1,78	0,049	0,202
180	2,89	0,129	0,596	3,17	0,16	0,757	2,04	0,065	0,283	2,00	0,062	0,251
200	3,21	0,160	0,726	3,52	0,19	0,922	2,27	0,080	0,346	2,22	0,077	0,304
220	3,53	0,193	0,870	3,88	0,23	1,10	2,5	0,097	0,415	2,44	0,093	0,363
240	3,85	0,230	1,03	4,23	0,28	1,30	2,72	0,115	0,490	2,66	0,110	0,411
260	4,17	0,270	1,19	4,58	0,33	1,51	2,95	0,135	0,571	2,89	0,130	0,477
280	4,49	0,313	1,37	4,94	0,38	1,74	3,18	0,157	0,658	3,11	0,150	0,548
300	4,81	0,360	1,56	5,29	0,43	1,99	3,40	0,180	0,752	3,33	0,172	0,624
320	5,13	0,409	1,77	5,64	0,49	2,25	3,63	0,205	0,851	3,55	0,196	0,705
340	5,45	0,462	1,98	5,99	0,56	2,52	3,86	0,231	0,957	3,78	0,222	0,790
360	5,77	0,581	2,21	6,35	0,63	2,81	4,08	0,259	1,07	4,00	0,24	0,880
380	6,09	0,577	2,45	6,70	0,70	3,12	4,31	0,289	1,19	4,22	0,277	0,975
400	6,41	0,939	2,71	7,05	0,77	3,44	4,54	0,320	1,31	4,44	0,307	1,07
420	6,74	0,705	2,97	7,40	0,85	3,78						
440	7,06	0,774	3,25	7,76	0,94	4,13						
450							5,10	0,403	1,65	5,00	0,388	1,34
460	7,38	0,846	3,54	8,11	1,02	4,50						
480	7,70	0,921	3,64	8,46	1,11	4,88						
500	8,02	0,999	4,15	8,82	1,21	5,28	5,67	0,500	2,02	5,55	0,479	1,64
550	8,82	1,21	4,99	9,70	1,46	6,35	6,24	0,605	2,44	6,11	0,58	1,97
600	9,62	1,44	5,90	10,6	1,7	7,51	6,81	0,720	2,89	6,66	0,69	2,33
650	10,40	1,69	6,89	11,5	2,1	8,77	7,37	0,845	3,38	7,22	0,81	2,71
700	11,20	1,96	7,95	12,3	2,4	10,1	7,94	0,980	3,9	7,77	0,939	3,13
750	12,00	2,25	9,09	13,2	2,7	11,6	8,51	1,12	4,47	8,33	1,08	3,57
800	12,80	2,56	10,30	14,1	3,1	13,1	9,08	1,28	5,07	8,88	1,23	4,04
850	13,60	2,89	11,6	15,0	3,5	14,8	9,64	1,44	5,72	9,44	1,38	4,55
900	14,40	3,24	13,0	15,9	3,9	16,5	10,2	1,62	6,4	9,99	1,55	5,08
950	15,20	3,61	14,4	16,7	4,3	18,4	10,8	1,80	7,11	10,5	1,73	5,64
1000	16,00	4,00	15,9	17,6	4,8	20,3	11,3	2,00	7,87	11,1	1,92	6,23
1100	17,60	4,84	19,2	19,4	5,8	24,5	12,5	2,42	9,5	12,2	2,32	7,49
1200	19,20	5,76	22,7	21,1	6,9	29,0	13,6	2,88	11,3	13,3	2,76	8,87
1300	20,80	6,75	26,6	22,9	8,2	34,0	14,7	3,38	13,2	14,4	3,24	10,4
1400	22,50	7,83	30,7	24,7	9,5	39,3	15,9	3,92	15,3	15,5	3,76	12
1500	24,10	8,99	35,2	26,4	10,8	45,0	17,0	4,50	17,5	16,7	4,31	13,7
1600	25,70	10,20	40,0	28,2	12,4	51,1	18,2	5,12	19,9	17,8	4,91	15,6
1700	27,30	11,60	45,1	30,0	14,0	57,6	19,3	5,78	22,4	18,9	5,54	17,5
1800							20,4	6,48	25,1	20,0	6,21	19,6
1900							21,6	7,22	28,0	21,1	6,91	21,8
2000							22,7	8,00	31,0	22,2	7,67	24,1
2200							25,0	9,68	37,4	24,4	9,27	29,1
2400							27,2	11,5	44,5	26,6	11,0	34,5

D.I. = diámetro interno; O.D. = diámetro externo.

Se presentan un mismo diámetro externo, solo que con distintos diámetros internos es decir; con distinto espesor de material.

Fuente: Glenn Hellin, Manual de Bombas de Agua Sumergibles Grandes, Página 53
Tablas equivalentes. Fuente: Manual de Ingeniería de Bombas Berkeley, paginas 3 y4

TABLA XXXVI

TABLA PARA MOTORES TRIFÁSICOS (60HZ)

Cable Trifásico de 60 Hz (Disyuntor al motor) Máxima longitud en pies																				
Capacidad del motor		(AWG) Tamaño del alambre de cobre																		
voltaje	HP	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
200 voltios 60 Hz Trifásico Tres Alambres	1/2	710	1140	1800	2840	4420														
	3/4	510	810	1280	2030	3160														
	1	430	690	1080	1710	2670	4140	5140												
	1 1/2	310	500	790	1260	1960	3050	3780												
	2	240	390	610	970	1520	2360	2940	3610	4430	5420									
	3	180	290	470	740	1160	1810	2250	2760	3390	4130									
	5	110	170	280	440	690	1080	1350	1660	2040	2490	3050	3670	4440	5030					
	7 1/2	0	0	200	310	490	770	960	1180	1450	1770	2170	2600	3150	3560					
	10	0	0	150	230	370	570	720	880	1090	1330	1640	1970	2390	2720	3100	3480	3800	4420	
	15	0	0	0	160	250	390	490	600	740	910	1110	1340	1630	1850	2100	2350	2570	2380	
	20	0	0	0	0	190	300	380	460	570	700	860	1050	1270	1440	1650	1850	2020	1900	
	25	0	0	0	0	0	240	300	370	460	570	700	840	1030	1170	1330	1500	1640	1590	
	30	0	0	0	0	0	200	250	310	380	470	580	700	850	970	1110	1250	1360		
	230 voltios 60 Hz Trifásico Tres Alambres	1/2	930	1490	2350	3700	5760	8910												
3/4		670	1080	1700	2580	4190	6490	8060	9860											
1		560	910	1430	2260	3520	5460	6780	8290											
1 1/2		420	670	1060	1670	2610	4050	5030	6160	7530	9170									
2		320	510	810	1280	2010	3130	3890	4770	5860	7170	8780								
3		240	390	620	990	1540	2400	2980	3660	4480	5470	6690	8020	9680						
5		140	230	370	590	920	1430	1790	2190	2690	3290	4030	4850	5870	6650	7560	8460	9220		
7 1/2		0	160	260	420	650	1020	1270	1560	1920	2340	2870	3440	4160	4710	5340	5970	8500	7510	
10		0	0	190	310	490	460	950	1170	1440	1760	2160	2610	3160	3590	4100	4600	5020	5840	
15		0	0	0	210	330	520	650	800	980	1200	1470	1780	2150	2440	2780	3110	3400	3940	
20		0	0	0	160	250	490	500	610	760	930	1140	1380	1680	1910	2180	2450	2680	3120	
25		0	0	0	0	200	320	400	500	610	750	920	1120	1360	1540	1760	1980	2160	2520	
30		0	0	0	0	0	260	330	410	510	620	760	930	1130	1280	1470	1650	1800	2110	
460 voltios 60 Hz Trifásico Tres Alambres		1/2	3770	6020	9460															
	3/4	2730	4350	6850																
	1	2300	3670	5770	9070															
	1 1/2	1700	2710	4270	6730															
	2	1300	2070	3270	5150	8050														
	3	1000	1600	2520	3970	6200														
	5	590	950	1500	2360	3700	5750													
	7 1/2	420	680	1070	1690	2640	4100	5100	6260	7680										
	10	310	500	790	1250	1960	3050	3800	4690	5750	7050									
	15	0	300	540	850	1340	2090	2600	3200	3930	4810	5900	7110							
	20	0	0	410	650	1030	1610	2000	2470	3040	3730	4580	5530							
	25	0	0	330	530	830	1300	1620	1990	2450	3010	3700	4470	5430						
	30	0	0	270	430	680	1070	1330	1640	2030	2490	3060	3700	4500	5130	5860				
	40	0	0	0	320	500	790	980	1210	1490	1830	2250	2710	3290	3730	4250				
	50	0	0	0	0	410	640	800	980	1210	1480	1810	2190	2650	3010	3420	3830	4180	4850	
	60	0	0	0	0	0	540	670	830	1020	1250	1540	1850	2240	2540	2890	3240	3540		
	75	0	0	0	0	0	440	550	680	840	1030	1260	1520	1850	2100	2400	2700	2950	3440	
	100	0	0	0	0	0	0	0	500	620	7600	940	1130	1380	1560	1790	2010	2190	2550	
	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600	740	890	1000	1220	1390	1560	1700	1900	
	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	630	760	920	1050	1190	2010	1460	1690	
175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	670	810	930	1060	1560	1300	1510		
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	590	710	810	920	1340	1130	1310		

Fuente: Manual de Motores Sumergible Franklin Electric, Página 13

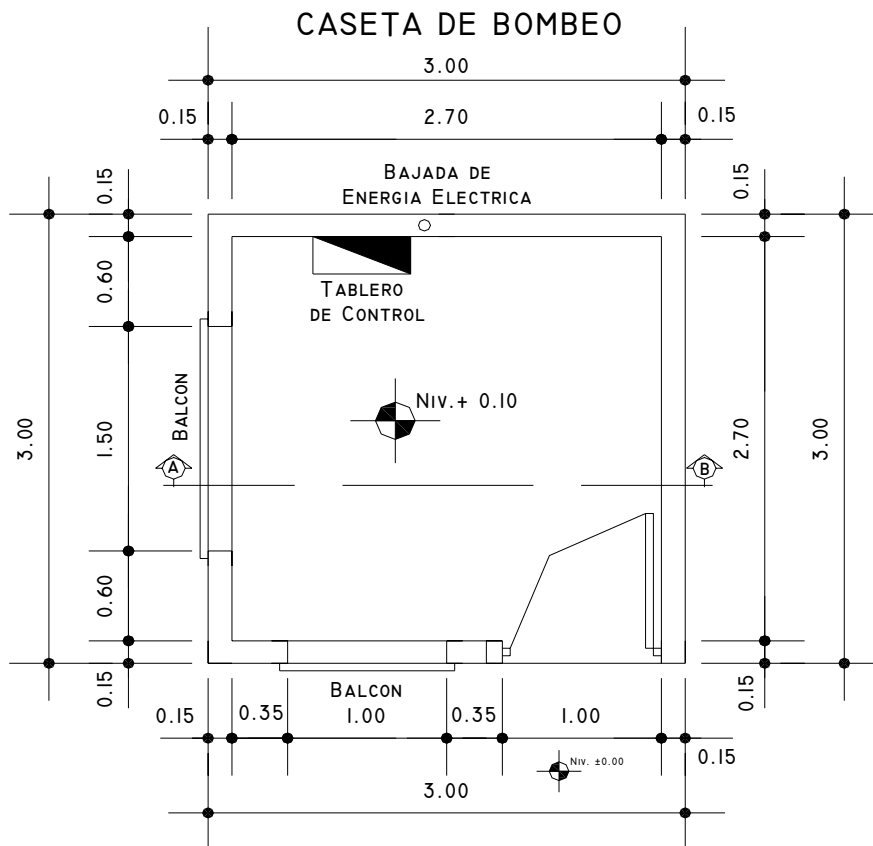
TABLA XXXVIII

ESPECIFICACIONES DEL MOTOR TRIFÁSICO (60 HZ)

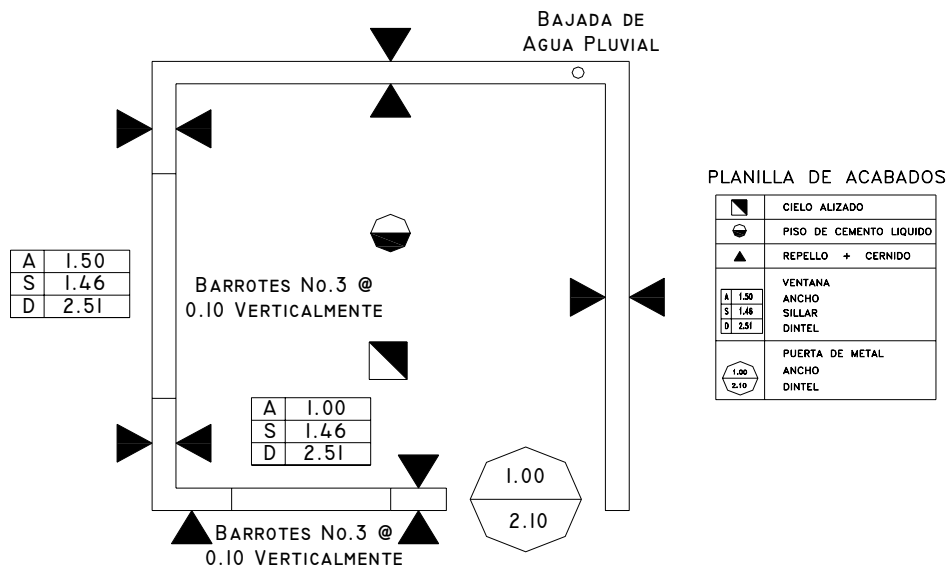
Prefijo del modelo del motor	HP	Voltios	HZ	S.F.	Capacidad de entrada		Máximo Factor de servicio	Carga Voltios	línea a línea Resistencia	Eficiencia %			Factor de Potencia %			Corriente Rotor Trabado Amperios	Código KVA	Amperaje de Interruptor o Fusibles	
					Amperios	Voltios				Amperios	Volts	Factor de Servicio	A Plena Carga	A 3/4 Servicio	A Plena Carga			A 3/4 Servicio	Sid.
8 Pulgadas																			
2391606	40	380	60	1.5	64.0	37000	73.0	42000	0.18 - 0.20	82.0	81.3	79.3	87.3	86.4	83.7	394.0	H	200	80
2391006	40	460	60	1.5	53.0	37000	60.0	42000	0.264 - 0.292	82.0	81.3	79.3	87.3	86.4	83.7	342.0	H	175	70
2391106	40	575	60	1.5	42.4	37000	48.0	42000	0.424 - 0.468	82.0	81.3	79.3	87.3	86.4	83.7	274.0	H	125	70
2391617	50	380	60	1.5	78.0	44000	48.0	51000	0.13 - 0.15	84.4	84.0	82.5	85.5	84.5	81.0	586.0	J	250	100
2391016	50	460	60	1.5	66.0	44000	88.0	51000	0.194 - 0.216	84.4	84.0	82.5	85.5	84.5	81.0	433.0	H	200	90
2391116	50	575	60	1.5	52.8	44000	75.0	51000	0.300 - 0.332	84.4	84.0	82.5	85.5	84.5	81.0	346.0	H	150	70
2391626	60	380	60	1.5	94.0	53000	60.0	61000	0.10 - 0.113	85.5	85.0	83.5	87.5	86.7	83.6	760.0	K	300	125
2391026	60	460	60	1.5	77.0	53000	108.0	61000	0.150 - 0.166	85.5	85.0	83.5	87.5	86.7	83.6	560.0	J	225	100
2391126	60	575	60	1.5	61.6	53000	89.0	61000	0.240 - 0.268	85.5	84.0	83.5	87.5	86.7	83.6	448.0	J	200	80
2391636	75	380	60	1.5	118.0	66000	71.2	76000	0.677 - 0.719	85.0	83.6	81.1	86.0	82.7	952.0	J	350	150	
2391036	75	460	60	1.5	97.0	66000	134.0	76000	0.114 - 0.126	85.2	85.0	83.6	87.1	86.0	82.7	750.0	J	300	125
2391136	75	575	60	1.5	77.6	66000	110.0	76000	0.180 - 0.198	85.2	85.0	83.6	87.1	86.0	82.7	600.0	J	225	110
2391646	100	380	60	1.5	155.0	87000	88.0	102000	0.054 - 0.060	86.5	86.0	84.2	86.8	85.1	81.0	1108.0	J	450	200
2391046	100	460	60	1.5	128.0	87000	148.0	102000	0.080 - 0.088	86.5	86.0	84.2	86.8	85.1	81.0	1000.0	J	400	175
2391146	100	575	60	1.5	102.4	87000	118.4	102000	0.118 - 0.130	86.5	86.0	84.2	86.8	85.1	81.0	800.0	J	300	150
2391657	125	380	60	1.5	201.0	109000	223.0	125000	0.039 - 0.043	86.3	86.0	84.2	83.6	82.0	77.0	530.0	K	600	250
2391056	125	460	60	1.5	165.0	109000	189.0	125000	0.057 - 0.063	86.3	86.0	84.2	83.6	82.0	77.0	1300.0	K	500	225
2391156	125	575	60	1.5	132.0	109000	151.0	125000	0.090 - 0.100	86.3	86.0	84.2	83.6	82.0	77.0	1040.0	K	400	175
2391666	150	380	60	1.5	240.0	128000	267.0	146000	0.033 - 0.037	88.0	87.6	86.0	85.0	83.0	78.0	2010.0	K	700	300
2391066	150	460	60	1.5	193.0	128000	221.0	146000	0.049 - 0.054	88.0	87.6	86.0	85.0	83.0	78.0	1600.0	K	600	250
2391166	150	575	60	1.5	154.0	128000	177.0	146000	0.073 - 0.081	88.0	87.6	86.0	85.0	83.0	78.0	1280.0	K	450	200
2391675	175	380	60	1.5	255.0	150000	290.0	176000	0.030 - 0.034	87.2	87.0	85.7	87.0	86.0	82.8	2150.0	J	800	350
2391076	175	460	60	1.5	218.0	150000	250.0	176000	0.045 - 0.050	87.2	87.0	85.7	87.0	86.0	82.8	1850.0	K	700	300
2391176	175	575	60	1.5	174.0	150000	200.0	176000	0.067 - 0.0074	87.2	87.0	85.7	87.0	86.0	82.8	1480.0	K	500	225
2391685	200	380	60	1.5	297.0	169000	340.0	194000	0.026 - 0.029	88.2	88.0	87.2	87.2	86.6	84.3	2540.0	K	900	400
2391086	200	460	60	1.5	245.0	169000	286.0	194000	0.038 - 0.042	88.2	88.0	87.2	87.2	86.6	84.3	2100.0	K	800	350
2391186	200	575	60	1.5	196.0	169000	229.0	194000	0.060 - 0.066	88.2	88.0	87.2	87.2	86.6	84.3	1680.0	K	300	300

Los números de los modelos son motores de 3 cables, para motores de 6 cables, estos tienen el mismo desempeño que uno de 3, pero cuando se conecta su arrancaje en estrella. El amperaje del motor trabado es en un 33% de lo indicado

Fuente: Manual de Motores Sumergibles Franklin Electric, Página 15



PLANTA ACOTADA Escala 1:50



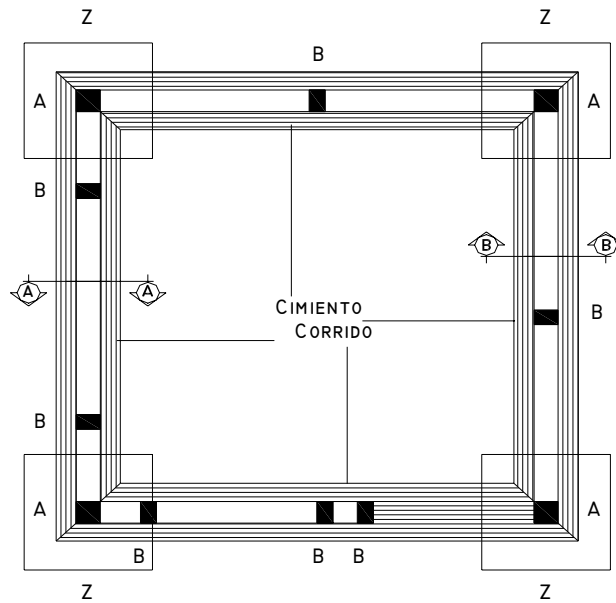
PLANILLA DE ACABADOS

	CIELO ALIZADO
	PISO DE CEMENTO LIQUIDO
	REPELLO + CERNIDO
	VENTANA
	ANCHO
	SILLAR
	DINTEL
	PUERTA DE METAL
	ANCHO
	DINTEL

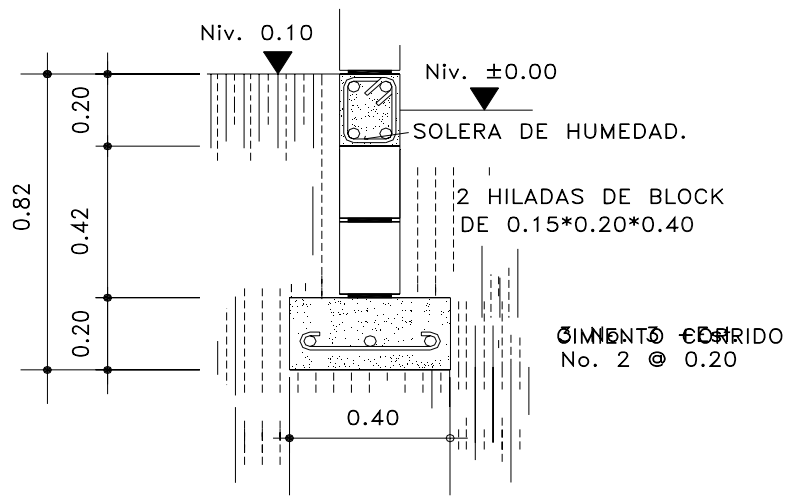
A	1.50
S	1.46
D	2.51

A	1.00
S	1.46
D	2.51

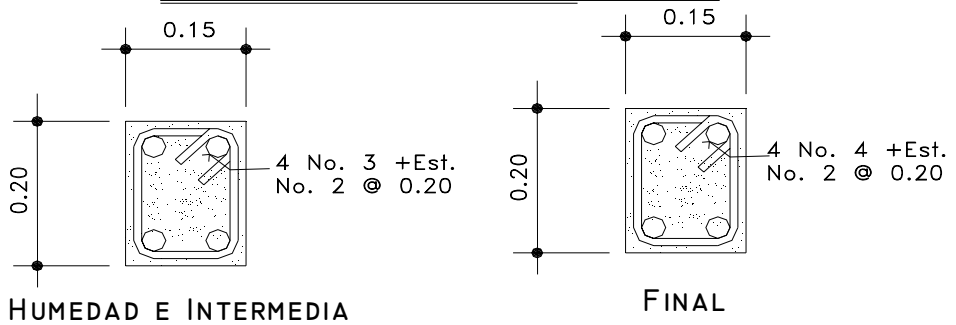
PLANTA DE ACABADOS Escala 1:50

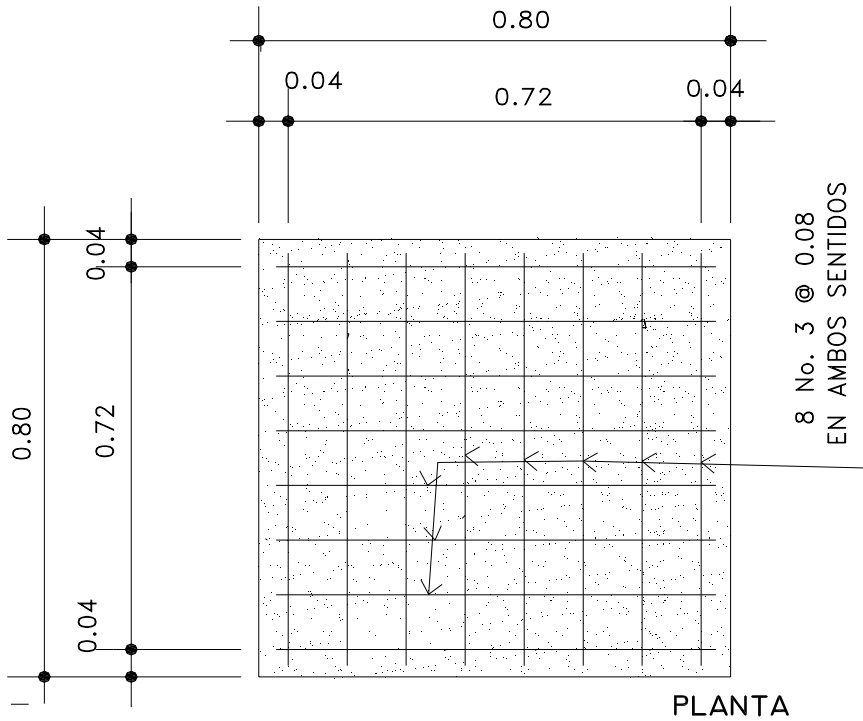
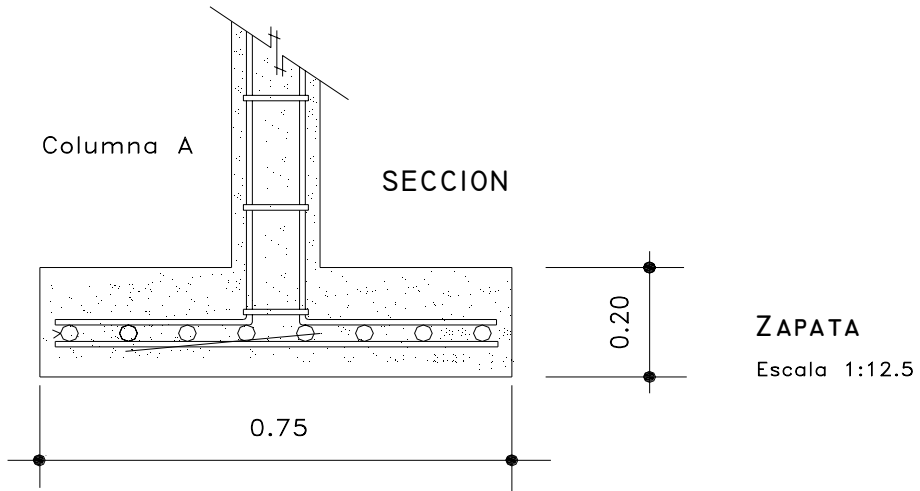
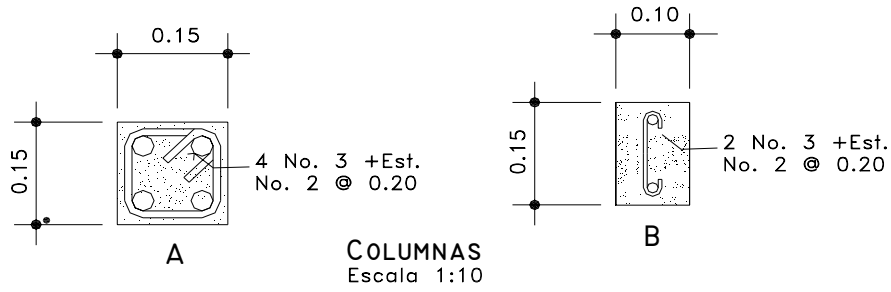


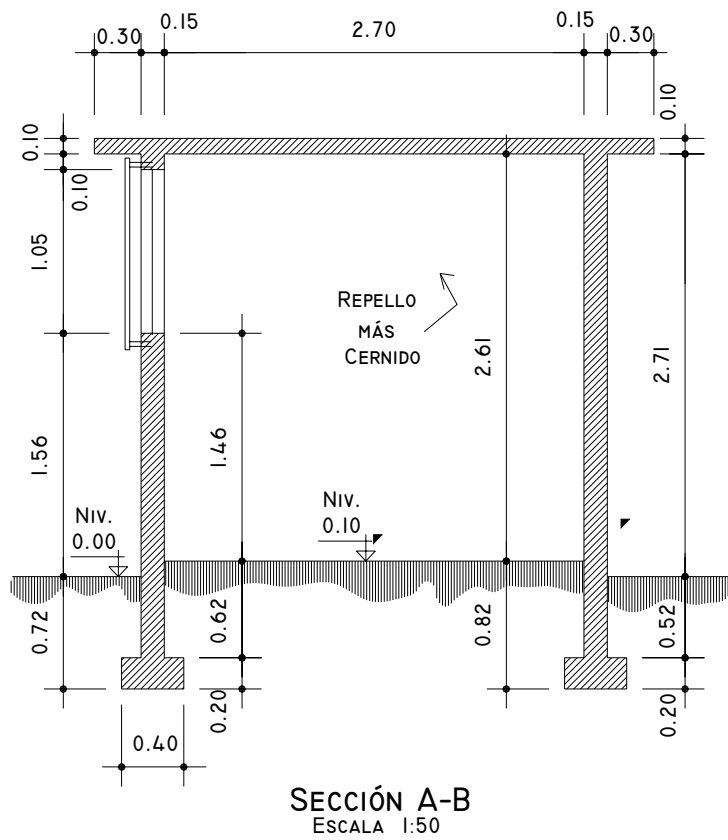
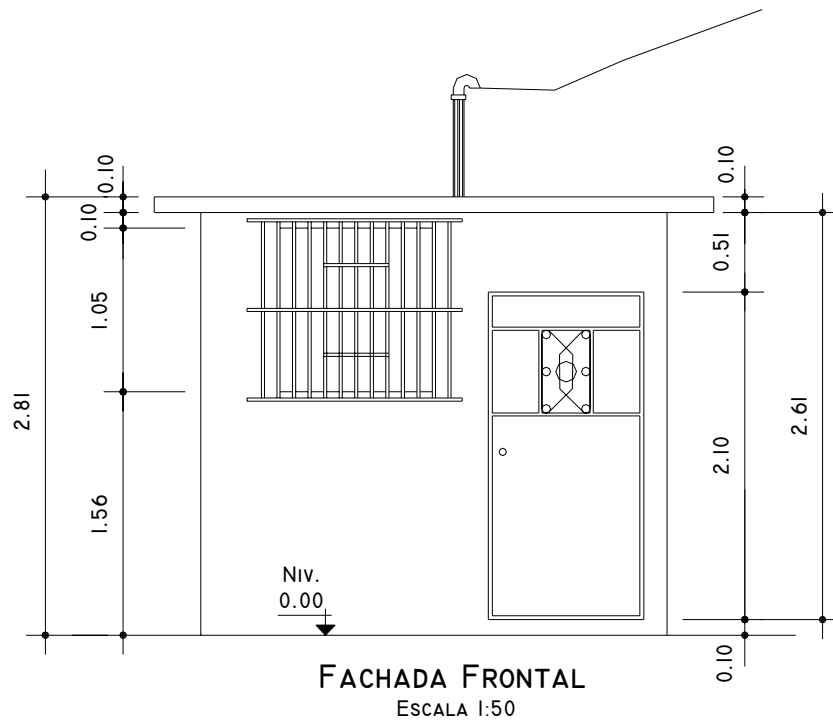
PLANTA DE CIMENTACIÓN ESCALA 1:50

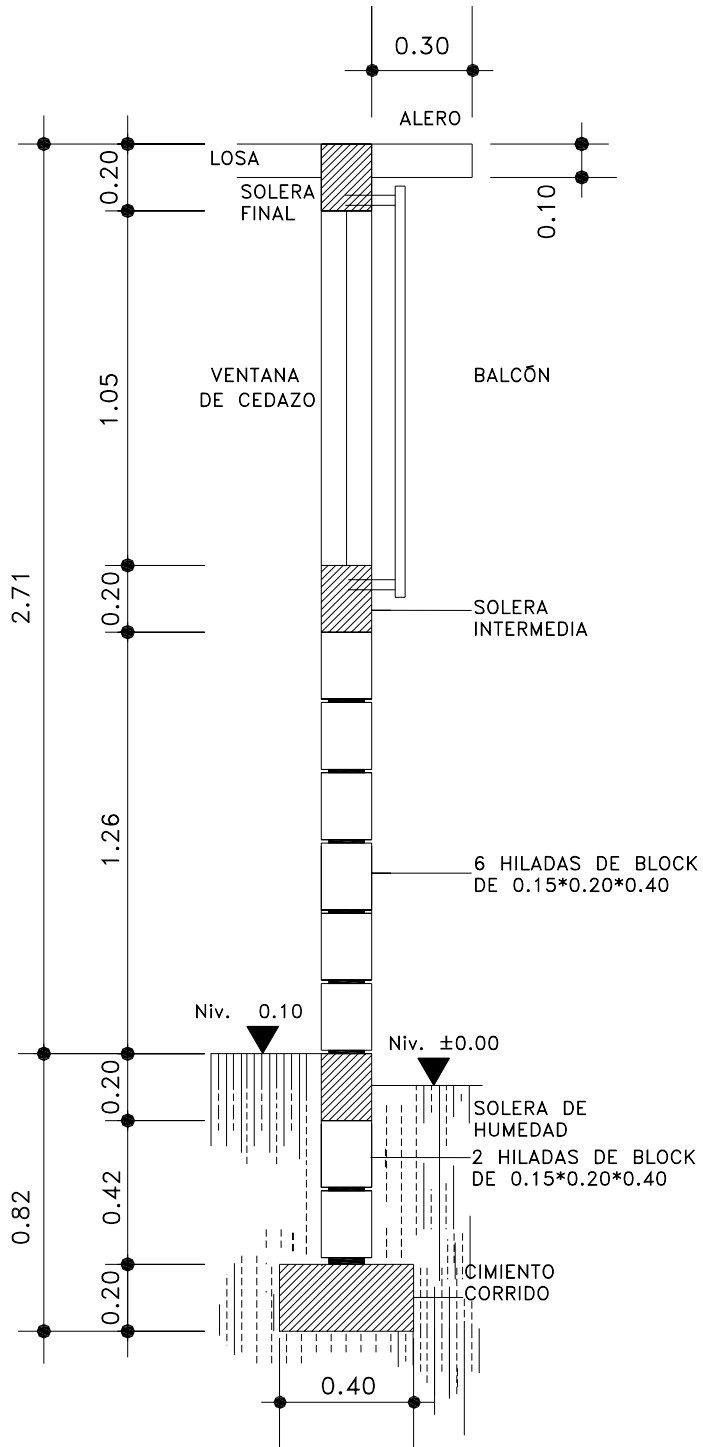


CIMENTO CORRIDO Escala 1:20





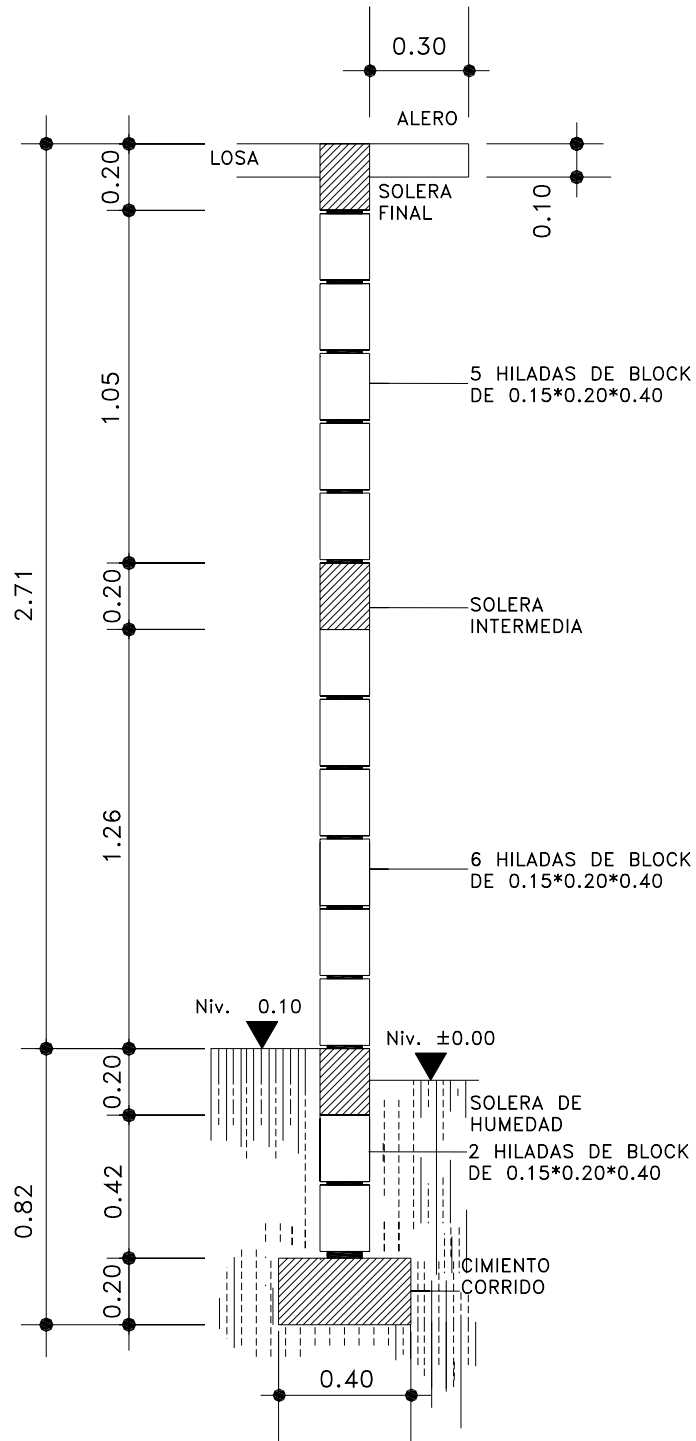




CORTE A-A

CORTES TÍPICOS DE MURO

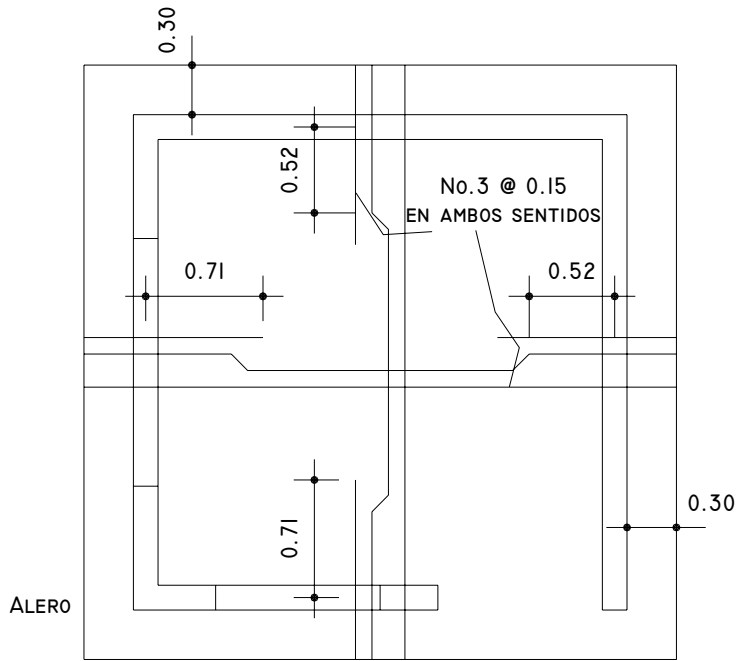
Escala 1:25



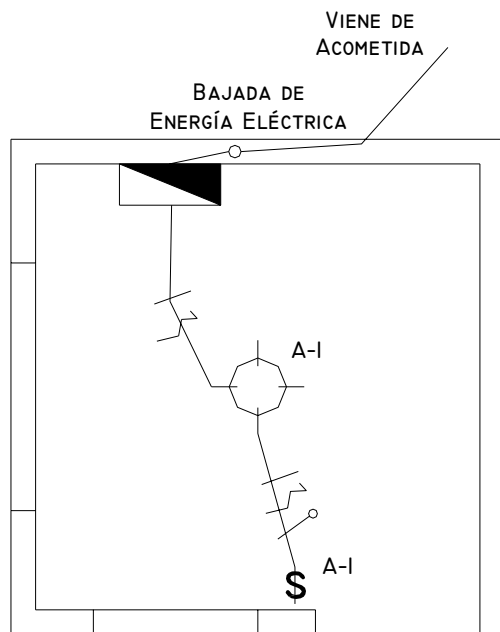
CORTE B-B

CORTES TÍPICOS DE MURO

Escala 1:25



PLANTA DE TECHOS
ESCALA 1:50



PLANTA DE LUZ
ESCALA 1:50

SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA

	TABLERO DE CONTROL
	LAMPARA INCANDESCENTE
	INTERRUPTOR
	ENTUBADO EN PISO
	LINEA POSITIVA
	LINEA NEGATIVA
	LINEA DE RETORNO