



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

**PERFORACIÓN DE POZO MECÁNICO CÁLCULO E
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO, PARA LA ALDEA
BUENA VISTA CHINAUTLA**

Antonio de Jesús Echeverría Solís

Asesorado por el Ing. Edwing Estuardo Sarceño

Guatemala, mayo de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PERFORACIÓN DE POZO MECÁNICO CÁLCULO E INSTALACIÓN
DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA ALDEA BUENA VISTA
CHINAUTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANTONIO DE JESÚS ECHEVERRÍA SOLÍS

ASESORADO POR: ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Arrivillaga
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por su amor y confianza en todo momento.

A mis hermanos por su ayuda y palabras de aliento.

Al ingeniero Edwing Estuardo Sarceño por su asesoría en la elaboración del presente trabajo de graduación.

Al ingeniero Oscar Paiz, por su asesoría e información aportada al presente trabajo.

Al personal del Departamento Técnico de Caudales S.A. por su amistad, colaboración y confianza.

A la Facultad de Ingeniería.

A todas aquellas personas que hicieron posible este momento, mil gracias.

DEDICATORIA

A Dios: Por ser la fortaleza espiritual que me ha permitido alcanzar esta meta.

A mi madre: Reyna Isabel Solís Tello, modelo a seguir y principal responsable de este éxito.

A mi esposa Johana por su apoyo incondicional.

A mis hijos Samantha y Brandon por ser el motivo de mis días.

A mis hermanos Gil, Rubén, Israel y Odilia, por sus sabios consejos.

A mis amigos Maynor, Giovanni, Hilbert, Luis, Juan y Roger por su amistad y confianza.

A mis catedráticos por sus enseñanzas y consejos.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala.

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:

**PERFORACIÓN DE POZO MECÁNICO CÁLCULO E
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA LA
ALDEA BUENA VISTA CHINAUTLA**

Tema que me fuera asignado por la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 13 de mayo de 2004.

Antonio de Jesús Echeverría Solís

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VI
RESUMEN	VIII
OBJETIVOS	X
INTRODUCCIÓN	XI
1. DESCRIPCIÓN DE LA ALDEA BUENA VISTA	
1.1 Cálculo de persona beneficiadas	1
1.2 Consumo de agua por día	1
1.3 Sistema actual del abastecimiento de agua	2
1.4 Características del diseño de pozo	3
2. CONCEPTOS GENERALES	
2.1 Estudio hidrogeológico	5
2.2 Perforación de pozos mecánicos	6
2.2.1 Método de percusión	6
2.2.2 Método californiano	8
2.2.3 Método de rotación	9
2.2.4 Método de rotación inversa	10
2.2.5 Perforación de chorro	10
2.2.6 Método de percusión hidráulica	11
2.2.7 Método de perforación con taladro	11
2.2.8 Método de perforación con aire comprimido	12
2.2.9 Formación de camada filtrante	13

2.2.10 Fluidos de perforación	13
2.2.11 Pozos hincados o clavados	14
2.2.12 Voladura de cantos	14
2.2.13 Elección de la tubería de ademe	16
2.2.14 Cementación de la tubería de ademe	17
2.2.15 Dosificación de la pasta de cemento	17
2.2.16 Verticalidad y alineamiento de pozos	18
2.2.17 Instalación de rejillas	19
2.2.18 Pozo con filtro artificial de grava	21
2.2.19 Colocación del filtro de grava	21
2.2.20 Sello del espacio anular	22
2.2.21 Extracción de rejillas	22
2.2.22 Colocación del tapón de arena	23
2.3 Maquinaria y equipo utilizado	24
2.4 Cálculo del equipo sumergible de bombeo	26
2.4.1 Carga dinámica total	27
2.4.2 Elevación total	27
2.4.3 Carga estática en el sistema de descarga	28
2.4.4 Pérdidas por fricción	28
2.5 Funcionamiento del equipo de bombeo	32
2.5.1 Carga y presión	36
2.5.2 Pérdida de flujo por fricción	36

3. PERFORACIÓN Y EQUIPAMIENTO DEL POZO

3.1 Estudio hidrológico	37
3.1.1 Geología de la superficie	38
3.1.2 Geología sub-superficial	39
3.1.3 Hidrología	40
3.1.4 Unidades hidrogeológicas	41
3.1.5 Necesidades de energía eléctrica	45
3.1.6 Caudal de explotación	45
3.2 Movilización y transporte de los materiales	45
3.3 Montaje y desmontaje de maquinaria	46
3.4 Acarreo de lodos de perforación	46
3.5 Perforación de pozo mecánico	47
3.6 Perfilaje y control de muestras	50
3.7 encamisado con tubería de acero de carbono	51
3.8 Ranuración de pichachas	53
3.9 Rejilla comercial tipo canastilla o tucota	53
3.9.1 Corte de ranuras	55
3.9.2 Ubicación de ranuras	55
3.9.3 Ancho de ranuras	56
3.9.4 Información adicional	56
3.10 Filtro de grava	59
3.11 Sello sanitario de cemento	60
3.12 Desarrollo y limpieza del pozo	61
3.12.1 Desarrollo del pozo	62
3.12.2 Limpieza del pozo	62
3.12.3 Pistón de limpieza	62
3.12.4 Cepillo de limpieza	63

3.13 Aforo de 24 horas	64
3.14 Cálculo de equipo sumergible(motor, bomba, cables, tubería)	67
3.14.1 Cálculo de bomba sumergible	67
3.14.2 Cálculo de motor sumergible	71
3.14.3 Cálculo de cable sumergible	72
3.14.4 Cálculo de cable porta electrodos	72
3.14.5 Cálculo de la tubería	74
3.15 Instalación del sistema eléctrico con su arranque	75
3.15.1 Interruptor termomagnético 3*100amps	76
3.15.2 Contactor de 75 amps.	77
3.15.3 Térmico 54-65 amps	77
3.15.4 Flip-on 3*2 amps	78
3.15.5 Protector de fases 480 volts	78
3.15.6 Pararrayos L.A. 603 480V	79
3.15.7 Guarda nivel 460V	79
3.15.8 Selector de dos posiciones	80
3.15.9 Luz piloto T2 RN 460V	80
3.15.10 Cable TFF 14 AWG	80
3.15.11 Caja metálica T2	81
3.16 Comparación de estudios contra resultados	82
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Sistema de bombeo sumergible cerrado.	33
2. Sistema de bombeo sumergible abierto.	35
3. Tubería de acero al carbón liso biselado.	51
4. Tubería con rejilla comercial tucota.	54
5. Máquinas ranuradoras B&W para fabricar rejilla tucota.	55
6. Cálculo del nivel dinámico del pozo.	67
7. Diagrama eléctrico del panel de controles del pozo.	81

TABLAS

I. Permoporosidad de rocas cartificadas	42
II. Resultados del aforo	66
III. Pérdidas por fricción	68
IV. Curvas de rendimiento	69
V. Datos técnicos de la bomba sumergible	70
VI. Cálculo de cable para motores trifásicos	73

GLOSARIO

Abatimiento	Insuficiente agua en el pozo, cuando éste está siendo bombeado, baja el nivel dinámico hasta la succión de la bomba.
Ademe	Encamisado, con tubería de acero al carbón de un pozo mecánico.
Cabrestante	Polea que sirve para arrastrar la tubería hacia la máquina, por medio de una cuerda para introducirla al pozo.
Camisa de enfriamiento	Funda de PVC, que funciona haciendo circular el agua de abajo hacia arriba del motor para que éste no caliente.
Camisa desarenadora	Funda metálica, que funciona por movimiento centrífugo separando arena del agua, y haciéndola caer al fondo del pozo.
Collarín	Sujetador de todo el equipo de bombeo, ya que queda colgando, se coloca encima del sello.
Diaclasas	Planos de división, grietas o quebraduras que cortan las rocas en dirección variable.

Grava	Piedrín de 3/8", que sirve de filtro en el pozo mecánico.
Guijarros	Rocas grandes que se encuentran, en el avance de la perforación de un pozo mecánico.
Nivel dinámico	Nivel de agua en el pozo, cuando este está siendo bombeado.
Nivel estático	Nivel de agua en el pozo, cuando está en reposo.
Piezómetro	Mide un diferencial de altura en pulgadas en la descarga del pozo al momento del aforo y ésta sirve para calcular el caudal en galones por minuto.
Rejilla	Tubería ranurada en el encamisado de un pozo.
Sello sanitario	Tapadera metálica, que se coloca en la boca del pozo para evitar que entren contaminantes.
Telescopio	Cambio de diámetro en la perforación de un pozo.

RESUMEN

La falta de agua en nuestro país se ha incrementado, es por ello que en diferentes sectores se están perforando pozos mecánicos con la finalidad de disminuir el problema de falta de agua en Guatemala.

El proyecto de perforación de pozo mecánico, cálculo e instalación del sistema de bombeo para la aldea Buena Vista, Chinautla, se llevó a cabo gracias a la Municipalidad y a la Asociación para el Desarrollo Integral del Municipio de Chinautla.

Como primer paso se hizo un estudio hidrológico, con el cual se obtuvieron los datos necesarios, para saber a qué profundidad y de qué diámetro se perforaría el pozo.

Seguidamente, se trasladó la máquina del tipo rotatorio, para la perforación del pozo mecánico, a 1000 pies de profundidad con un diámetro, de 12 ¼" para ser entubado con ademe de acero de 8" de diámetro, con rejilla tipo tucota para la buena filtración de agua al pozo.

Al finalizar el pozo se efectuó la limpieza y desarrollo del mismo, extrayéndole todo el lodo y agua hasta lograr limpiar y preparar el pozo para el aforo.

Se instaló un equipo de bombeo, de 40 HP para una producción entre 100 y 150 galones por minuto, que es la producción que se esperaba del pozo, logrando 125 galones por minuto, durante 24 horas continuas suficientes para probar la producción del pozo mecánico.

Finalmente se calculó el equipo necesario según los resultados del aforo de 24 horas, se instaló la bomba, motor, tubería y cables adecuados para el funcionamiento del pozo.

OBJETIVOS

Generales

1. Realizar un estudio técnico para determinar la características de diseño de pozo y cumplir con las necesidades de agua de la comunidad.
2. Proporcionar los lineamientos necesarios para la perforación del pozo y realizar los cálculos del equipo necesario para su funcionamiento.
3. Capacitar al personal operativo del pozo mecánico, sobre el sistema de arranque y paro del equipo sumergible de bombeo, para garantizar su buen funcionamiento.

Específicos

1. Hacer un estudio hidrológico del lugar y seleccionar el terreno para determinar si es adecuado para llenar las necesidad de la población, de encontrar agua.
2. Perforar pozo mecánico que cumpla con la demanda estimada para poder abastecer de agua a la población.
3. Calcular el equipo sumergible, que cumpla con las necesidades del pozo.
4. Cumplir con requerimientos y necesidades de la población.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo ha sido desarrollado, con el objeto de brindar una herramienta de información sobre perforación de pozos mecánicos.

En la primera parte se encuentran los datos arrojados por la investigación del lugar donde se perforó el pozo como: cantidad de habitantes, consumo de agua por día y sistema de abastecimiento de agua antes de la perforación del pozo mecánico.

Se dan a conocer los aspectos teóricos de todo el desarrollo del proyecto como: estudio hidrológico, perforación de pozos mecánicos, maquinaria utilizada, cálculo y funcionamiento del equipo sumergible de bombeo.

Está detallado todo el desarrollo del proyecto desde el inicio hasta la culminación del mismo empezando por un estudio hidrológico, movilización de materiales, montaje de maquinaria, perforación de pozo, control de muestras, encamisado, ranuración de pichachas, filtro de grava, desarrollo de pozo, aforo, cálculo de equipo y sistema eléctrico.

Los resultados del proyecto de la perforación de pozo mecánico finalmente obtenidos fueron un pozo con profundidad de 1000 pies y 12 1/4 pulgadas de diámetro encamisado con tubería de acero al carbón de 8 pulgadas de diámetro.

Equipado con bomba y un motor de 40 caballos de fuerza, tubería de succión HG de 3 pulgadas, cable sumergible 4/3, cable porta electrodos 14/3, línea de aire, panel de arranque de 40 caballos de fuerza para unaproducción de 125 gpm. lo que es suficiente para abastecer a la comunidad aun cuando ésta crezca en un 25%.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ALDEA BUENA VISTA

1.1 Cálculo de personas beneficiadas

La Aldea Buena Vista cuenta con 350 familias, que hacen un total de 2,090 habitantes entre hombres, mujeres y niños, los cuales van a ser beneficiados, con la construcción del pozo mecánico de dicha comunidad.

El pozo está calculado, según el estudio hidrológico para 500 familias aproximadamente, para 4,080 habitantes entre hombres, mujeres y niños.

1.2 Consumo de agua por día

Cada persona consume 150 litros de agua por día, por 2,090 habitantes; lo que se necesita para abastecer a la comunidad en un día son 313,500 litros de agua, por lo que el pozo tendría que producir como mínimo 58 galones por minuto.

Si se tiene:

$$\frac{313,500 \text{ litros}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{1 \text{ paja}}{60000 \text{ litros}} = \frac{156.75 \text{ pajas de agua}}{\text{mes}}$$

Por lo tanto:

$$\frac{58 \text{ gals}}{\text{minutos}} \times \frac{3.78 \text{ lts}}{\text{galones}} \times \frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} \times \frac{24 \text{ horas}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{1 \text{ paja}}{60000 \text{ lts.}}$$
$$= \frac{157.85 \text{ pajas de agua}}{\text{mes}}$$

Esto demuestra que 158 pajas de agua al mes son suficientes para abastecer a las 350 familias de la comunidad, y que éstas se logran si el pozo en construcción produce 58 galones por minuto.

1.3 Sistema actual de abastecimiento de agua

Antes de la ejecución del proyecto, la comunidad era abastecida por un pozo mecánico ubicado en la aldea El Carrizo, jurisdicción del mismo municipio, el cual descarga a un tanque elevado de captación con capacidad de 72 m³, que distribuye por gravedad a ambas comunidades.

La aldea Buena Vista tiene tres redes de distribución, por las dos calles principales de Buena Vista hasta la lotificación las Quebradas, área del sector 19 de Buena Vista y la otra distribución que viene es hacia el centro de la aldea.

Este mismo pozo además, debe conducir agua hacia la lotificación “Las Quebradas” y a la aldea “El Sauzal”, utilizando un sistema de válvulas de paso para llevar a cabo una distribución de agua sectorizada.

Con esta sectorización se abastece de agua a la población durante 36 horas continuas, para luego dejarlos sin el líquido durante 96 horas cuando el sistema de bombeo del pozo no falla, lo que hace que el servicio de agua potable se insuficiente, y la comunidad carezca de la misma.

Cuando el sistema de bombeo falla, los habitantes carecen de agua hasta por 8 días consecutivos.

1.4 Características de diseño del pozo

Las características de diseño del pozo de la aldea Buena Vista, según el estudio hidrológico son

- Profundidad de pozo mínimo 1000 pies.
- Diámetro del pozo 12 ¼” .
- Diámetro de la tubería de acero para encamisar 8” .
- Para un producción aproximada de 80 galones por minuto.

2. CONCEPTOS GENERALES

2.1 Estudio hidrogeológico

Un estudio hidrogeológico, consiste en preparar un mapa geológico y unas secciones transversales, que muestren los sitios de afloramiento de las diferentes rocas, con esto se observa como han sido afectadas por presiones terrestres, en el pasado.

Este estudio mostrará que rocas son susceptibles de contener agua y donde se hallan éstas por debajo del terreno.

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

Un registro realmente útil de un pozo deberá de incluir lo siguiente: muestras de roca; información referente a cual estrato rinde agua y cuán libremente; nivel estático del agua en cada estrato sucesivo, progresivamente más profundo; y los datos de cualquier prueba de bombeo o de cuchara, mostrando cuanta agua se obtuvo y cuanto descendió el nivel para una razón dada de bombeo o cuchareo.

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, determinará por nivelación cuan alto se halla el terreno sobre el nivel del mar. Finalmente trazará 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 freática de igual forma que un mapa topográfico indica la forma de superficie del terreno. Cuando no hay pozos el hidrólogo tiene que perforar algunos agujeros de prueba, con las muestras podrá obtener cual es el estrato acuífero y cuán extensamente subyace.

2.2 Perforación de pozos mecánicos

2.2.1 Método de percusión

Este método lleva a cabo la perforación dejando caer con regularidad un pesado grupo de herramientas dentro del agujero, el barrenos fractura la roca dura y la convierte en pequeños fragmentos, cuando se está perforando en materiales suaves y no consolidados la acción de vaivén de las herramientas entremezcla con agua las partículas, formando así un lodo. El agua para formararlo es agregada al agujero cuando no se encuentra presente en la formación que se está 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.

El grupo completo de herramienta de perforación se compone de cuatro elementos: el barreno, la barra de pesos, las tijeras de perforar y el porta-cable giratorio.

La barra 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.

Las tijeras consisten en un par de barras articuladas. Cuando el barreno se empieza a quedar aprisionado se utilizan las tijeras para aflojar la herramienta es para lo único que sirven.

El porta-cable giratorio establece la conexión de las herramientas al cable.

Los elementos de la un grupo de herramienta se acoplan entre sí mediante extremos roscados de la designación estándar *API American Petroleum Institute*

El cable que sostiene las herramientas de perforación se denomina línea de perforar. Por lo general el diámetro varía entre 5/8" y 1" y su torcido es en sentido izquierdo.

La línea de perforar se hace pasar por una polea que se haya en la cumbre del mástil o torre de donde desciende al cabrestante llegando al tambor principal de arrollado.

La cuchara está formada por un tramo de tubo con una válvula de retención en el fondo. La válvula puede ser del tipo plano o del tipo de dardo.

La bomba de arena es una cuchara dotada de un émbolo el cual al desplazar hacia arriba, produce un vacío que abre la válvula y succiona la arena o el lodo que contiene los fragmentos, haciéndolo penetrar al tubo.

La línea de arena pasa sobre una polea separada, en la cumbre de la torre y luego desciende hasta su tambor de arrollado.

La acción de sube y baja es impartida a la herramienta de perforar y al cable, por un brazo excéntrico, para llevar a cabo el proceso de perforación.

2.2.2 Método californiano

Utiliza los mismos principios que el método de percusión, con excepción de tres aspectos: una pesada cuchara denominada cucharón de lodo, se utiliza al mismo tiempo como barreno y como cuchara; en lugar de tubería estándar de acero, se usa como ademe tubos cortos de acero laminado, se emplean a su vez gatos hidráulicos para introducir el ademe.

El lodo debe ser retirado conforme se va acumulando mediante una cuchara, ya que retarda la velocidad de perforación.

2.2.3 Método de rotación

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

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

En este sistema se utilizan dos tipos generales de trépanos que son: el de rodetes dentados, trépano para roca, y el de arrastre que comprende el tipo de cola de pescado o el de tres aletas. Desde el interior del trépano y en la parte superior de cada rodete, se hace dirigir un chorro de fluido de perforación que lava las superficies que han 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.

2.2.4 Método rotatorio de circulación inversa

Este método se efectúa invirtiendo la circulación del fluido de perforar, el extremo de aspiración de la bomba, en lugar del de 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.

El fluido retorna al agujero mediante flujo gravitacional, en esta forma se desplazará hacia abajo, a través del espacio anular que rodea a la tubería hasta alcanzar el fondo del agujero.

2.2.5 Perforación a chorro

Sistema de percusión a chorro, hasta el presente su utilización se ha visto limitada en gran parte a perforar pozos de 7.5 y 10 cm. Hasta profundidades de 60m. Las herramientas de este método consisten de un trépano de forma de cincel fijada al extremo inferior de una 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 descarga en la superficie del terreno y de ahí es conducida al foso de sedimentación.

2.2.6 Método de 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 es también 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 o cortaduras entra a través de los orificios del trépano. Cuando éste 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 así el ciclo de circulación del fluido.

2.2.7 Método de perforación con taladro

Éste comprende la excavación del material, para lograr la profundidad del hoyo mediante el uso de un taladro, el material que se va excavando se recoge en un cucharón cilíndrico que se halla dotado en el fondo de una cuchillas cortantes, el cucharón se conecta al extremo inferior de un vástago giratorio, el cuál pasa a través de un gran engranaje anular, el que a su vez le imprime el movimiento de rotación como si fuese la mesa rotatoria.

Este sistema de perforación ha encontrado aplicación ante todo en aquellos lugares en que las formaciones arcillosas no se derrumban y permiten la instalación de la tubería que servirá de ademe.

2.2.8 Perforación rotatoria con aire comprimido

El equipo rotatorio de perforación que utiliza aire comprimido como fluido de perforar en lugar de lodo, constituye un avance muy moderno en la industria de la perforación de pozos. 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 arrastra los fragmentos hasta la superficie o los expulsa de la fisuras de la roca.

Este procedimiento sólo se puede aplicar a formaciones consolidadas, las máquinas rotatorias diseñadas para este tipo de trabajo vienen equipadas con una bomba convencional de lodo además de un compresor de aire de gran capacidad. Los trépanos para roca, del tipo de rodetes, similares a los que se diseñan para la perforación basado 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 el extremo inferior 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 de un martinete con incrustaciones de carburo de tungsteno.

2.2.9 Formación de la camada filtrante

Conforme avanza la perforación se va formando en las paredes del agujero un filtro de lodo o camada filtrante.

Este revestimiento de condición plástica, constituido por limo, arcilla y coloides se forma debido a un efecto filtrante cuando la presión del fluido de perforación expulsa una parte del agua de éste. Ésta condición plástica reduce la pérdida del fluido hacia las formaciones permeables.

La camada filtrante en ningún momento podría evitar el colapso del pozo, la resistencia al colapso se mantiene mediante la presión hidrostática del fluido dirigida radialmente hacia afuera.

2.2.10 Fluidos de perforación

Puede ser desde una agua lodosa hasta una mezcla viscosa hábilmente preparada con materiales adecuados. Las funciones esenciales del fluido de perforación son

- Proteger las paredes del agujero del socavamiento.
- 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.

2.2.11 Pozos hincados o clavados

Estos pozos sólo pueden construirse en formaciones suaves que se encuentren libres de guijarros o de cantos. Se perforan por lo general hasta profundidades de 15 metros y aún mayores, cuando las condiciones son favorables.

Los pozos clavados son bombeados por lo general utilizando la presión atmosférica. En tales casos, el nivel estático debe hallarse a una profundidad de 4.5 metros por debajo de la superficie. Si se utiliza tubería de 5 centímetros o mayor, se pueden utilizar ciertos tipos de bomba, tales como de eyector o chorro, o la de cilindro, para bombear agua de profundidades mayores.

Las punteras pueden clavarse o hincarse desde la superficie del terreno hasta profundidades de 9 metros. Mediante métodos manuales, dependiendo de la compacidad del suelo. Ya sea que el hincado se efectúe a mano o mediante una máquina, el primer paso consiste en abrir un agujero, con taladro manual, de una profundidad ligeramente mayor que la longitud de la puntera.

2.2.12 Voladura de cantos

Los cantos o grandes guijarros con que se tropieza a casi cualquier profundidad retrasan el trabajo y aumentan el costo de perforación.

La voladura con dinamita, para reventar las rocas que producen la obstrucción, es la manera usual de afrontar la situación. El procedimiento varía dependiendo de que se esté usando el método de percusión o el de rotación.

Por el método de percusión se ha introducido un ademe de 30 cm. o más grande, hasta una profundidad en que los guijarros o cantos impiden continuar la perforación.

Estas grandes piedras no se pueden fracturar por el impacto producido por el barreno; deben emplearse explosivos.

Para colocar el explosivo se introduce una un grupo de 20cms de diámetro dentro del ademe más grande penetrando el tubo unos 3 m dentro del nido de piedras, el explosivo debe colocarse en el fondo del agujero de 20 cm, y cubrirse con unos 90 cm, de arena. Enseguida, si es posible el agujero deberá llenarse de agua, evitando así que la formación trate de ascender conforme la tubería de 20 cm, es halada hacia arriba. Esta tubería deberá ser levantada por lo menos 1.5 m, para protegerla.

El objetivo es despedazar las piedras para que las herramientas de perforación realicen el resto del trabajo.

La cantidad de explosivo debe ser calculada; no existe una medida exacta, los perforadores colocan una cantidad moderada con el propósito de no provocar una explosión muy grande que no permita seguir perforando el pozo.

Cuando se utiliza el método de perforación rotatoria y se tropieza con cantos que el trépano no puede penetrar, se debe instalar una tubería como preparación de la voladura de los cantos luego se introduce por debajo de la tubería un trépano de tamaño adecuado para intentar perforar por debajo del tubo.

Se debe llenar el agujero con un lodo tan viscoso como lo permita la bomba por lo menos unos 3 m del fondo y se prosigue con la perforación a una rotación lenta.

Cuando se ha perforado un agujero lo suficientemente grande como para permitir la colocación de la carga explosiva por debajo de la tubería ésta puede acomodarse y detonarse en la misma forma descrita para el caso de la percusión.

2.2.13 Elección de la 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 más apropiada para los diversos objetivos relacionados con la perforación de pozos, es la que se fabrica de acuerdo a la especificaciones del *American Petroleum Institute*, por lo general se prefiere la tubería sin costura y soldada eléctricamente.

La tubería de revestimiento API se fabrica de clases A y B; estas dos designaciones se refieren a las resistencias del material, a la tensión y fluencia.

Los tubos de clase A, deben tener una resistencia a la tensión de por lo menos $3,360 \text{ Kg/cm}^2$, en tanto que la tubería clase B debe ser de una resistencia a la tensión de $4,200 \text{ Kg/cm}^2$, cualquiera de ambas clases es satisfactoria para emplearla en la perforación de pozos.

2.2.14 Cementación de tubería de ademe

Esto representa rellenar el espacio alrededor de la tubería, por lo general el que se halla entre la tubería y el agujero, con una pasta adecuada de cemento o de 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.

El término cementación es utilizado por los perforadores para describir toda operación de mezclar y colocar la pasta.

2.2.15 Dosificación de la pasta de cemento

La relación agua cemento para obtener una pasta adecuada debe ser de unos 22 a 27 litros de agua. Por cada bolsa de cemento de 50 Kg. se pueden utilizar 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.

La bentonita ayuda a mantener en suspensión 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.

2.2.16 Verticalidad y alineamiento de pozos

Es importante que un pozo se halle tanto recto como a plomo, lo cual no se puede garantizar, el perforador puede mantener el 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 ligeramente menor que el del ademe del pozo.

De los dos factores mencionados la rectitud del pozo es de mayor importancia, puesto que es la que determina si una bomba de tipo turbina vertical puede o no instalarse en el pozo hasta la profundidad deseada.

Las condiciones causantes de que los pozos se tuerzan o se hallen fuera de plomo son las siguientes: 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 están perforando un pozo de profundidad sustancial. Esto es especialmente 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.

2.2.17 Instalación de rejillas

La instalación de la rejilla constituye uno de los elementos esenciales de la completación de un pozo. Las etapas tales como la cementación del ademe dentro del agujero, instalación de la rejilla, desarrollo y desinfección son todas parte de la terminación de un pozo.

Los procedimientos empleados para instalar rejillas dependen del diseño del pozo y del método que se haya utilizado al perforarlo. Cuando se perfora por el método de percusión, el procedimiento que más se aplica es el de retracción del ademe.

Los elementos básicos consisten en hacer descender la rejilla por dentro del ademe hasta la profundidad total del pozo, y luego, retraer el ademe en una distancia suficiente para que deje expuesta la rejilla en el intervalo productor del acuífero.

Lo más importante al instalar la rejilla es que el ademe debe ser de buena calidad, para poder hacerlo descender hasta el fondo y después poder halarlo en tanto que se desee que la rejilla quede expuesta.

El tipo telescópico de rejillas de pozo, se desarrolló en un principio para facilitar la colocación en los pozos perforados por el método de percusión.

La rejilla se fabrica del tamaño exacto que permita introducirla por dentro de la tubería estándar del diámetro correspondiente, al igual que las secciones de un telescopio, por ejemplo, una rejilla de un diámetro de 15 cm, tiene el tamaño justo para ser introducida en un tubo estándar de 15 cm.

Para el método de perforación por rotación, también es utilizada la instalación de rejillas por retracción del ademe, la principal diferencia con este método es que el ademe debe suspenderse a nivel del terreno durante el desarrollo del pozo mediante el empleo de abrazaderas y cuñas, como no existe fricción por fuera de la tubería, ésta no se mantendrá en posición por sí sola, hasta que el material de la formación derrumbe y la aprisione.

En el método de instalación de rejilla por achicamiento, la rejilla es acondicionada en su extremo inferior con una zapata de extracción o con una manga abierta, se hace descender mediante el ademe, en forma telescópica.

El objetivo que se persigue con el método de achicamiento, es el de desplazar y remover la arena que se encuentra por debajo de la rejilla, de modo que ésta se asiente conforme la arena es desplazada. El peso que proporciona la tubería de extracción ayuda a que la rejilla se asiente, cuando el peso de ésta por sí sola es insuficiente.

2.2.18 Pozo con filtro artificial de grava

Un pozo acondicionado con un filtro artificial de grava, difiere de otro que haya sido desarrollado naturalmente, en que en el primero se coloca una envoltura alrededor de la rejilla, formada por arena o grava de gradación especial, este filtro sustituye a la zona hidráulicamente gradada y de alta permeabilidad que se forma en el procedimiento convencional de desarrollo.

Ambos tipos de pozos si se han construido adecuadamente son eficientes y estables. La decisión sobre cual sistema deberá usarse se basa en consideraciones relativas al costo y a las condiciones que se encuentren.

Los procedimientos para la instalación de las rejillas en aquellos pozos dotados de un filtro artificial de grava, comprenden el centrar la rejilla dentro de un agujero ampliado y a la colocación del material del filtro.

2.2.19 Colocación del filtro de grava

Un aspecto importante de la colocación de los filtros de grava es el referente al uso de un método que impida la separación de las partículas gruesas y finas que forman la mezcla gradada. Un pozo que expulse arena puede ser el resultado de la segregación de los diversos tamaños de grano, aunque el material utilizado tenga la gradación apropiada.

2.2.20 Sellado del espacio anular

En la mayor parte de los pozos que tienen filtro artificial de grava se requiere algún tipo de sello por encima de la grava para cerrar el espacio anular entre el extremo superior de la tubería de extensión y el interior del ademe instalado en el intervalo superior del pozo.

Este sello evita el movimiento ascendente de la grava cuando el pozo se está bombeando.

2.2.21 Extracción de rejillas

A veces se presentan situaciones en las que es necesario extraer una rejilla del pozo. La extracción de una rejilla sin levantar al mismo tiempo el ademe de pozo, es desde luego, posible sólomente en aquellos casos en los que la instalación original ha sido realizada por el método de colocar la rejilla de forma telescópica por dentro del ademe.

La necesidad de extraer una rejilla puede deberse a

- Incrustación y cementación de la arena de la formación en el torno a la rejilla, por la acción de cierta materia que no puede eliminarse mediante algún tratamiento químico aplicado en el sitio.
- Corrosión que haya dañado la rejilla y que cause que el pozo comience a arrojar arena.
- Abandono del pozo, por lo que se desea utilizar en un pozo nuevo.

Las rejillas de 10 cm y mayores, se extraen utilizando una tubería de diámetro menor aprisionada por dentro de la rejilla mediante un tapón de arena.

La arena es colocada cuidadosamente en el espacio entorno a la tubería para halar y la pared interior de la rejilla, forma una abrazadera que sirve como conexión estructural entre ambas. El tapón de arena constituye la mejor y más confiable manera de transmitir la fuerza aplicada para halar la rejilla.

2.2.22 Colocación del tapón de arena

Cuando la tubería de extracción se ha hecho descender hasta una profundidad cercana al fondo de la rejilla, se vacía la arena dentro del espacio anular comprendido entre ambos. La arena debe vaciarse lenta y uniformemente alrededor de toda la periferia. La cantidad de arena debe de ser la suficiente como para llenar la rejilla en un intervalo de unos dos tercios de longitud. Debe tenerse mucho cuidado de calcular bien la cantidad de arena y no colocar tanta que llegue a derramarse por sobre el extremo superior de la rejilla.

El desarrollo y acabado del pozo comprende todas aquellas etapas de su complementación encaminadas a eliminar los materiales finos del acuífero y como consecuencia, a limpiar abrir o ensanchar los pasajes de la formación, de modo que el agua pueda entrar al pozo más libremente. El desarrollo constituye una labor esencial del verdadero acabado de un pozo de agua.

Con ello se obtienen tres ventajas que son:

- El desarrollo repara cualquier daño u obstrucción que haya sufrido la formación como consecuencia derivada de los efectos de la perforación.
- El desarrollo aumenta la porosidad y la permeabilidad de la formación natural en los alrededores del pozo.
- El desarrollo estabiliza la formación granular en torno a la rejilla, de manera que el pozo descarga agua libre de arena.

2.3 Maquinaria y equipo utilizado

Las máquinas utilizadas para la perforación de pozos mecánicos pueden ser:

Máquina percusiva, esta máquina trabaja levantando y dejando caer una pesada un grupo de herramientas, dentro del agujero que se va abriendo. El barreno fractura la roca dura y la convierte en pequeños fragmentos.

Máquina rotativa, esta máquina trabaja mediante la acción rotatoria de un trépano y remueve los fragmentos que se producen con un fluido que continuamente se hace circular, conforme el trépano penetra en los materiales de la formación. El trépano se fija al extremo inferior de una un grupo de tubería.

Dicha un grupo completa de herramientas de perforación está compuesta por:

El barrenos, el cual fractura o desmorona la roca dura. La barra, le imprime un peso adicional al barrenos y su longitud ayuda a perforar un agujero recto, cuando se perfora en roca dura. Las tijeras, consisten de un par de barras de acero articuladas, que sirven para aflojar las herramientas en el momento de quedar aprisionadas. El porta-cable giratorio, conecta la herramientas al cable, permite que las herramientas giren ligeramente respecto al mismo.

Un cable de alambre de soporte, el cual sostiene las herramientas de perforación también llamadas líneas de perforar, su diámetro varía de 5/8" a 1" y su torcido es en sentido izquierdo.

La bomba de arena, es una cuchara dotada de un émbolo, el cual al desplazarse hacia arriba produce un vacío que abre la válvula y succiona la arena o el lodo que contiene los fragmentos, haciéndolos penetrar al tubo. El fondo de la bomba de arena consiste de una válvula de diseño plano.

El cabrestante se utiliza para arrastrar tubería hacia la un grupo de herramienta mediante una cuerda, mientras que el calibrador del contenido de arena sirve para medir la cantidad de arena en el lodo de perforación.

El embudo de Marsh sirve para medir la viscosidad del lodo de perforación. La balanza se utiliza para determinar el peso específico del lodo de perforación; en tanto que el cucharón se utiliza para extraer los fragmentos de roca grandes del fondo de un agujero en que éstos no pueden ser levantados por la bomba, a través de la tubería de perforación.

2.4 Cálculo del equipo sumergible de bombeo

Para dimensionar el equipo sumergible a instalarse, es necesario tomar en cuenta consideraciones tales como el tamaño del pozo, ya que se debe conocer el diámetro existente antes de elegir la bomba, la mayoría de sistemas de bombeo utilizan pozos de 4 pulgadas de diámetro pero se debe tomar en cuenta que existen bombas de 4, 6, 8 y 10 pulgadas de diámetro nominal. Además, la profundidad hasta el nivel de bombeo de agua es un factor importante, en cualquier sistema de bombeo. Esta información se basa en el abatimiento dentro del pozo, cuando la bomba está en operación y se debe conocer para asegurar que la profundidad de la colocación de la bomba es la suficiente como para prevenir que el nivel del agua disminuya y quede por debajo de la succión de la bomba.

Se debe de probar el pozo para determinar si su capacidad es suficiente para satisfacer los requisitos exigidos por el sistema, a dicha prueba se le conoce como rendimiento del pozo. Se puede obtener ésta información en la bitácora del perforista o con una prueba de bombeo en el pozo, de encontrarse insuficiente el pozo, será necesario modificar el sistema de bombeo para asegurar un suministro de agua adecuado para el usuario.

Al calcular la carga del sistema, las dimensiones deben ser constantes. En sistemas hidráulicos las conversiones de pies de carga y PSI se hacen fácilmente utilizando las siguientes fórmulas:

Presión (en psi) x 2.31 = carga (en pies)

Carga (en pies) x 0.433 = presión (en psi)

Por lo general, la carga del sistema se refiere a la carga total de bombeo y es la suma de los siguientes componentes

- La elevación de succión total o elevación en el pozo.
- La carga estática del sistema de descarga.
- Las pérdidas por fricción del sistema de descarga.

2.4.1 Carga dinámica total

Equivale a la carga total de bombeo más la carga de velocidad.

2.4.2 Elevación total

La elevación de succión total se calcula sumando los siguientes componentes:

- Nivel estático del agua (en pies), es la distancia vertical desde la parte superior del pozo, hasta el nivel natural del agua dentro del pozo.
- El abatimiento (en pies), es la reducción del nivel del agua estático durante la operación de la bomba, varía según el rendimiento del pozo y la capacidad de la bomba.
- Pérdidas por fricción dentro del pozo (en pies), resulta del tubo de descenso más cualquier válvula o accesorio instalado en el tubo de descenso.

2.4.3 Carga estática en el sistema de descarga

La carga estática de descarga (en pies), en cualquier sistema de descarga abierta es la elevación al nivel máximo de agua en el tanque por encima de la parte superior del pozo.

2.4.4 Pérdida por fricción

La fricción del tubo es la resistencia al flujo, creada por la superficie interior del tubo a través del cual se transporta el agua. La fricción aumenta conforme disminuye el diámetro del tubo o conforme aumenta la velocidad del flujo.

La pérdida por fricción se expresa en pies de carga por cada 100 pies de tubo y varía según el material del cual está fabricado el tubo.

Esto es para tubería nueva ya que cuando la tubería se ha usado por largo tiempo aumenta la fricción.

Para este cálculo se debe conocer el largo, diámetro y tipo de todas la tuberías, válvulas y conexiones. Se pueden determinar las pérdidas de un sistema entero, utilizando información que se encuentra en las tablas de manuales de instalación de equipos de bombeo.

Es importante elegir correctamente el tamaño del tubo, para la operación eficiente del sistema. Tubos de mayor diámetro causan menores pérdidas por fricción y podrían permitir la selección de una bomba más pequeña y económica. Sin embargo, el tubo cuesta más inicialmente y se debe balancear contra el ahorro de una bomba más pequeña.

Con la información anterior, se puede calcular la carga dinámica total del sistema y con este dato se recurre a las curvas de rendimiento de bombas, para calcular la bomba adecuada para el sistema.

Para calcular la potencia en H.P. (caballos de fuerza), del motor sumergible, lo único que se necesita es la carga dinámica total del sistema y la cantidad de galones por minuto de agua que se necesita bombear. En las curvas de rendimiento verticalmente aparece la carga en pies, horizontalmente los galones por minuto, se cruzan las líneas de carga dinámica total y de galones por minuto y en la intersección en la curva de rendimiento de bombas da el modelo de bomba y el caballaje de la misma, que es el que se utiliza para seleccionar el motor sumergible.

Con base en la potencia del motor, del diámetro del mismo, y en la profundidad en el que éste será instalado debe realizarse el cálculo del cable sumergible de alimentación del motor, para tal efecto existen tablas que detallan los calibres de los conductores de cobre tomando en cuenta los factores anteriormente detallados.

El calibre de cable correcto asegurará que se suministre el voltaje adecuado, estas tablas cumplen lo estipulado en la edición 1978 de la tabla eléctrica nacional 310-16, columna 2 referente al cable a 75 centígrados. Los amperes (propiedades de transporte de corriente de un conductor) se han dividido entre 1.25 de acuerdo por lo estipulado por la N.E.C, en su artículo 430-22 para circuitos de rama motrices, basados en amperes de motor a caballajes específicos. Para asegurar el par de arranque adecuado, se calculan los largos de cables máximos, de acuerdo con su placa de datos. Siempre se podrán utilizar cables de mayor calibre que los especificados ya que estos reducirán las pérdidas de voltaje debido a la distancia entre la fuente de alimentación y la carga.

El uso de cables de menor calibre de lo recomendado, anulará la garantía, ya que cables de menor calibre causarán una mayor caída de tensión debido a la resistividad del cobre ($\rho = 0.028$ ohms).

La forma práctica de seleccionar el cable por medio de la tabla es la siguiente

Verticalmente, la tabla muestra los diferentes caballajes de motores y horizontalmente, en la parte superior, los diferentes calibres de cables se cruzan horizontalmente y verticalmente y el punto marca la máxima profundidad a la que puede utilizarse dicho cable.

Para seleccionar el diámetro de la tubería que se va a utilizar existen tablas para tubería en acero SCH 40 y tubería PVC, las cuales indican las pérdidas por fricción, en los diferentes diámetros dependiendo del caudal en galones por minuto que se van a conducir.

La forma práctica de seleccionar el diámetro adecuado en las tablas es la siguiente

Verticalmente, la tabla muestra los diferentes caudales en galones por minuto y horizontalmente en la parte superior los diferentes diámetros de tubería, se cruzan horizontalmente y verticalmente y el punto marca la fricción que actúa en esas condiciones, se escoge la menor fricción y ese es el diámetro de tubería a utilizar.

Este número que aparece hay que multiplicarlo por cada 100 pies de tubería, para encontrar la carga del total de la tubería.

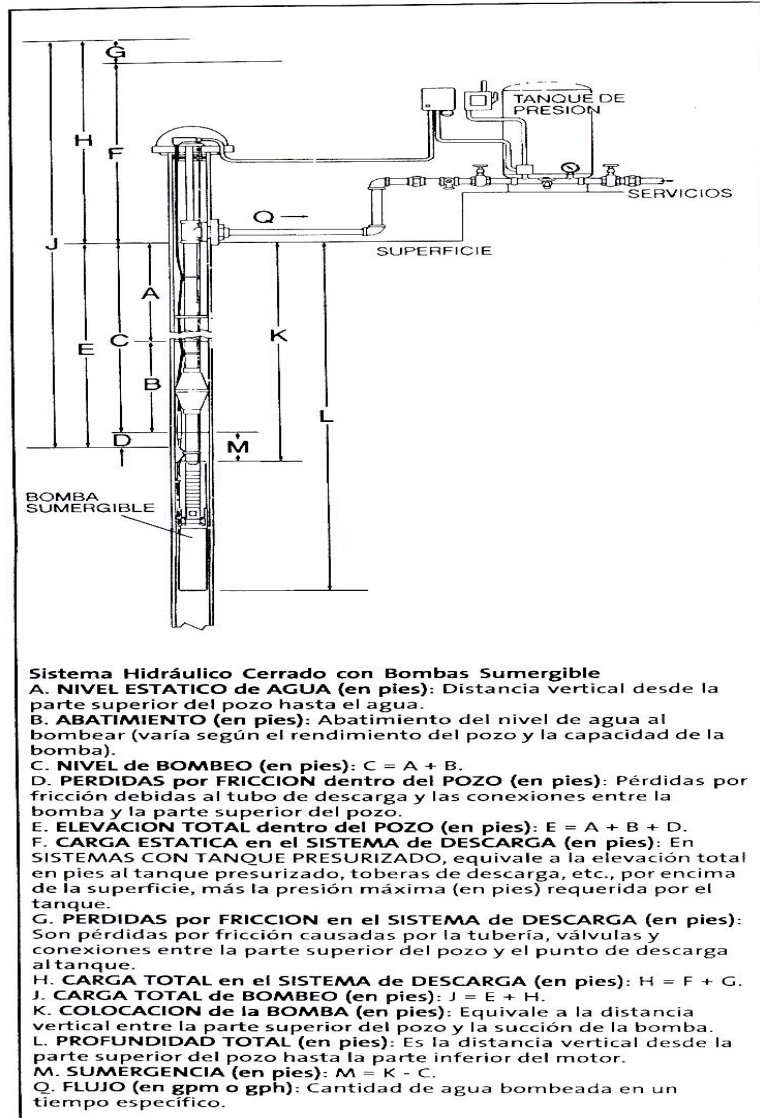
La forma práctica de calcular las pérdidas por fricción, en válvulas y conexiones es la siguiente:

Verticalmente, la tabla muestra los diferentes tipos de conexiones y válvulas y horizontalmente en la parte superior los diferentes diámetros de conexiones y válvulas, la intersección de los dos ejes del plano marca la fricción en pies de cada accesorio equivalente en tubería recta.

2.5 Funcionamiento del equipo de bombeo

En un sistema hidráulico cerrado, se utiliza un tanque de almacenamiento para acumular el agua, mantener la presión del sistema dentro de límites especificados (por ejemplo, de 30 a 50 PSI) conforme aumenta el nivel de agua dentro del tanque, se comprime el aire en su parte superior hasta que se alcanza el límite superior de presión (por ejemplo, 50 PSI). En el momento de corte, un interruptor de presión abre el circuito eléctrico al motor y se para la bomba.

Figura 1. Sistema de bombeo sumergible cerrado.



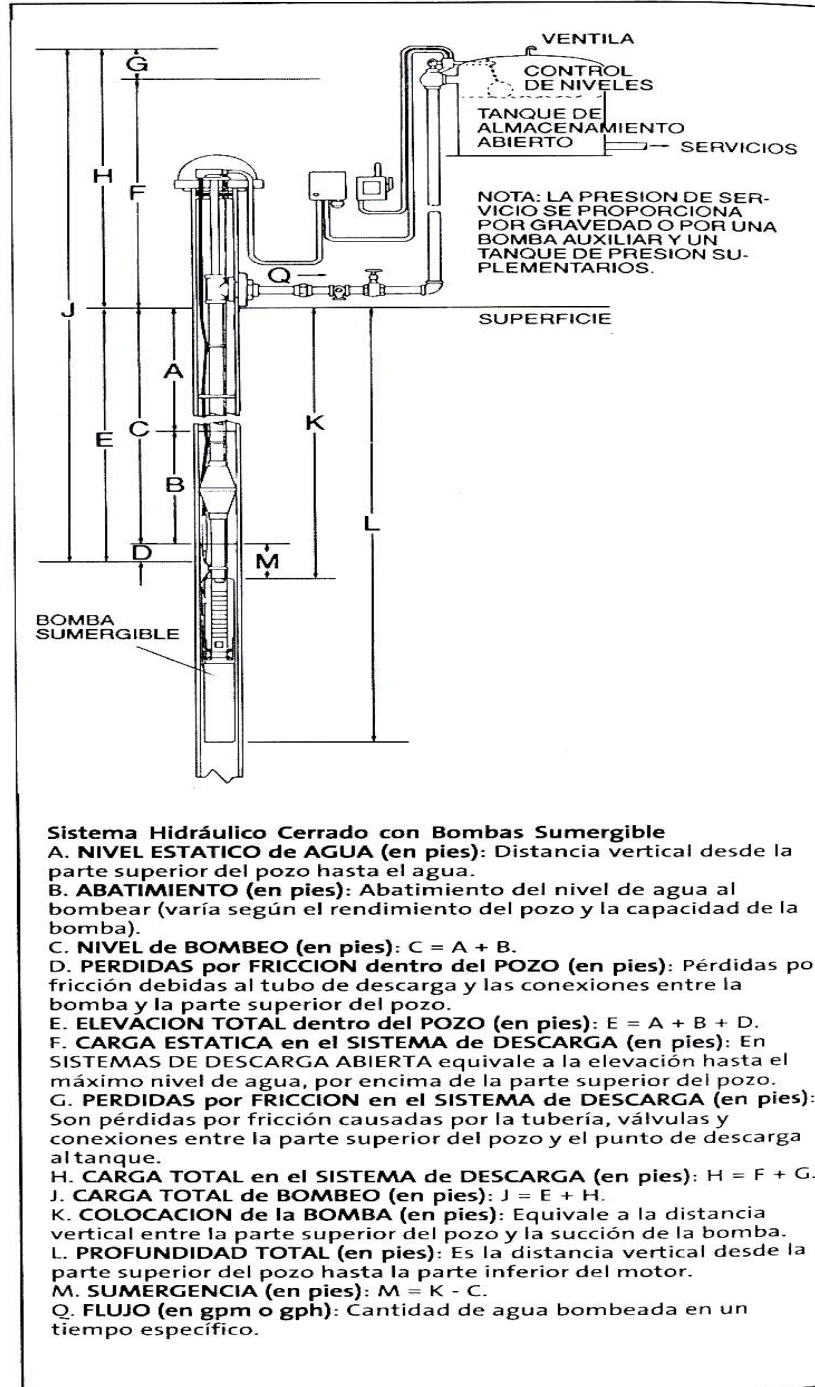
Fuente: Grundfos Inc. Catálogo para bombas sumergibles Información técnica Pág. 8-2

El aire comprimido dentro del tanque actúa como un resorte empujando el agua hacia abajo, para crear presión en el sistema. Cuando se abre una válvula en el sistema hidráulico, la presión del aire en la parte superior del tanque hace que el agua fluya fuera del tanque hacia el sistema. Conforme el agua sale del tanque, el aire ocupa un espacio mayor y baja la presión hasta alcanzar el límite inferior (por ejemplo, 30 PSI). En el momento del corte, el interruptor de presión cierra el circuito eléctrico del motor y se enciende la bomba y por lo tanto, se completa un ciclo.

En un sistema hidráulico automático abierto, se utiliza la bomba para llenar un tanque de almacenamiento elevado grande, que utiliza la gravedad para mantener la presión del sistema.

Los controles de nivel del tanque se utilizan para que la bomba mantenga los niveles de agua dentro de límites estipulados.

Figura 2. Sistema de bombeo sumergible abierto.



Fuente: Grundfos Inc. "Catálogo para bombas sumergibles" Información Técnica

Pág. 8-2.

2.5.1 Carga y presión

La carga y la presión se relacionan de manera muy sencilla, ya que el agua posee un peso conocido. Se sabe que un tubo de una pulgada cuadrada y de 231 pies de alto tiene capacidad para cien libras de agua. Cuando se hace referencia a la presión, se supone 100 libras por pulgada cuadrada (PSI), en la parte inferior de un tubo de una pulgada cuadrada. Para un tubo de 231 pies de largo y de cualquier dimensión, la presión siempre será de 100 PSI en su parte inferior.

Por lo general, la carga se expresa en pies y se refiere a la altura o elevación de la columna de agua. Cuando se refiere a agua 2.31 pies de carga equivale a 1 PSI.

Se debe mencionar que las lecturas de carga y de presión para agua que no fluye, dependen de la elevación del agua y no del volumen de agua ni del tamaño ni largo de la tubería.

2.5.2 Perdida de flujo y fricción

El flujo se mide como el volumen de agua que se transporta dentro de un tiempo definido. Por lo general tratándose de flujos mayores, se mide en galones por minuto (GPM) y para flujos menores, se mide en galones por hora (GPH), cuando el agua fluye dentro de un tubo, debe superar resistencia por la fricción generada conforme pasa por las paredes del tubo, y la resistencia causada por su propia turbulencia. En conjunto estas pérdidas se denominan pérdidas por fricción.

3. PERFORACIÓN Y EQUIPAMIENTO DEL POZO

3.1 Estudio hidrológico

Se hizo una visita a un área de la aldea Buena Vista, situada aproximadamente 2 Km. Al poniente de la aldea la Laguneta ambas en jurisdicción de Chinautla.

El objetivo era evaluar la potencialidad del agua subterránea del lugar para la perforación de un pozo mecánico en el área alta de la aldea Buena Vista, jurisdicción del municipio de Chinautla, Guatemala.

La información ha sido recabada de la visita de campo al lugar de interés y de datos recopilados de la bibliografía existente sobre el particular.

La zona estudiada está ubicada al poniente de la aldea la Laguneta y al oriente del núcleo poblacional de la aldea Buena Vista.

El sitio propuesto se encuentra a una elevación de 1660 msNM.

3.1.1 Geología de la superficie

Superficialmente el área está cubierta por depósitos volcánicos aéreos como cenizas y pómez. Abajo del punto de perforación, a la orilla, afloran rocas ígneas intrusivas del tipo diorita color blanquecino a parduzco donde se encuentran fragmentadas. En su composición es común la presencia de cristales visibles de cuarzo y minerales de composición ferromagnésica.

Son rocas sólidas con porosidad y permeabilidad primaria casi nula. Los afloramientos son muy buenos y se aprecia que la roca se encuentra moderadamente fracturada, se disgrega en pequeños bloques donde se encuentra más influenciada por el tectonismo. Esta característica física de partición de la roca es favorable para la circulación y almacenamiento de agua subterránea en profundidad.

Dentro de las diaclasas es común encontrar relleno de suelo liso arcilloso color pardo rojizo proveniente de la descomposición parcial de la roca en las partes montañosas altas.

En superficie, la roca presenta coloraciones entre gris a gris rojizo claro a veces brillante con cubierta de suelo limo-arcilloso amarillento claro. Particularmente en el sitio, estas rocas están cubiertas por los depósitos volcánicos cuyo espesor se estima que no es muy potente.

Geológicamente, es una zona de edad transicional entre el Cretácico Superior y el Terciario Inferior, y cuyo cuerpo litológico fue instruído dentro de las rocas carbonatadas (calizas y dolomías) de edad cretácica y que afloran al oriente del área de interés a la altura de la aldea La Laguneta.

Topográficamente, la región está ubicada aproximadamente a 1650 msnm a 280 m sobre el puente del río Las Vacas (colonia Santa Marta) y 250 m por encima del cauce del riachuelo que corre con dirección norte – sur y que atraviesa la población de Buena Vista al poniente del sitio propuesto para perforar.

3.1.2 Geología subsuperficial

De acuerdo con la información litológica observada en los alrededores y de bibliografía existente para la zona, el subsuelo podría estar constituido desde la superficie hacia abajo, por la siguiente litología

- Cenizas volcánicas de moderada compactación y que permiten buenas tasas de penetración o avances de perforación altos.
- Rocas ígneas intrusivas del tipo diorítico y granodiorítico. Es muy probable que el mayor porcentaje de profundidad del pozo propuesto, quede dentro de esta unidad litológica.

- Alternancia de calizas y dolomías que corresponden a la secuencia carbonatada que aflora en la aldea La Laguneta (al oriente de Buena Vista) es muy difícil proporcionar la profundidad a la cual se encontrará debido al tectonismo de la zona y carencia de datos subsuperficiales propios para el sitio.

3.1.3 Hidrología

La red de drenajes fluvial es escasa ya que existen muy pocos riachuelos estacionarios, poco desarrollados debido a las características del substrato rocoso muy resistente a la erosión, lo que ha permitido que el desarrollo de la misma sea lenta.

Además, debido al diaclasas para la roca superficial, parte del agua de lluvia se infiltra a través de los espacios de las mismas, por lo que disminuye la cantidad susceptible de escurrir con la consiguiente disminución del poder erosivo.

Únicamente se observan pequeños riachuelos estacionales que se activan durante la época de lluvia conduciendo las aguas pluviales hacia el río Las Vacas en lo que es la vertiente sur de la montaña. A 1 Km, poniente del sitio propuesto para la perforación del pozo mecánico, circula un riachuelo conduciendo aguas pluviales en la época lluviosa.

Según información de moradores del lugar, dicho riachuelo en la época de estiaje (periodo sin lluvias) no se seca por completo sino que todavía transporta agua (flujo base). No se observó presencia de aguas negras en el citado riachuelo.

De acuerdo con datos meteorológicos para el área de estudio, la precipitación pluvial media es alrededor de 1150 mm de lluvia / año distribuido en aproximadamente 110 días al año. Esto permite inferir que llueven 1150 litros por metro cuadrado anualmente.

No obstante lo anterior, el sitio propuesto se encuentra en una zona topográficamente elevada, está aunado con una evapotranspiración potencial media según método de Thornthwaite más escorrentía superficial, se estima en alrededor de 900 mm / año, lo que resulta en una infiltración teórica o reserva de ser infiltrada al subsuelo de 250 mm / año que alimenta a los mantos acuíferos de la zona.

3.1.4 Unidades hidrogeológicas

Puede concluirse que los acuíferos que puedan estar presentes en el subsuelo de Buena Vista, corresponden principalmente con la siguiente litología:

- **Rocas ígneas intrusivas fracturadas**

Constituidas por la rocas dioríticas fracturadas y que presentan manifestaciones de agua subterránea en forma de manantiales 1 Km. Al poniente del sitio. Esta observación es muy importante ya que demuestra la circulación del agua a través de las fracturas. Esto quiere decir que la porosidad y por ende la permeabilidad, son secundarias ya que la roca en sí es prácticamente impermeable debido a la matriz densa por el empaquetamiento de los minerales que contiene.

Se estima que su porosidad total sea entre 1 a 10 % mientras que la porosidad eficaz no pueda ser $> 0.01\%$ (volumen de agua drenado por gravedad / volumen total de una muestra sometida a saturación previa, Sanders, 1988) lo que en parte puede indicar alta retención específica (volumen de agua que queda mojando los granos que constituyen el medio acuífero).

- **Rocas carbonatadas**

De llegarse a presentar este tipo de rocas consistentes en calizas y dolomías, se puede esperar dos situaciones

- a) Si las rocas no presentan fracturamiento más carsismo, existirá la posibilidad de encontrar acuíferos con pobre rendimiento.
- b) Si las rocas presentan carsificación que es lo más probable en profundidad, se espera que el rendimiento del acuífero sea mejor ya que su porosidad y conductividad hidráulica son mejores para almacenar y permitir la circulación de agua subterránea. Sus características de permo-porosidad se presentan a continuación:

Tabla I. Permoporosidad de rocas cartificadas

Tipo de roca	Porosidad total	Porosidad eficaz
Calizas y dolomías no cartificadas	0.1-0.25%	0.1-0.5%
Calizas y dolomías cartificadas	5-50%	5-40%

Fuente: Dictamen Hidrogeológico Pág. 5

De acuerdo al estudio hidrológico se puede concluir

- Que el área de Buena Vista reúne condiciones favorables para explotar el recurso de agua subterránea siempre y cuando al pozo se le dé la profundidad y diámetro adecuado.
- El principal acuífero a explotar será el constituido por las rocas dioríticas fracturadas que presentan buen porcentaje de porosidad secundaria y buena transmisividad (producto de la permeabilidad por el espesor del acuífero).
- Por la posición relativa topográficamente alta del sitio sugerido por los miembros del comité de Buena Vista, respecto a los cauces de los riachuelos y al colector principal de la zona (río las Vacas), es necesario profundizar el pozo lo máximo posible.

De acuerdo a lo concluido anteriormente es recomendable lo siguiente

Sí es factible la explotación del agua subterránea por medio un pozo mecánico.

Perforar un pozo en el área propuesta, que debiera tener por lo menos 1000 pies de profundidad lo cual podrá variar según los datos progresivos que se vayan obteniendo durante el proceso de perforación (análisis de las muestras litológicas, parámetros de perforación, etc.). El método de perforación será del tipo rotativo. El diámetro de perforación será de 12 ¼" o de 14" si es necesario.

Realizar el entubado con tubería de 8" de diámetro interno tipo acero negro norma ASTM A53B de 0.25" de espesor de pared con extremos biselados para soldar. En caso se llegasen a presentar problemas de derrumbe de las paredes del pozo en los primeros pies, será necesario revestir con tubería de acero negro de 12" de diámetro interno en el tramo que presente estos problemas para proseguir con éxito la perforación.

La longitud de la tubería ranurada ya sea de fábrica o realizada con acetileno a instalar, se estima que serán entre 380 y 420 pies, la cual podrá variar según el desempeño del nivel estático del agua o del fluido de perforación (pérdidas o ganancias) durante la ejecución de los trabajos y de las formaciones geológicas atravesadas.

El filtro de grava deberá quedar 20 pies por encima del nivel del agua que se recupere después del aforo del pozo. Encima de este empaque deberá quedar un sello sanitario de cemento de 15 pies de espesor y arriba un relleno con material selecto de hasta 10 pies antes de llegar a la boca del pozo, intervalo que deberá ser rellenado con otro sello sanitario de cemento.

Se sugiere entre 60 y 80 horas de limpieza ya sea con el método de cubeteo o con compresor. La cantidad de horas es estimada la cual podrá variar dependiendo de las formaciones geológicas atravesadas, consumo de lodo de perforación, etc. El aforo deberá ser por lo menos de 24 horas continuas y medir recuperación durante el mismo periodo o cuando el nivel del agua vuelva a su profundidad inicial antes del bombeo (nivel estático) o cuando se estabilice a determinada profundidad.

Estas características aparte de las condiciones del subsuelo, lógicamente dependerán de la cantidad de fondos disponibles para la construcción del pozo. Lo que se trata siempre es que éste penetre lo más posible dentro del espesor saturado y así asegurar el mejor rendimiento posible y mayor vida útil.

3.1.5 Necesidades de energía eléctrica

Para la extracción del agua del pozo, se estima que será necesario instalar una bomba entre 30 y 50 HP, por lo que será necesario energía eléctrica de 460 voltios, la potencia dependerá principalmente de los resultados del aforo y necesidades del proyecto.

3.1.6 Caudal de explotación

De acuerdo con los resultado obtenidos durante el aforo, se recomendó un caudal de explotación no mayor al 80 % del obtenido durante esta prueba.

3.2 Movilización y transporte de materiales

Los materiales utilizados, en la perforación del pozo mecánico son Barro, material que sirve para la formación de lodo de perforación, para el pozo se acarrearón 7 camionadas de barro de 5 m³ cada una para un total de 35 m³ . Cal, material que se mezcla con el barro para darle viscosidad al lodo de perforación, se utilizaron 40 quintales de cal para darle finalización al pozo.

Grava de 3/8", material que sirve para la formación del filtro de grava del pozo, se acarrearon 2 camionadas de grava de 3/8" de 5 m³, cada una para un total de 10 m³.

Agua, sirve para la mezcla de el barro y la cal para formar el lodo de circulación, se acarrearon 42 cisternas de agua 1000 galones cada una, para un total de 42 mil galones de agua.

3.3 Montaje y desmontaje de la maquinaria

Se trasladó la máquina rotativa, del predio en la zona 13 de la ciudad capital, al punto de perforación. Estando en el lugar se siguió con la nivelación del terreno ya que estaba muy irregular no había acceso para la máquina de perforación. Se montó el equipo de perforación, se elevó la torre de la máquina, se niveló la máquina por medio de sus patas hidráulicas, para empezar a perforar el pozo y que este inicio fuera lo más vertical posible.

3.4 Acarreo del lodo de perforación

Esto consiste en la fabricación de una fosa a 3 metros del pozo, con 2 metros de ancho por 3 metros de largo y 1 metro de profundidad, para depositar el lodo de perforación, que por medio de una bomba está en constante circulación, la formación del lodo de perforación se inicia llevando el barro cerca del pozo, en el cual hay un molino para barro, se procede a moler el barro en seco y se le va aplicando cal mientras se está moliendo, seguidamente se hecha esta mezcla a la fosa y se le aplica agua para formar el lodo de circulación.

Se mide la viscosidad con el embudo de Marsh, correspondiente a un rango de 35 a 45 segundos. Si el lodo recoge arena y aumenta su peso específico hasta 1.20 Kg/litro, la viscosidad según el embudo será de unos 43 segundos. Cuanto mayor sea la densidad de un lodo que contenga arena, mayor será la viscosidad con que fluye del embudo.

3.5 Perforación de un pozo mecánico

Según el estudio hidrológico, se recomendó perforar un pozo con una profundidad mínima de 1000 pies. El método de perforación del tipo rotativo y el diámetro de perforación de 12 ¼". El encamisado con tubería de 8" de diámetro interno tipo acero negro norma ASTM A53B de 0.250" de espesor de pared con extremos biselados para soldar.

Se trasladó la máquina al área de perforación, se niveló el terreno para poder instalar la máquina y proceder a elevar y nivelar la torre. Se hizo la fosa para depositar el lodo de perforación, con 2 metros de ancho, 3 metros de largo y 1 metro de profundidad para una capacidad de 6 m³.

Se montó el equipo, se acopló el barrenado, la barra de peso, las tijeras de perforar y el porta-cable giratorio y se inició la perforación del pozo.

Se preparó el lodo de perforación, se empezó a moler el barro, se agregó cal y agua hasta lograr la densidad deseada, y se hizo circular el lodo a través de la bomba.

Para lograr la circulación del lodo se hizo la zanja de corrimiento de lodo.

Al inicio de la perforación se presentó el terreno duro durante los primeros 70 pies pero fue poniéndose suave mientras avanzaba la perforación, la primera formación fue de cenizas, pómez y rocas ígneas intrusivas del tipo diorita.

Se preparó más lodo de perforación ya que la cantidad de lodo, depende de la circulación y el nivel se marca en la fosa, conforme va bajando el nivel se muele más barro se le agrega la cal y el agua para mantener la cantidad deseada.

A los 390 pies la formación seguía igual que al inicio y bastante dura, se sacó la un grupo de perforación para darle servicio de mantenimiento a la bomba y revisar los filos de la broca. Se repararon los filos de la broca y se revisaron los pistones de la bomba de lodos, se insertó el grupo de perforación, se llenó la fosa de lodos y se siguió con la perforación del pozo.

A una profundidad de 500 pies se sacó el grupo de herramientas para engrasar todo el equipo, y así se siguiera perforando sin ningún problema.

A los 600 pies de profundidad se encontró roca bastante dura y disminuyó el avance de la perforación por la formación que se encontró, se molió barro, y se mezcló con cal y agua para nivelar la fosa de lodos nuevamente.

Se rimaron los primeros 100 pies perforados, se sacó el grupo de perforación para cambiar broca ya que por la formación se dañaron los filos y se colocó una broca nueva, se bajo el grupo de herramientas de perforación y se continuo con la perforación.

Se perdió circulación se molió mas barro se mezcló con cal y agua para llenar la fosa y mejorar la circulación de lodo.

Se continuó rimando hasta los 640 pies, empezó a ocasionar derrumbes, y se tenía que dar circulación de lodo cada 20 pies, para poder cambiar el tubo de perforación, se sacó el grupo de herramientas de perforación para cambiar broca y revisar bomba de lodos.

Se rimó el pozo hasta 900 pies, se niveló la fosa de lodos, y terminó la perforación hasta los 1000 pies, totalmente rimados a un diámetro de 12 ¼", con buena circulación, y con un nivel estático de 175 pies, buena cantidad de agua para esperar un buen caudal al aforar el pozo.

Según el perforador, con la circulación que se le dio al pozo en la perforación la cantidad de agua que se tenía al momento de estar perforando, y el nivel estático que se encontró, el pozo puede tener una producción de por lo menos 80 galones por minuto. Esto solo se va a determinar después del desarrollo del pozo que es la limpieza con cubeta, extrayendo lodos y agua al estar limpio, se sigue la prueba de bombeo (aforo) que son 24 horas de bombeo continuas para saber que tantos galones por minuto producirá el pozo.

3.6 Perfilaje y control de muestras

El control de muestras se lleva a cabo mediante se va profundizando el pozo, a cada 20 pies perforados se toma una muestra, del lodo de circulación. En la entrada a la fosa de lodos se coloca un colador, en el cual quedan fracciones de roca las cuales el perforador va tomando y las va colocando en bolsas plásticas en el orden en que avanza la perforación.

Según lo reportado por el perforador, en general la formación en la perforación del pozo, es piedra dura y arcilla de color café, que después de haber estudiado las muestras tomadas se concluyó lo siguiente

La formación que presentó el pozo en los primeros 400 pies es de rocas ígneas intrusivas del tipo dioritas de color gris blanquecino a parduzco, también hay presencia de grandes cantidades de arcilla.

De 400 a 800 pies la formación se presentó más compactada y un porcentaje mayor de rocas calizas y dolomías lo que hicieron que la velocidad de perforación disminuyera ya que este tipo de rocas es muy dura.

De 800 a 1000 pies la formación se tornó de rocas carbonatadas, que presentan un grado de dureza grande, lo que dificultó la culminación del pozo ya que la velocidad de perforación fue más lenta que en los primeros 800 pies.

Las rocas ígneas intrusivas encontradas, fueron del tipo fracturadas por lo que existe una buena presencia de agua subterránea, esto es muy importante porque presenta circulación de agua por medio de las fracturas.

Las rocas carbonatadas encontradas, presentan cartificación por lo que el rendimiento del acuífero es muy bueno.

3.7 Encamisado con tubería de acero al carbono

Lo recomendado para encamisar el pozo es, con tubería de 8 pulgadas de diámetro interno tipo acero negro norma ASTM A53B de 0.250 pulgadas de espesor de pared, con extremos biselados para poder ser soldados.

Figura 3. Tubería de acero al carbón liso biselado



Fuente: <http://www.anahuac.com.mx/pozos/encamisado/tucotasteelproducts>

El diámetro exterior de este tipo de tubería es de 8 5/8 pulgadas.

La cédula de esta tubería es número 40, el peso es de 11.35 libras por cada pie de longitud, o sea que cada tubo de 20 pies pesa 227 libras.

La presión de prueba de la tubería, es de 520 libras por pulgada cuadrada.

El punto de fluencia es de 30000 PSI, y la resistencia a la tensión es de 48000 PSI. Este tipo de tubería es fabricado especialmente para ademe (encamisado) de pozos mecánicos.

Con la máquina perforadora, por medio de los collarines se sujeta el primer tubo, a cada tubo se le sueldan dos sujetadores de hierro para poder ser levantados con el collarín, se sujeta el primer tubo y se levanta por medio de los cables y las 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 la boca del pozo y se procede a levantar el otro tubo.

Este se coloca encima del primer tubo bien alineado y que los biseles se encuentren para poder ser soldados después de haber terminado la soldadura en todo el contorno del tubo. Se baja el segundo tubo se sostiene por medio de la plancha metálica, y así sucesivamente hasta encamisar todo 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 finalmente hacer el filtro de grava y el sello de cemento.

3.8 Ranuración de las pichachas

Esto consiste en hacerle ranuras de ¼” de ancho por 12” de largo a la tubería de forma alternada, que es lo más usual, en su contorno, para que el agua se filtre al pozo, este tipo de ranura es hecho a mano con acetileno. El técnico marca la tubería y hace 160 ranuras alternadas por cada tubo de 20’ de longitud y 8” de diámetro, las ranuras van a 6” entre cada ranura.

En la aldea Buena Vista no se hizo ranuración de pichachas, porque se instaló rejilla comercial tipo tucota la única diferencia es que en esta tubería la ranura es hecha a máquina.

3.9 Rejilla comercial tipo canastilla o tucota

La rejilla tucota es la tubería que va ranurada en el ademe del pozo, para filtración de agua, en la capas profundas de la tierra, sin ellas sería imposible, acumular el agua de los mantos acuíferos subterráneos, en el interior del pozo.

Figura 4. Tubería con rejilla comercial tucota

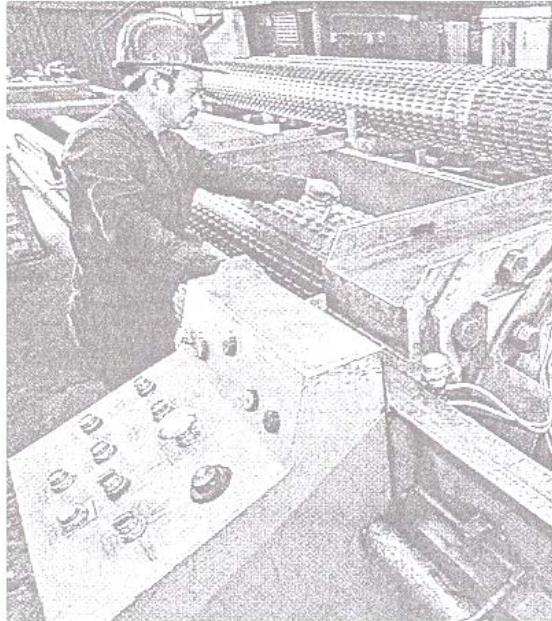


Fuente: <http://www.anahuac.com.mx/pozos/encamisado/tucotasteelproducts>

En el pozo de la aldea Buena Vista se instalaron 500' de tubería con rejilla comercial tipo tucota con ranuras alternadas, de 2" de largo y 0.012" de ancho y con distancia entre centros de ranuras de 6".

Para mantener la calidad y precisión, se utilizan las máquinas ranuradoras B&W. Usadas para el ranurado del tipo recto, y las máquinas SISCO para el proceso de ranuración tipo canastilla, lo que permite que los ranurados tengan larga duración.

Figura 5. Máquinas ranuradoras B&W para fabricar rejilla tucota



Fuente: <http://www.anahuac.com.mx/pozos/tucotasteelproducts/productionsystems>

Con la máquina B&W se puede ranurar tubería desde 2 3/8" hasta 20" y mayores del diámetro exterior.

3.9.1 Corte de ranuras

Los cortes de ranuras que puede fabricar son recto (normal a la pared del tubo) y oblicuo (mayor abertura en la pared interior del tubo).

3.9.2 Ubicación de las ranuras

Alternadas (usual) alineadas (opcional) aisladas y agrupadas (grupos de cuatro ranuras).

3.9.3 Ancho de las ranuras

Las ranuras aisladas, corte recto de 0.012" a 0.500", corte oblicuo de 0.020 a 0.80". Ranuras agrupadas, corte recto únicamente de 0.12" a 0.80".

3.9.4 Información adicional

Para obtener el número de ranuras o grupo de ranuras por metro de tubo, se utiliza la siguiente fórmula: (1)

$$N = F \times 6.5$$

En donde:

N = Número de ranuras o grupo de ranuras por metro de tubo.

F = Número de filas de ranuras, o grupos de ranuras alrededor del tubo.

6.5 = Número de ranuras o grupo de ranuras en una fila, por metro de tubo.

Para obtener el número de ranuras individuales en el caso de tubos con ranuras agrupadas se utiliza la siguiente fórmula: (2)

$$S = 4N$$

En donde:

S = Número de ranuras por metro de tubo, para el caso de tubos con ranuras agrupadas.

N = Número de grupos de ranura, calculados con la fórmula (1).

4 = Número de ranuras que forman un grupo.

Para obtener el área de infiltración, por metro de tubo, en centímetros cuadrados, ya sea para ranuras aisladas o agrupadas, se utiliza la siguiente fórmula:

$$I = N(\text{ ó } S) \times A \times 5.08$$

En donde:

- I = Área de infiltración, por metro de tubo en centímetros cuadrados.
- N ó S = Número de ranuras por metro de tubo calculados con las formulas (1) o (2) según sea el caso.
- A = Ancho de ranuras, en centímetros.
- 5.08 = Longitud de ranuras en centímetros.

Para obtener la distancia entre los centros de las ranuras, en el sentido circunferencial del tubo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$C = \pi \times D/F$$

En donde

- C = Distancia entre centros de ranuras (o centro de grupos de ranuras) en sentido circunferencial en centímetros.
- D = Diámetro exterior del tubo, en centímetros.
- F = Número de filas ranuras (o grupos de ranuras) alrededor del tubo.

El valor de C, es la distancia entre centros de ranuras, para el caso de que éstas estén alineadas. Si se quiere obtener la distancia entre ranuras alternadas, ésta será igual a 2 C.

La distancia entre los centros de ranuras, en el sentido longitudinal del tubo deberá ser de seis pulgadas, entretanto la longitud normal de las ranuras será de dos pulgadas; mientras que el número de ranuras por metro de tubo, sobre el mismo eje, suponiendo longitud de ranuras de dos pulgadas, y separación entre centros de seis pulgadas serán de 6.5 ranuras.

Para el ademe del pozo mecánico, de la aldea Buena Vista, se utilizaron 25 tubos de 8" de diámetro por 6 metros de largo, que completan 500 pies de tubería ranurada.

Las ranuras que se usaron fueron las alternadas, con una longitud de 5.08 cm. Con una distancia de 7.62 cm entre centros longitudinales entre centros de ranuras.

El corte de las ranuras fue del tipo recto con un ancho de 0.250".

El pozo tiene una profundidad de 1000 pies de los cuales los primeros 500 pies tienen tubería lisa, y de 500 a 1000 pies tubería ranurada tipo tucota.

3.10 Filtro de grava

Para la colocación del filtro de grava, se necesita grava de 3/8" ya que ésta es bastante uniforme, lo que se necesita lograr al momento de echar la grava es que se deje caer en grumos.

Para lograr que el material no caiga como elementos individuales, el objetivo es que alcance el fondo del pozo sin separarse.

Para lograr esta uniformidad y depositar el material se necesita de un embudo, se coloca en la punta del embudo tubería de 2" de diámetro y se va depositando la grava en el espacio anular entre la tubería de encamisado y el pozo, conforme se deposita el material se va levantando el embudo para que el mismo se acomode y a la vez envuelva a la rejilla, se le aplica agua para evitar que queden espacios vacíos entre el tubo y la grava.

Lo fundamental del filtro de grava es que forme un encamisado, el material sirve para filtrar el agua que entra al pozo por medio de la rejilla sin partículas de regular tamaño y lodos, para lograr que el agua sea limpia y sin sólidos.

Cuando el pozo produce arena, el filtro de grava juega un papel muy importante ya que evita que la arena entre al pozo, y cuando ésta es muy fina el filtro logra que la cantidad de arena que entre al pozo sea mínima, logrando con esto proteger el equipo de bombeo y principalmente, un chorro de agua sin arena.

El pozo tiene 1000 pies de profundidad, con 12 ¾" de diámetro y tubería de encamisado de 8" de diámetro, para lograr llenar el espacio anular del pozo se necesito de 8 m³ de grava de 3/8" (piedrin de 3/8").

Cuando el pozo produce exceso de arena y ésta es muy fina, el filtro de grava se hace insuficiente, la arena pasa al pozo y se convierte en un pozo arenoso, esto se vuelve un problema ya que el agua no es pura, y el equipo sumergible especialmente los impulsores de la bomba se dañan, sufren mucho desgaste y la misma colapsa.

En este caso se hace necesario la instalación de una camisa desarenadora, que consiste en un tubo en forma de camisa que cubre la bomba y motor y tiene unos agujeros tangenciales por los que ingresa la arena y por medio de unas aspas y la velocidad tangencial del agua hace que la arena choque con las paredes de la camisa y ésta caiga al fondo de la camisa desarenadora, y cuando el peso es grande vence una compuerta y ésta arena regresa al fondo del pozo, esto es lo que comúnmente se denomina desarenador centrífugo.

3.11 Sello sanitario de cemento

El filtro de grava quedó 20 pies encima del nivel estático, seguidamente se coloca el sello sanitario de cemento, su principal objetivo es evitar el movimiento ascendente de la grava cuando se esté bombeando, mantiene la grava en su lugar.

El sello sanitario de cemento debe tener 15 pies de espesor llenando todo el espacio anular, para este sello se mezcla arena, piedrín, cemento y agua, en proporciones de 1 m³ de arena, 1 m³ de piedrín, ½ m³ de cemento, al cual se le echa agua hasta formar una mezcla pastosa, que se deposita uniformemente en el espacio anular entre la tubería y el pozo.

Encima de este sello se rellena con selecto hasta 10 pies antes de llegar a la boca del pozo, intervalo que deberá ser rellenado con otro sello de cemento, de 2 pies de espesor y se le hace una formaleta para que quede una plancha de cemento en la superficie del pozo.

Este último sello de cemento, sirve para evitar que entre cualquier contaminación superficial al pozo por medio del filtro de grava.

3.12 Desarrollo y limpieza del pozo

Esto 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.

3.12.1 Desarrollo del pozo

Esto consiste en extraer el lodo que queda en el fondo después de ser terminado el pozo y haber sido encamisado. El lodo que queda en el fondo del pozo, que comúnmente se llama relleno de pozo, son casi siempre entre 30 y 60 pies del barro, que tienen que ser extraídos por la cubeta, hasta dejar sin nada de residuos el fondo del pozo, en este momento termina el desarrollo del pozo.

3.12.2 Limpieza del pozo

Después de haber sacado todo el lodo del fondo del pozo, queda un lodo líquido y se sigue cubeteando, la cubeta es un tubo de 6" de diámetro que en el fondo tiene una compuerta (válvula cheque) que cuando ésta 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.

En la superficie cuando la cubeta es asentada al tubo descargador de lodo, sale el lodo automáticamente y así sucesivamente se repite el ciclo durante horas.

3.12.3 Pistón de limpieza

Esta herramienta consiste en un tubo de 4" de diámetro y 2 m de largo con un pistón de 8" de diámetro, que son circunferencias de hule, para poder limpiar las paredes internas del encamisado del pozo.

Esto se logra bajando y subiendo el pistón durante por lo menos 2 horas continuas.

3.12.4 Cepillo de limpieza

Esta herramienta consiste en un tubo de 4" de diámetro y 2 m de largo con un cepillo circular de alambre, de 8" de diámetro por 4" de espesor. El objetivo principal del cepillo es limpiar con sus cerdas metálicas las ranuras de la rejilla tipo tucota, ya que a veces el lodo tapa estas rejillas y no deja penetrar el agua al pozo, funciona subiendo y bajando durante 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 que sustrae la cubeta es clara y no contiene ningún tipo de lodo.

El técnico de limpieza, procede a medir el nivel estático del pozo, la profundidad después de haber terminado la limpieza, y lo que es muy importante el nivel del agua en el cubeteo continuo, ya que aquí el determina, aproximadamente la cantidad de galones por minuto que pueda producir el pozo.

Con estos datos se procede a calcular el equipo de bombeo para poder hacer la prueba de bombeo (aforo).

Es recomendable que al terminar el pozo y posteriormente el encamisado del mismo, se proceda a hacer el desarrollo y limpieza ya que si se deja un tiempo prolongado para hacer la limpieza, el lodo que queda en el pozo, podría endurecerse y tapar la rejilla, evitando que el agua pueda entrar, por mas que se cepille, y se limpie con el pistón y la cubeta, el pozo presenta problemas de mala producción de agua.

Esto traerá el problema de alargar la limpieza, inyección de agua al pozo y la aplicación de un químico para aflojar el lodo pegado en las paredes del tubo y las rejillas.

3.13 Aforo de 24 horas

Con los datos obtenidos de el resultado de la limpieza se procede a llevar el equipo de bombeo (motor 40 HP, bomba 40 HP, cable num. 4/3 y línea de aire ¼"). Se llevó el equipo de bombeo al lugar, se instaló y se procedió hacer el aforo, 24 hrs. de bombeo continuo.

Después de haber instalado el equipo de aforo y colocar la descarga de bombeo (tubo de 3" 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 de 40 HP y un generador Diesel de 100 KW que es suficiente para un equipo de bombeo de hasta 50 HP.

El técnico de aforo tiene un piezómetro colocado en la parte alta de la descarga, para medir la pulgadas de agua. Tiene un manómetro para estar midiendo por medio de la línea de aire e inyectándole oxígeno, las libras por pulgada cuadrada de presión, en el inicio a cada 10 minutos y cuando el pozo está estable a cada hora, también tiene un amperímetro para controlar los amperios consumidos por el motor eléctrico y estar seguro de que no hay sobrecalentamiento en el motor.

Con los datos de PSI, profundidad a la que fue instalada la bomba y las pulgadas del piezómetro, se procede a calcular el nivel estático, nivel dinámico y la producción en galones por minuto que se tabula en una hoja de aforo.

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 quedará instalado en el pozo.

3.14 Cálculo del equipo sumergible (motor, bomba, cables y tubería)

La información obtenida en la aldea Buena Vista, y los datos arrojados por el aforo son suficientes para poder calcular el equipo de bombeo completo.

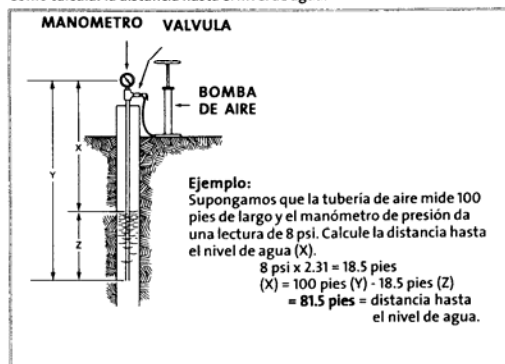
3.14.1 Cálculo de la bomba sumergible

Primero se calcula la CDT (Carga Dinámica Total) que hay, para poder calcular la bomba sumergible.

$$\text{CDT} = \text{ND} + \text{carga pozo al tanque} + \text{carga de fricción}$$

Figura 6. Cálculo del nivel dinámico del pozo.

X = Distancia hasta el nivel de agua (en pies). Esta cifra se debe determinar.
Y = Largo total de la tubería de aire (en pies).
Z = Largo de la tubería sumergida. Este valor se obtiene de la lectura del manómetro de presión que se lee en libras por pulgada cuadrada (psi). Multiplique la lectura del manómetro de presión por 2.31 para obtener el largo de la tubería de aire subterránea, en pies.
Distancia hasta el nivel de agua (X) = (Y) - (Z)
= El largo total de la tubería de aire (Y) menos el largo de la porción sumergida de la tubería de aire (Z).
Figura 8-Y
Cómo calcular la distancia hasta el nivel de agua.



Fuente: Grudfos Inc. **Catálogo para bombas sumergibles, Información Técnica** Pág. 8-15

CDT = Carga dinámica total.

ND = Nivel dinámico.

Carga del pozo al tanque = Diferencia de altura entre boca pozo y la del tanque.

Carga de fricción = Fricción de la tubería y accesorios. Ver tabla.

CDT = 701' + 40' + 34'

CDT = 775'

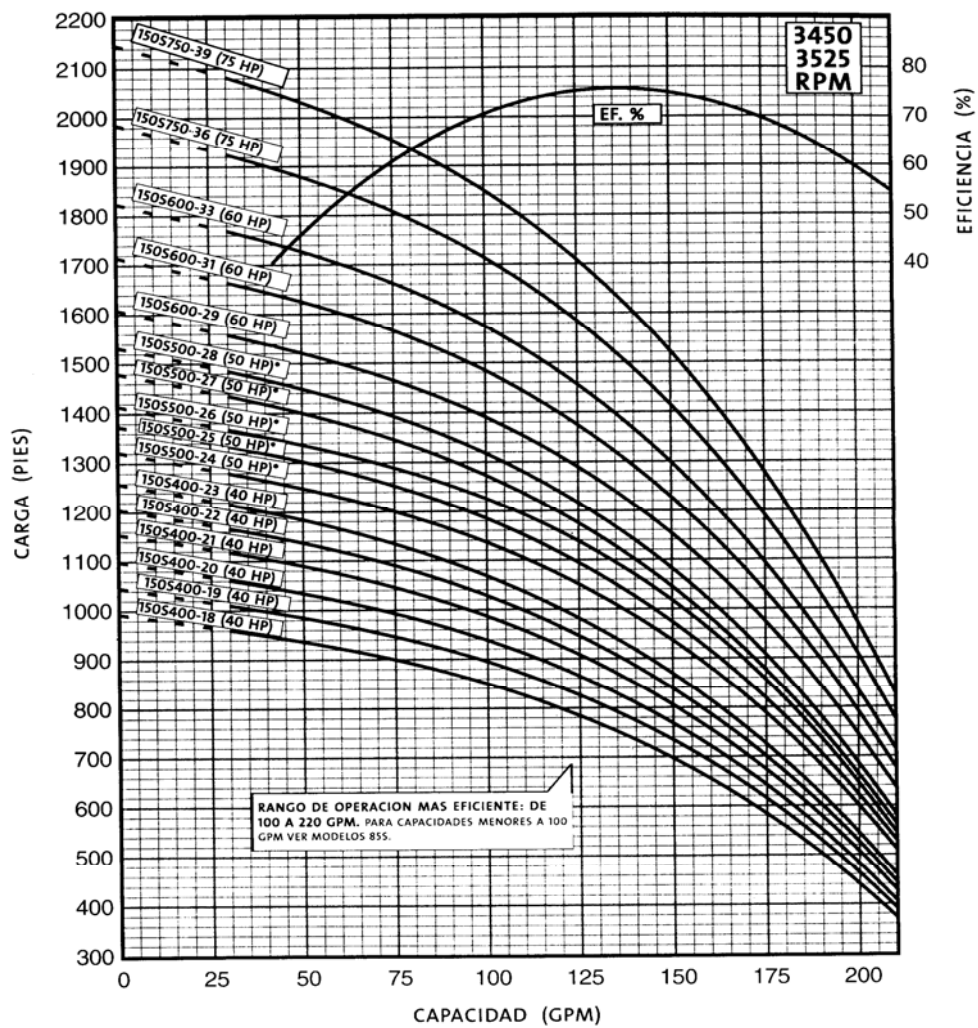
Tabla III. Pérdidas por fricción

GPM	GPH	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
		ID 0.622"	ID 0.824"	ID 1.049"	ID 1.380"	ID 1.610"	ID 2.067"	ID 2.469"	ID 3.068"	ID 4.026"
2	120	4.8								
3	180	10.0	2.5							
4	240	17.1	4.2							
5	300	25.8	6.3	1.9						
6	360	36.5	8.9	2.7						
7	420	48.7	11.8	3.6						
8	480	62.7	15.0	4.5						
9	540	78.3	18.8	5.7						
10	600	95.9	23.0	6.9	1.8					
12	720		32.6	9.6	2.5	1.2				
14	840		43.5	12.8	3.3	1.5				
16	960		56.3	16.5	4.2	2.0				
20	1,200		86.1	25.1	6.3	2.9				
25	1,500			38.7	9.6	4.5	1.3			
30	1,800			54.6	13.6	6.3	1.8			
35	2,100			73.3	18.2	8.4	2.4			
40	2,400			95.0	23.5	10.8	3.1	1.3		
45	2,700				29.4	13.5	3.9	1.6		
50	3,000				36.0	16.4	4.7	1.9		
60	3,600				51.0	23.2	6.6	2.7		
70	4,200				68.8	31.3	8.9	3.6	1.2	
80	4,800				89.2	40.5	11.4	4.6	1.6	
90	5,400					51.0	14.2	5.8	2.0	
100	6,000					62.2	17.4	7.1	2.4	
120	7,200						24.7	10.1	3.4	
140	8,400						33.2	13.5	4.5	1.2
160	9,600						43.0	17.5	5.8	1.5
200	12,000						66.3	27.0	8.9	2.3
260	15,600							45.0	14.8	3.7
300	18,000							59.6	19.5	4.9

Fuente: Grundfos Inc. **Catálogo para bombas sumergibles Información Técnica** Pág 8-8

Con esta carga se busca en la tabla II las curvas de rendimiento y los galones por minuto que produce el pozo, para calcular la bomba. Se usa esta tabla porque es la tabla de las bombas serie 150 galones por minuto, ya que se necesitan 125 galones por minuto.

Tabla IV. Curvas de rendimiento.



Fuente: Grundfos Inc. **Catálogo para bombas sumergibles, Información Técnica** Pág. 4-9.

La tabla en el eje Y tiene carga en pies, y en el eje X galones por minuto, al interceptar a 800 pies en el eje vertical la curva, en ese punto se baja, al eje horizontal y se ve que corta exactamente en 125 galones por minuto que es lo que necesita, la curva de la bomba que marca el la tabla II en ese punto es: 150S400-18 que se describe así:

150 = Es una bomba de la serie 150 galones por minuto.

S = Es una bomba del tipo sumergible.

400 = Se anula el último dígito, y queda una bomba de 40 HP.

18 = Esto indica que es una bomba con 18 impulsores.

Tabla V. Datos técnicos de la bomba sumergible

Modelo Num.	HP	Tamaño Motor	Descarga	Dimensiones en pulgadas				
				A	B	C	D	E
150S300-15	30	6"	3" NPT	114.3	47	67.3	5.6	5.6
150S300-16	30	6"	3" NPT	118.1	47	71.1	5.6	5.6
150S300-17	30	6"	3" NPT	121.8	47	74.8	5.6	5.6
150S400-18	40	6"	3" NPT	134.7	56.1	78.6	5.6	5.6
150S400-19	40	6"	3" NPT	138.5	56.1	82.4	5.6	5.6
150S400-20	40	6"	3" NPT	142.3	56.1	86.2	5.6	5.6
150S400-21	40	6"	3" NPT	146.1	56.1	90	5.6	5.6

Fuente: Grundfos Inc. Catálogo para bombas Sumergibles Información Técnica Pág. 4-6

3.14.2 Cálculo del motor sumergible

Al momento de calcular la bomba sumergible, se sabe el caballaje necesario para el motor, ya que el modelo de la bomba indica el motor a usar. Aunque también existe para calcular los caballos de fuerza de un motor sumergible la fórmula siguiente.

$$HP = \frac{GPM \times CDT \times 100}{3960 \times \text{eficiencia bomba}}$$

$$HP = \frac{125 \times 765 \times 100}{3960 \times 60}$$

$$HP = \frac{9,562,500}{237,600}$$

$$**HP = 40.2**$$

El motor puede ser de mayor caballaje que la bomba, ya que en estas circunstancias, el motor trabaja con menos carga y se alarga su tiempo de servicio.

La bomba no puede ser de mayor caballaje que el motor porque en estas circunstancias el motor trabaja forzado y tiende a calentarse y se daña.

3.14.3 Cálculo del cable sumergible

Para calcular el cable sumergible, se consulta directamente la tabla IV, en la primera columna del lado derecho aparecen voltaje, frecuencia, núm. de fases y núm. de líneas.

En la siguiente columna aparecen los diferentes caballajes, en las siguientes columnas aparecen profundidades a las que se instalan los motores y en la parte superior de cada columna el calibre del cable a utilizar.

La forma de usar la tabla es la siguiente

Primero se busca el voltaje, seguidamente el caballaje, horizontalmente se busca la profundidad a la cual se instalará el equipo y en ese punto se busca en la parte superior de esa columna y allí aparece el calibre de cable correspondiente al voltaje y profundidad de colocación del equipo sumergible.

Si la tabla marca 800 pies, el cable a usar es 4/3, que significa cable calibre 4 de tres líneas.

3.14.4 Cálculo del cable porta electrodos

El cable porta electrodos sólo sirve para abrir o cerrar el circuito eléctrico, cuando se baja el nivel de agua del pozo, para que el motor y bomba no trabajen sin agua y éstos se pueden dañar, por lo que el cable que se utiliza es núm. 14/3 para cualquier caballaje y diferentes voltajes, cable calibre 14 de tres líneas.

Tabla VI. Cálculo de cable para motores trifásicos

Rango del motor		Aislamiento del cable a 60° AWG.						
Volts	HP	KW	10	8	6	4	3	2
460V 60 Hz Sistema trifásico	½	.37	9460					
	¾	.55	6850					
	1	.75	5770	9070				
	1 ½	1.1	4270	6730				
	2	1.5	3270	5150	8050			
	3	2.2	2520	3970	6200			
	5	3.7	1500	2360	3700	5750		
	7 ½	5.5	1070	1690	2640	4100	5100	6260
	10	7.5	790	1250	1960	3050	3800	4680
	15	11	540	850	1340	2090	2600	3200
	20	15	410	650	1030	1610	2000	2470
	25	18.5	0	530	830	1300	1260	1990
	30	22	0	430	680	1070	1330	1640
	40	30	0	0	500	790	980	1210
	50	37	0	0	0	640	800	980
	60	45	0	0	0	540	670	830
	75	55	0	0	0	0	0	680
	100	75	0	0	0	0	0	0
	125	90	0	0	0	0	0	0
	150	110	0	0	0	0	0	0
175	130	0	0	0	0	0	0	
200	150	0	0	0	0	0	0	

Fuente: www.franklin-electric.com/request/literature

3.14.5 Cálculo de la tubería

Para calcular la tubería, primero se determina la medida de descarga en pulgadas de la bomba, seguidamente buscamos en la tabla I que es la tabla de pérdidas por fricción en la tubería de acero SCH 40, del manual de bombas sumergibles.

La tabla I, en la primera columna muestra galones por minuto, en las columnas siguientes muestran la fricción y en la parte superior muestra los diámetros de tubería en pulgadas.

La forma de usar la tabla es la siguiente

Se busca en la primera columna los galones por minuto que va a producir la bomba a instalar, seguidamente, se busca horizontalmente en línea con los 125 GPM la mínima fricción, y en ese punto se sube a la parte superior de la columna y allí la tabla indica el diámetro adecuado de tubería para los 125 galones por minuto.

Con esta misma tabla se calcula la fricción de la tubería y el número que da la tabla debe multiplicarse por cada 100 pies de longitud y esa es la pérdida de fricción o carga en pies de la tubería.

Por lo general el diámetro de descarga en pulgadas de la bomba ya viene adecuado para la tubería a usar, por ejemplo, si la descarga de la bomba es de 4", la tubería a usar es del mismo diámetro.

Si de lo contrario, el diámetro de descarga de la bomba fuera mayor que el diámetro de la tubería seleccionada, entonces se recurre a un reductor de tubería. Por ejemplo, si la descarga de la bomba es de 4 pulgadas y la tubería seleccionada es 3 pulgadas entonces hay que colocar un reductor *bushing* de hierro galvanizado de 4 x 3 pulgadas en la salida de la bomba.

Si por alguna razón la salida de la bomba es de menor diámetro que la tubería seleccionada, entonces se coloca un reductor campana de hierro galvanizado en la salida de la bomba.

3.15 Instalación del sistema eléctrico con su arranque

Para poder arrancar el sistema de bombeo, se necesita de un panel eléctrico de 40 HP, 460V, trifásico; que se compone de los siguientes accesorios eléctricos:

- 1 Interruptor termo magnético de 3 X 100 amperios.
- 1 Contactor de 75 amperios.
- 1 Relé de sobre carga 54-65 amperios.
- 1 Interruptor termo magnético de 3 x 2.
- 1 Protector de fases 460 voltios.
- 1 Pararrayos LA 603 460 voltios.
- 1 Guarda nivel 460 voltios.
- 1 Selector de dos posiciones.
- 1 Luz piloto T2 NR 460 voltios.
- 1 Pulsadores.
- 1 Alambre TFF calibre 14.
- 1 Caja metálica T2.

3.15.1 Interruptor termo magnético de 3x100 amperios

Su función es la protección de los circuitos de potencia contra corrientes de altas intensidades o de corto circuito.

- **Funcionamiento**

Este dispositivo se conecta en serie a cada una de las líneas de alimentación del tablero de control, cuando circula una corriente excesiva a través de éstas es detectada por una bobina de caldeo arrollada a un elemento bimetálico, con cierto coeficiente de dilatación, dicho coeficiente es el que determina el tiempo de desconexión de la alimentación del circuito , mientras mayor sea la corriente excesiva, mayor será el calor inducido por la bobina de caldeo al elemento bimetálico el cual provocará la apertura de sus contactos, cumpliendo así con la protección térmica.

Cuando se produce una corriente de alta intensidad o de corto circuito (125 veces la corriente nominal especificada en la carga a operarse), es detectada por una bobina con un núcleo de chapas de hierro dulce, cuando dicha corriente circula a través de los arrollamientos de la bobina, atrae una barra de chapas de hierro dulce ensamblada al mecanismo de disparo, lo que determina la apertura de sus contactos, cumpliendo así con la protección magnética.

3.15.2 Contactor de 75 amperios.

El contactor en sí no es más que un interruptor de accionamiento magnético en el cual se pueden distinguir dos tipos de contactos, los primeros son los contactos principales o de potencia, normalmente abiertos capaces de manejar altas corrientes de ruptura. Se distinguen además una serie de contactos adicionales llamados contactos de mando o auxiliares, éstos poseen menor capacidad interruptiva y se utilizan para la operación del circuito de mando de la bobina del arrancador.

- **Funcionamiento**

El contactor magnético consta de una bobina arrollada en un núcleo de chapas de hierro dulce y una parte móvil apoyada en dos resortes unida mecánicamente a los contactos principales. Cuando se hace circular una corriente a través de la bobina, ésta se excita y atrae la parte móvil del contactor, lo que provoca el cierre de los contactos y la consecuente conexión de la carga a operarse a la red de alimentación.

3.15.3 Térmico 54-65 amperios

No es más que un relé de sobre corriente, cuya función es desconectar la carga de la red al circular corriente excesiva, (corriente de sobre carga), para evitar sobrecalentamientos o daños en la misma.

Su principio de funcionamiento es similar a la protección térmica incorporada en un interruptor termo magnético, cuando se hace circular una corriente a través de una bobina de caldeo arrollada alrededor de un elemento constituido por dos láminas con diferente coeficiente de dilatación, se produce una determinada temperatura, la cual es directamente proporcional a la corriente eléctrica que circula por la bobina de caldeo. Cuanto mayor sea esta corriente, mayor será el calor inducido por dicha bobina al elemento bimetálico que constituye esta protección, el cual se abrirá después del tiempo dado por el coeficiente de dilatación de las láminas que conforman dicho elemento, lo que tendrá como consecuencia la interrupción en el circuito de excitación de la bobina del contactor provocando la desconexión de la carga a la red.

3.15.4 *Flip-on* de 3x2 amperios

No es mas que un interruptor magnético que protege los circuitos de control exclusivamente contra corrientes excesivas y de corto circuito.

3.15.5 Protector de fases 460 voltios

Se distinguen dos tipos de protectores de fases: el convencional y el electrónico; el primero no es mas que una bobina provista para ser alimentada con el suministro trifásico, la cual necesita de las tres fases para ser y mantenerse excitada. Cuando cualquiera de las tres líneas que componen el sistema de alimentación sufre pequeñas variaciones en sus magnitudes eléctricas, dicha bobina detecta tales variaciones, lo cual es interpretado como

falta lo que provoca desconexión del circuito de mando y por ende la desconexión de la carga a la red de alimentación.

Cuando la condición de falla es corregida, se alimenta un temporizador incorporado en el protector de fases, el cual espera un tiempo prudencial previamente programado por el operador para reestablecer la conexión de la carga al sistema de alimentación .

El protector de fases electrónico funciona de la misma manera que el protector convencional, con la única diferencia de que el voltaje y las condiciones de falla son detectadas por un circuito integrado, el cual regula además el tiempo de reconexión después de que las condiciones normales de la red han sido reestablecidas.

3.15.6 Pararrayos L.A 603 460 voltios

Es una conexión aterrizada de baja impedancia, la cual es instalada en el exterior del panel, cuando detecta una elevada carga magnética en el ambiente producida por la ionización de los cuerpos , el pararrayos adquiere cierta polaridad, lo que provoca que se auto cortocircuite, lo que es detectado por el interruptor termo magnético, lo cual provoca la desconexión del equipo a la red de alimentación.

3.15.7 Guarda nivel 460 voltios

Es un transformador de cortocircuito, el cual es activado por tres electrodos, que pueden ser de bronce o acero inoxidable, que son colocados a una distancia prudencial, para proteger el equipo contra bombeo en seco o para controlar el llenado de un tanque de captación.

Al encontrarse los tres electrodos inmersos en el agua, el secundario de este transformador se cortocircuita, lo que provoca la apertura o el cierre de los contactos que gobierna, determinando así la consecuente conexión o desconexión del circuito de controles del motor, según el uso que al guarda nivel se destine.

3.15.8 Selector de dos posiciones

Son dos perillas con enclavamiento mecánico que gobiernan uno o dos contactos, generalmente normalmente abiertos, los cuales pueden accionar dos sistemas de arranque, entiéndase manual / automático, o en otros casos activar un mecanismo complejo de paro, se utilizan comúnmente por la ventaja que ofrecen sobre los pulsadores ya que por el enclavamiento mecánico que ofrecen no es necesario mantener el circuito cerrado por medios magnéticos.

3.15.9 Luz piloto T2 NR 460 voltios

Esta es una luz indicadora, cuando el sistema está trabajando la luz está apagada, y cuando el sistema se para la luz se enciende.

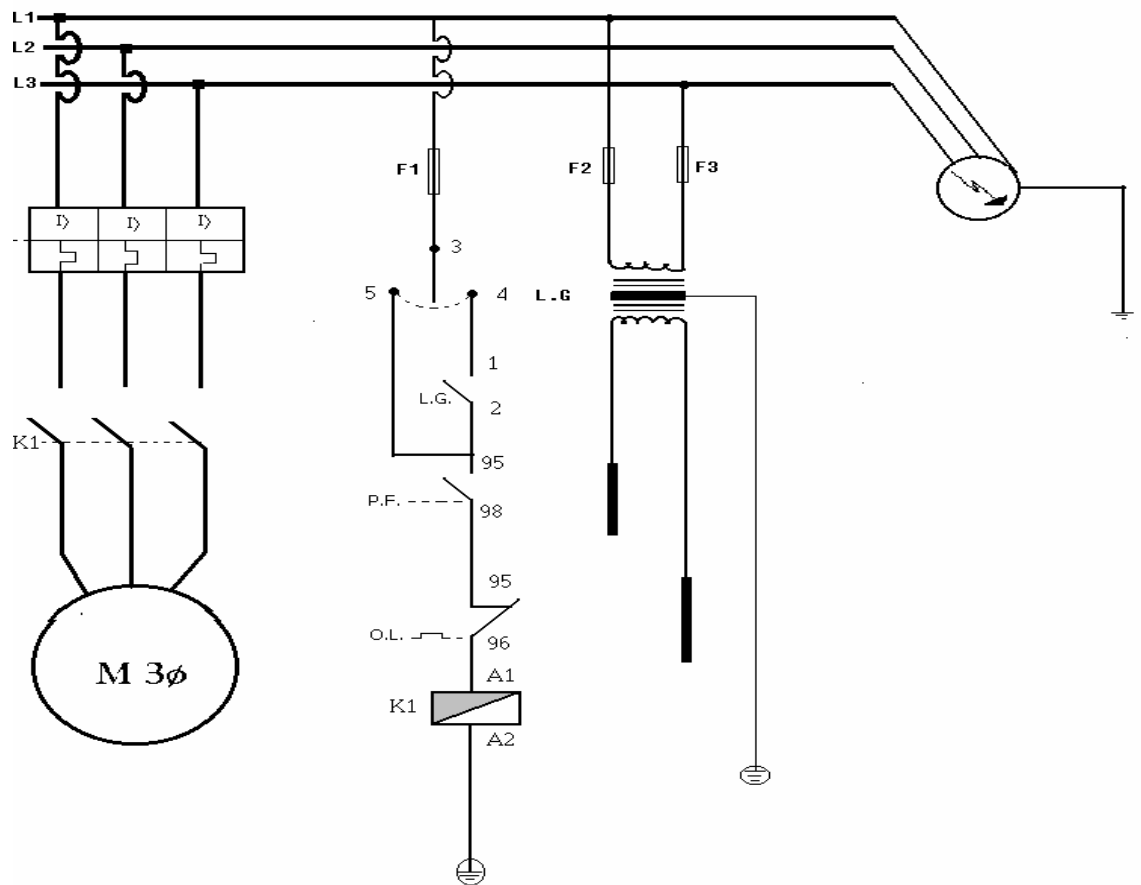
3.15.10 Alambre TFF calibre 14

Este sirve para alambrar el panel, conectar todos los accesorios eléctricos dentro del panel de control para que funcione adecuadamente, se utilizan por cada panel 10 pies de cable.

3.15.11 Caja metálica T2

Sirve para instalar todos los accesorios eléctricos *flip on*, contactor, térmico, protector de fases, pararrayos, selector, luz piloto y guardanivel.

Figura 7. Diagrama eléctrico del panel de controles del pozo



Fuente: Ceac Ediciones, José Roldán, Manual del instalador electricista. p.10

3.16 Comparación del estudio contra los resultados

Las características de diseño del pozo de la aldea Buena Vista, según los estudios realizados con anterioridad, fueron que la producción de agua abastecería a 500 familias, y para ello se estimó 90 galones por minuto.

Después de haber realizado, el aforo el cual produjo 125 galones por minuto, los cuales abastecen a 600 personas por lo que el proyecto superó en 100 familias lo esperado, con relación a las dimensiones del pozo propuestas

CONCLUSIONES

1. En la perforación de un pozo mecánico es importante hacer un estudio hidrológico, para saber si es adecuado el terreno para explotar agua.
2. Para la selección del tipo de máquina a utilizar, en la perforación se debe tomar en cuenta la profundidad a perforar y el tipo de suelo del terreno.
3. El encamisado de un pozo es preferible que sea de acero al carbono, ya que por su resistencia es seguro confiable y duradero.
4. Cuando se coloque la tubería ranurada, se debe tener cuidado que quede de acuerdo a la entrada de agua, según el nivel estático del pozo al ser terminado.
5. El equipo de bombeo se debe calcular de acuerdo a los datos arrojados por la prueba de bombeo, calculando exactamente la carga dinámica total para poder instalar el motor y la bomba adecuados y no bombear ni más ni menos de lo que el pozo produzca.
6. En el funcionamiento del equipo de bombeo, se debe de dar su mantenimiento respectivo para alargar la vida del mismo.

RECOMENDACIONES

- Al alcalde municipal se recomienda
 1. Capacitar al personal de operaciones de los equipos sumergibles de bombeo para solucionar problemas en situaciones como, fluctuaciones de voltaje, alteraciones de amperaje y pérdida de caudal.
 2. Suministrar al personal de operaciones del equipo sumergible de bombeo, equipo de mediciones manómetro y cilindro de oxígeno, para medir el caudal y niveles estático y dinámico del pozo periódicamente.
 3. Suministrar al personal de operaciones del equipo sumergible de bombeo, equipo de emergencias extinguidor, para controlar incendios producidos por cortocircuitos y descargas eléctricas.
 4. Capacitar al personal operativo en primeros auxilios, para que puedan prestarlos en cualquier emergencia en el lugar de trabajo.

- Al personal que opera y da mantenimiento al equipo sumergible de bombeo.
 1. Recibir capacitación de mantenimientos mínimos, para asegura el buen funcionamiento y larga vida del equipo de bombeo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Franklin Electric, **Motores sumergibles, instalación, aplicación, mantenimiento**, Bluffton, Indiana, febrero 2002.
2. Grundfos, **Catálogo para bombas sumergibles**, Bombas Grundfos de México, S.A. de C.V. noviembre 2001.
3. Jonson División, UOP Inc. **El agua subterránea y los pozos**, Saint Paul, Minnesota, 1975.
4. Roldan, José **Manual del instalador electricista**, Ediciones CEAC, Barcelona, España, 12ª. Edición, febrero 1991.
5. <http://www.anahuac.com.mx/pozos/encamisado/tucotasteelproducts>
6. [www.anahuac.com.mx/pozos/encamisado/tucotasteelproducts/productionsystems.](http://www.anahuac.com.mx/pozos/encamisado/tucotasteelproducts/productionsystems)
7. www.franklin-electric.com/request/literature

