

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

**ESTUDIOS, ANÁLISIS Y DISEÑOS DE PERFORACIÓN DE POZOS
MECÁNICOS, PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA Y EFECTOS DE LA
SOBRE EXPLOTACIÓN DE LOS MANTOS ACUÍFEROS**

ANDRÉS BARRIOS SOSA

Guatemala
2007

**ESTUDIOS, ANÁLISIS Y DISEÑOS DE PERFORACIÓN DE POZOS
MECÁNICOS, PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA Y EFECTOS DE LA
SOBRE EXPLOTACIÓN DE LOS MANTOS ACUÍFEROS**

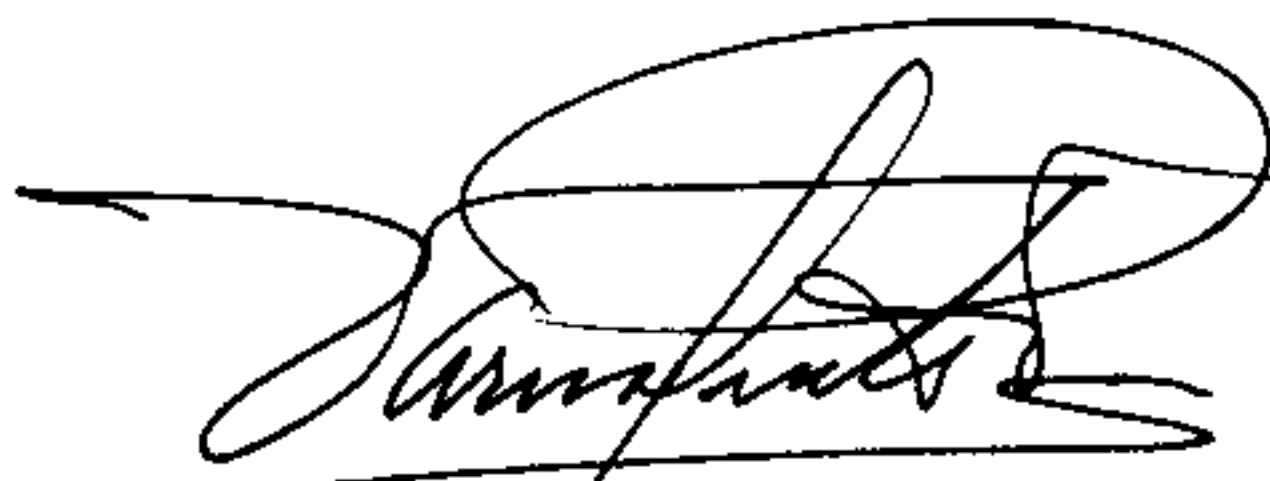
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

**ESTUDIOS, ANÁLISIS Y DISEÑOS DE PERFORACIÓN DE POZOS
MECÁNICOS, PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA Y EFECTOS DE LA
SOBRE EXPLOTACIÓN DE LOS MANTOS ACUÍFEROS**

Trabajo de graduación presentado por Andrés Barrios Sosa
para optar al grado académico de Ingeniero Civil

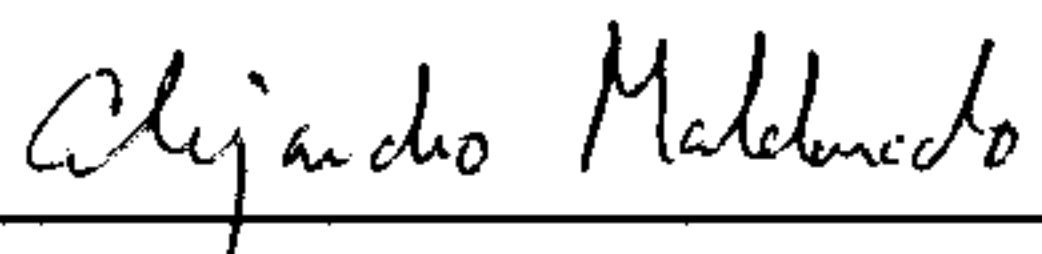
Guatemala
2007

Vo. Bo.:

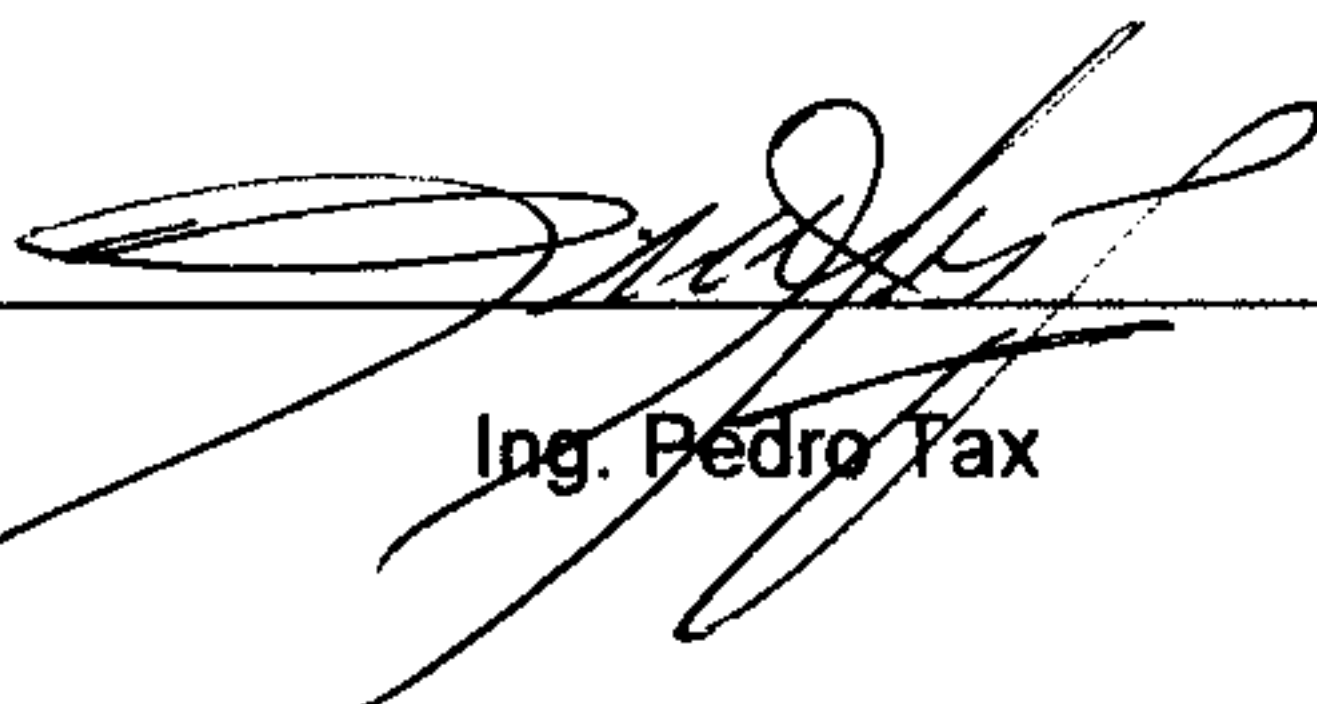
(f) 

Ing. Víctor V. Pozuelos V.


Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Alejandro Maldonado

(f) 

Ing. Pedro Fax

(f) 

Ing. Víctor V. Pozuelos V.

Fecha de aprobación: Guatemala 12 de noviembre 2007

PREFACIO

Este trabajo fue realizado con mucho empeño y dedicación durante mi último ciclo de estudios en la prestigiosa Universidad Del Valle De Guatemala.

Durante el proceso de realización de este trabajo de graduación, tuve el agrado de compartir con bastante gente y de hacer amistades nuevas. Agradezco a mi asesor, el Ingeniero Víctor V. Pozuelos V. por su paciencia y su afán de querer enseñar sobre el tema de perforación de pozos. Así también agradezco a mi padre, el Ingeniero Jaime Antonio Barrios Coronad y a mi madre, la Arquitecta Ana María Sosa Montenegro, por su apoyo incondicional, su cariño y su deseo de luchar para salir adelante.

Agradezco a mi hermano mayor, el Ingeniero Juan José Barrios Sosa, a mi hermana mayor, la Doctora Ana Carolina Barrios Sosa, a mi hermana menor, la Arquitecta María Inés Barrios Sosa y al Doctor Thomas Williamson, por apoyarme y darme ánimo en todas las situaciones que nos ha tocado vivir.

También agradezco a Ana Luisa Vielman de Barrios, a Ana Isabel Barrios Vielman y a Jonas Hauptman por complementar y unir esta familia.

CONTENIDO

PREFACIO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	xi
ÍNDICE DE EJEMPLOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. AGUA SUBTERRÁNEA.....	5
2.1 Formaciones.....	5
2.2 Acuíferos.....	5
2.3 Contaminación en agua subterránea.....	7
3. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL ACUÍFERO.....	10
3.1 Calidad del agua.....	10
3.2 Características hidráulicas.....	12
3.3 Variaciones en los acuíferos como consecuencia de Perforaciones inadecuadas.....	17
4. RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA LA SELECCIÓN DE UN SITIO PARA LA PERFORACIÓN DE UN POZO MECÁNICO.....	19
4.1 Introducción.....	19

4.2 Características de un estudio hidrogeológico.....	19
5. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO Y EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN POZO MECÁNICO.....	28
5.1 Introducción.....	28
5.2 Análisis de muestras.....	30
5.3 Registro eléctrico y su importancia en el diseño de un pozo.....	30
5.4 Prueba de verticalidad y alineamiento.....	39
5.5 Selección del entubado y tipo de tubería a utilizar.....	44
5.6 Diseños de “ranurado” ó “rejilla”.....	47
5.6.1 Diámetro de la rejilla de un pozo.....	49
5.7 Formación del sello.....	57
5.8 Desarrollo y limpieza de un pozo.....	62
5.9 Prueba de bombeo.....	69
6. MAQUINARIA Y MÉTODOS PARA PERFORACIÓN DE UN POZO MECÁNICO.....	71
7. PROCESOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE POZOS MECÁNICOS PARA AGUA.....	85
8. TIPOS DE BOMBAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA.....	89
9. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.....	94
9.1 Comentarios.....	94
9.2 Conclusiones.....	94
10. BIBLIOGRAFÍA.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Estratos geológicos más comunes para Guatemala.....	21
TABLA 2. Dureza de las rocas.....	25
TABLA 3. Caudal del pozo contra tamaño del entubado del pozo.....	45
TABLA 4. Área de admisión para rejillas Johnson.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. Desviaciones del pozo X.....	42
GRÁFICA 2. Localización de las desviaciones del pozo X.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Ciclo hidrológico.....	1
FIGURA 2. Formaciones del agua subterránea.....	7
FIGURA 3. Fuentes de contaminación industrial y comercial.....	8
FIGURA 4. Fuentes de contaminación municipal y rural.....	8
FIGURA 5. Hidráulica de un pozo.....	14
FIGURA 6. Interferencia de conos de depresión.....	15
FIGURA 7. Interferencia de radios de influencia.....	16
FIGURA 8. Ciclo de la roca.....	24
FIGURA 9. Partes de un pozo mecánico.....	28
FIGURA 10. Electrodo para un registro eléctrico.....	33
FIGURA 11. Esquema para efectuar la prueba de verticalidad e un pozo.....	40
FIGURA 12. Tipos de rejillas.....	56
FIGURA 13. Sello sanitario de un pozo.....	60
FIGURA 14. Bomba de turbina sumergible.....	91
FIGURA 15. Bomba de turbina y bomba de chorro.....	93

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. Pozo artesiano surgente.....	6
IMAGEN 2. Pozo artesiano surgente.....	6
IMAGEN 3. Principales rocas de Guatemala.....	24
IMAGEN 4. Mapa geológico de Guatemala.....	26
IMAGEN 5. Muestras de un pozo.....	30
IMAGEN 6. El ejecutor presenciando la prueba de verticalidad del pozo.....	43
IMAGEN 7. Entubado de un pozo.....	46
IMAGEN 8. Entubado de un pozo.....	46
IMAGEN 9. Entubado de un pozo.....	46
IMAGEN 10. Rejilla dentro de un pozo.....	52
IMAGEN 11. Rejilla Johnson.....	53
IMAGEN 12. Rejilla Johnson.....	54
IMAGEN 13. Rejilla PVC.....	54
IMAGEN 14. Rejillas Jonson y PVC.....	55
IMAGEN 15. Rejillas Johnson y PVC.....	55
IMAGEN 16. Corrosión de tubería metálica.....	57
IMAGEN 17. Torre de perforación.....	73
IMAGEN 18. Tubería de perforación.....	74
IMAGEN 19. Tubería de perforación.....	74
IMAGEN 20. Tubería de perforación.....	75
IMAGEN 21. Torre de perforación.....	75
IMAGEN 22. Torre de perforación y tubería de perforación.....	76
IMAGEN 23. Mesa rotatoria y tubería de perforación.....	77
IMAGEN 24. Perforación por el método rotativo.....	78

IMAGEN 25. Broca rotatoria de trepano del tipo de rodillos.....	78
IMAGEN 26. Nivelación de maquinaria.....	79
IMAGEN 27. Bomba de lodos.....	79
IMAGEN 28. Zona de perforación.....	80
IMAGEN 29. Preparación de bentonita.....	83
IMAGEN 30. Pila de preparación de lodos.....	84
IMAGEN 31. Pila de preparación de lodos.....	84
IMAGEN 32. Preparación de pila para lodos.....	85
IMAGEN 33. Armado de herramienta.....	85
IMAGEN 34. Toma de muestras.....	86
IMAGEN 35. Limpieza con espuma.....	87
IMAGEN 36. Aforo.....	87
IMAGEN 37. Aforo.....	88

ÍNDICE DE EJEMPLOS

EJEMPLO 1. Tabla de un registro eléctrico.....	36
EJEMPLO 2. Perfil de registro eléctrico.....	37
EJEMPLO 3. Carta de resultados de registro eléctrico.....	38

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Estudio hidrogeológico.....	97
ANEXO 2. Estudio hidrogeológico.....	105
ANEXO 3. Diseño de rejillas.....	115
ANEXO 4. Prueba de bombeo.....	119

RESUMEN

La cantidad de agua subterránea almacenada se considera que es de 20 a 30 veces más del agua que se encuentra en combinación de todos los lagos, arroyos y ríos. Es la única fuente de agua en muchas áreas para el abastecimiento doméstico, agrícola e industrial. Se consideraba fuera de contaminación debido a las capas de tierra que se encuentran arriba, pero ésta puede ser contaminada debido a muchos factores como desechos industriales, desechos agrícolas, etc.

Para poder construir un pozo es necesario reconocer problemas potenciales en la operación, calendarizar y elaborar rutinas de inspección y el mantenimiento. Algunos de los problemas que pueden prevenirse a través de la buena construcción incluyen la pérdida de la eficiencia y la reducción de producción de agua, contaminación y otras formas que deterioran la calidad del agua, corrosión e incrustación de equipo incluyendo el equipo de bombeo.

El agua se percola inclinadamente hacia la tierra en áreas llamadas zonas de recarga. Ésta se mueve horizontal y verticalmente dependiendo de la geología. Se mueve inclinadamente hasta toparse con una capa impermeable. Estas formaciones de agua son llamados acuíferos. Cuando un pozo es perforado, el agua en éste se eleva hasta el punto más alto del acuífero o posiblemente llegue hasta la superficie terrestre y se arrastre en ella.

En el diseño de un pozo se busca llegar a un sistema eficiente, que la calidad del agua sea aceptable y que los costos de operación sean razonables. Es importante determinar todo lo que tenga que ver desde el proceso de perforación hasta la profundidad del pozo. La información crítica para el diseño debe incluir el tipo de acuífero, el material del acuífero, la calidad del agua e

información geológica como el grosor del acuífero. La calidad del agua debe ser conveniente para beber antes de la perforación.

El acuífero es el factor principal que determina la máxima producción de un pozo, no el diámetro. De aquí la importancia de la no sobreexplotación de los acuíferos en algunos pozos pequeños pueden ser más eficientes que los pozos grandes.

Uno de los factores que juega un papel muy importante en la ubicación y localización de un pozo es que este tenga una máxima protección de la contaminación. Este debe ser colocado tan alto como sea posible, arriba de áreas sujetas a inundaciones.

Un pozo consiste de dos partes principales. Una es el entubado, que soporta el hoyo perforado y la formación sellada, actúa como equipo de bombeo y almacena parte del agua. La otra parte es el ranurado o rejilla. Ésta permite que el agua fluya dentro del pozo y mantiene el material del acuífero afuera del pozo en formaciones no consolidadas.

Existen varias opciones para la seleccionar el entubado. El acero es de uso más generalizado, pero existe la opción del uso de PVC fabricado especialmente para pozos y es utilizado para perforaciones poco profundas.

La perforación siempre debe tener un diámetro mayor al diámetro del entubado con la finalidad de dejar un espacio anular entre el agujero perforado y el diámetro exterior del tubo a instalar, espacio que servirá para la colocación de la grava cuya función será la de formar un filtro para evitar el paso de finos del acuífero hacia dentro del pozo.

Para la perforación de un pozo existe variedad y tipos de maquinaria dependiendo de la profanidad y de la geología del lugar en donde se perforara

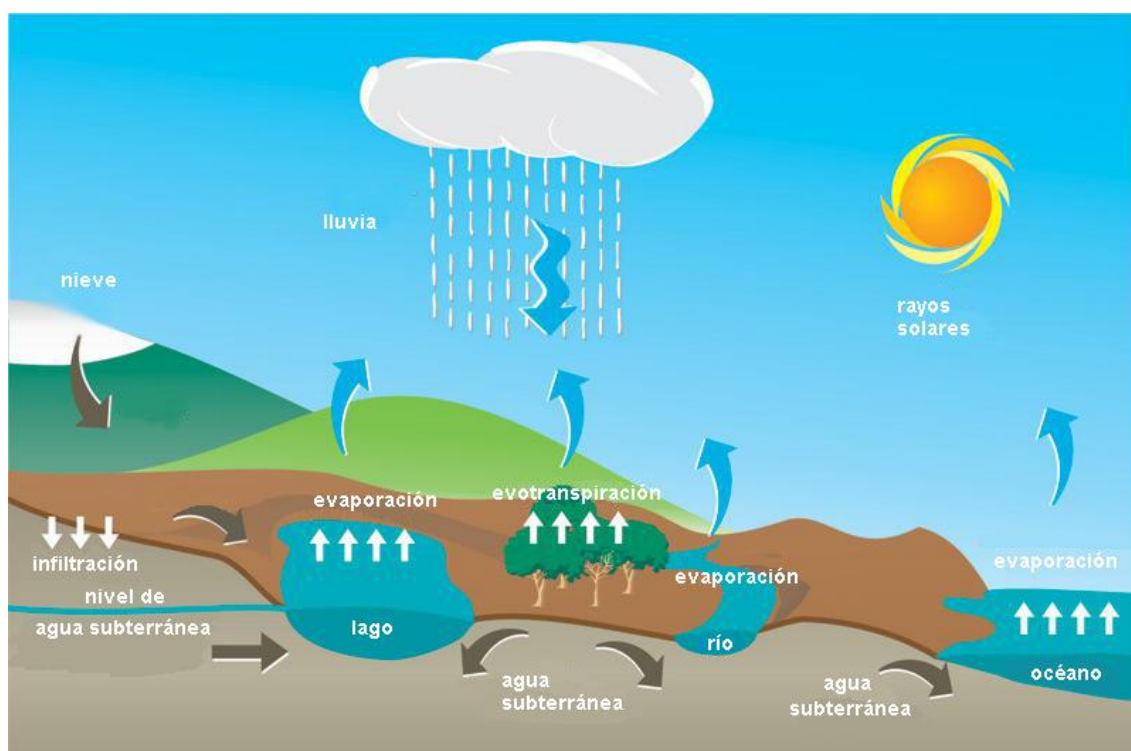
pozo. Los métodos de perforación más usados en nuestro medio son:
Percusión, Rotativo y Roto-percusión.

1. INTRODUCCIÓN

El tema del agua es siempre de actualidad. Este recurso es indispensable para la vida y para el desarrollo de las sociedades. En la historia tenemos varios ejemplos de civilizaciones que florecen y colapsan a causa de la abundancia, exceso o carencia de agua.

El agua, como cualquier otro recurso natural, consta de su propio ciclo, denominado Ciclo Hidrológico.

Figura 1. Ciclo hidrológico.



El ciclo hidrológico describe el proceso de cómo circula el agua en el planeta. En resumen, el agua se evapora de los océanos. Cuando este vapor se enfría causa las lluvias. La lluvia cae sobre la superficie terrestre. Gran porcentaje de ésta es absorbida por la tierra y se transforma en lo que se conoce como el agua subterránea. Otro porcentaje se transforma en ríos, lagos, nieve. Estas formaciones componen el agua superficial. Una gran cantidad del agua que cae en forma de lluvia se vuelve a evaporar.

Guatemala es un país con una abundancia relativa de agua. Sin embargo, existe una crisis en este sector. Escasez, en algunas épocas y lugares, excesos en otros, mala calidad y deterioro de la calidad de algunos cuerpos de agua.

El agua disponible, lo que algunas veces se le denomina Capital Hídrico, puede considerarse como abundante en Guatemala, debido a que la fuente principal de dicho recurso es la lluvia, que ocurre en cantidades altas en comparación con otros países. Se estima que la lluvia anual es del orden de 2,220mm, equivalente a 242km³/año. Considerando una población de 12 millones de habitantes en el país, ese volumen de agua equivale a 20,146m³/hab/año (55m³/hab/día).

Sin embargo, de esa cantidad, cerca del 50% se pierde por los procesos de evo-transpiración. La evo-transpiración es la pérdida de agua del suelo a través de la evaporación directa y por la transpiración de las plantas. Se estima que el capital hídrico en Guatemala es del orden de los 11,100m³/hab/año (30.4m³/hab/día). Esta cantidad realmente es más que suficiente para cubrir los requerimientos de agua de un sistema socioeconómico con 12 millones de habitantes.

La variabilidad espacial y temporal de la ocurrencia del recurso impone restricciones en la disponibilidad del mismo. La lluvia media anual en Guatemala varía entre unos 600mm en Oriente y unos 5,000mm en el Sur-occidente del país. Entre un 80% y un 90% de las lluvias ocurren en un período de seis meses y en dos de ellos ocurre el 40%.

Desde mucho tiempo atrás se empezaron a utilizar pozos para extraer el agua subterránea. Hoy en día existen varios métodos para poder perforar pozos.

Antes de perforar un pozo es necesario hacer una serie de estudios. Estos estudios determinan tanto la localización como profundidad estimada, posibles fuentes de contaminación, diámetro y la geología del área a perforar.

Por medio de un pozo se extrae agua de los denominados acuíferos. Los dos tipos de acuíferos más comunes son los ilimitados y los limitados. Un acuífero ilimitado está compuesto solamente por una capa de material impermeable en la parte inferior y el acuífero limitado se encuentra entre dos capas de material impermeable.

Para la perforación de un pozo es necesario contar con el equipo y la maquinaria adecuada, el personal indicado y el cuidado de no contaminar las fuentes de agua subterránea. Se deben tener las instalaciones y los recursos necesarios durante el proceso de perforación.

Existen varios métodos de perforación de pozos mecánicos. Los más comunes en nuestro medio son los métodos de percusión, rotativo y roto percusión.

Un pozo es diseñado para que sea lo más eficiente posible, de acuerdo a las necesidades que éste deba cubrir y que tenga la mayor vida útil posible.

La sobreexplotación de los mantos freáticos es un tema bastante común hoy en día. Conforme pasa el tiempo el nivel freático ha ido disminuyendo y los pozos deben ser cada vez más profundos. La causa de esto es no solamente que el consumo de agua es mayor a la velocidad de recarga del manto sino que también se debe a la interferencia en la recarga del mismo.

El objetivo de este trabajo es crear una guía general acerca de los estudios, el análisis y el proceso constructivo adecuado para la perforación de un pozo mecánico para el abastecimiento de agua y sus diferentes usos y sobre las consecuencias que pueden llegar a existir sobre la explotación inadecuada de los mantos acuíferos.

En nuestro medio no existe ninguna legislación vigente que de lineamientos normativos para la explotación y uso del recurso hídrico. En algunos casos el código de salud hace mención a restricciones de distancia que deben respetarse entre un pozo existente y la perforación de un nuevo pozo. Limitándolo a una distancia mínima de 100 metros entre un pozo y otro. En el aspecto relacionado con los municipios, algunas municipalidades a través de sus consejos municipales para la aprobación de una perforación realizan visitas de campo para inspeccionar la existencia o no de pozos cercanos al lugar donde se pretende perforar antes de la aprobación de la licencia, respetando la distancia mínima de 100 metros. Actualmente se encuentra en el Congreso de la República una ley general de aguas que a la fecha ha sido consensuada por más de 20 veces por instituciones del sector público y sector privado sin que a la fecha el Congreso de la República la pueda aprobar.

2. AGUA SUBTERRÁNEA

2.1 Formaciones

La fuente de agua subterránea se obtiene por el agua superficial, que fluye, y se filtra (percolación) a través de espacios, grietas en el suelo y en las rocas hasta que llega a una capa de material impermeable, como arcilla. Las formaciones terrestres que almacenan el agua subterránea, llamadas acuíferos, son usualmente compuestas por materiales como grava, arenas o basalto.

2.2 Acuíferos

Los acuíferos pueden ser de dos tipos: acuífero libre, también llamado acuífero ilimitado (tabla de agua o no confinado) o acuífero artesiano, llamado también acuífero limitado (confinado). Un acuífero ilimitado está confinado solamente por una capa de material impermeable en la parte inferior de éste. El límite superior del agua subterránea en este tipo de acuífero se denomina Nivel Freático, un nivel que varía cuando el agua se sustrae o se agrega al acuífero. Cuando se perforan pozos en este tipo de acuífero, el agua en el interior del pozo alcanzará un nivel máximo igual al nivel freático.

Un acuífero limitado está confinado por dos capas de material impermeable, una en la parte superior y otra en la parte inferior. El agua subterránea se encuentra atrapada entre estas dos capas y como resultado de esto, la presión ejercida por el agua es mayor que la presión atmosférica. Cuando un pozo se perfora en un acuífero de este tipo, el nivel del agua dentro del pozo alcanzará una altura mayor a la del acuífero dependiendo de la presión a la que se encuentre el agua. Si existe suficiente presión, el agua

puede llegar hasta la superficie terrestre originando un pozo surgente como el que se muestra en la siguientes fotografías.

Imagen 1. Pozo artesiano surgente.

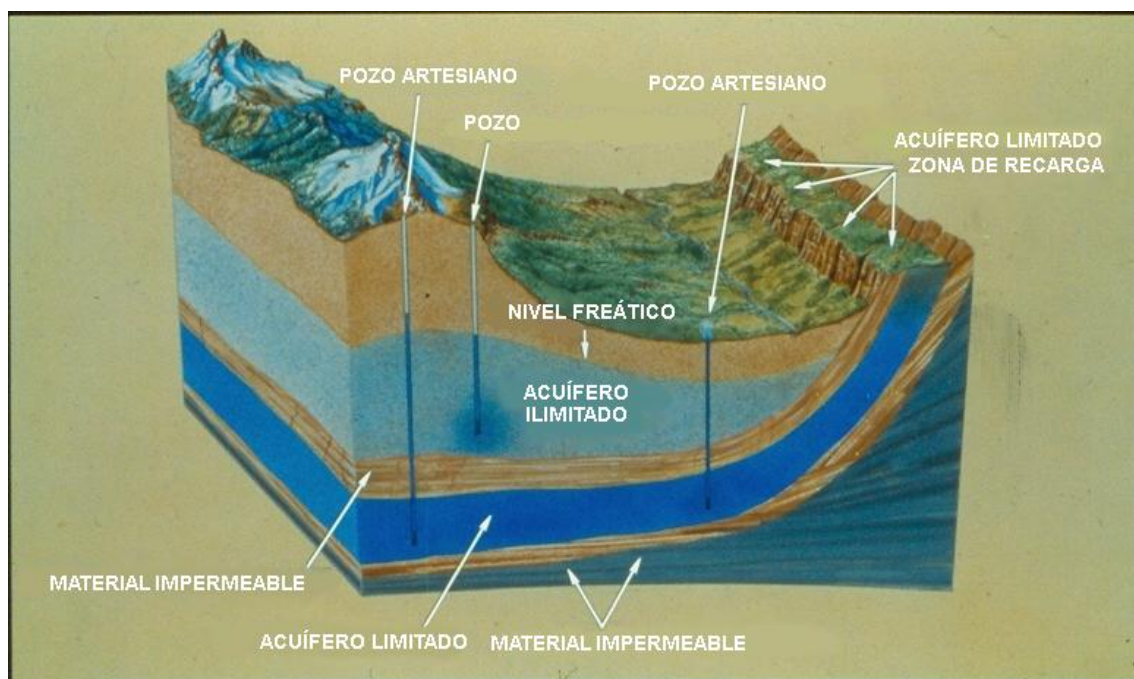


Imagen 2. Pozo artesiano surgente.



Para que un acuífero se recargue, es decir, se vuelva a abastecer de agua que cae sobre la superficie terrestre, puede tardarse desde unos pocos minutos hasta cientos de años. Esto depende de la profundidad del acuífero y de la composición de los materiales que se encuentran sobre este. Para acuíferos bastante profundos, el proceso de percolación es importante, ya que elimina las impurezas que el agua de la superficie pueda acarrear y poder así conservar agua de mejor calidad.

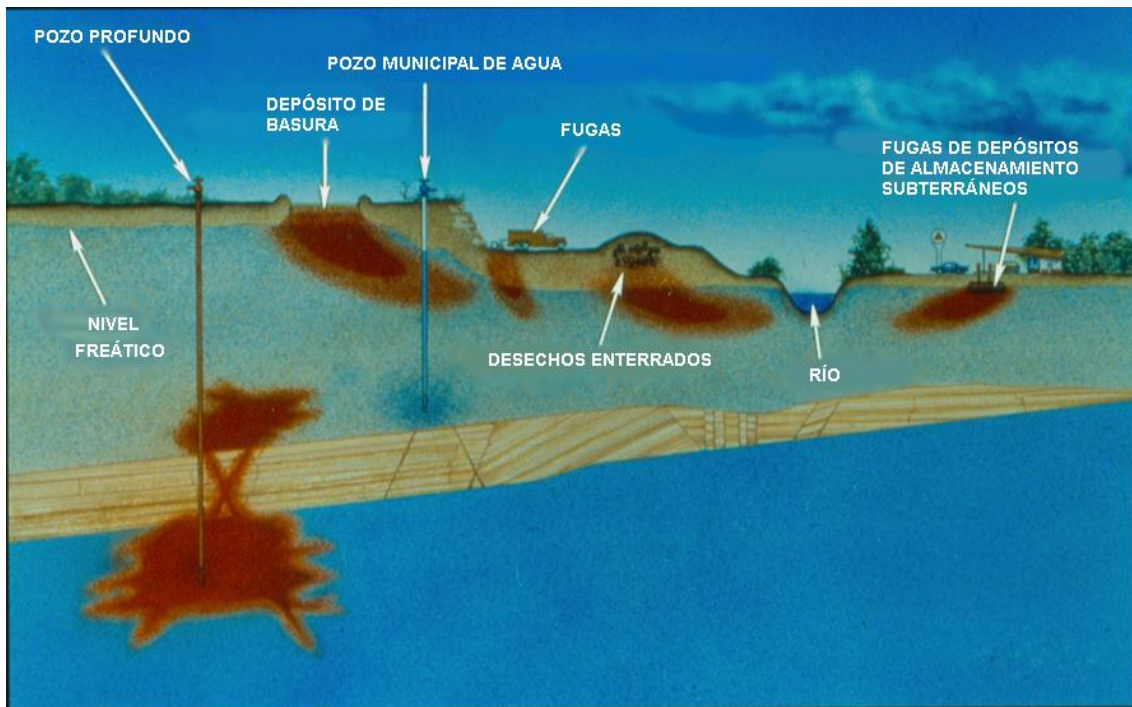
Figura 2. Formaciones del agua subterránea.



2.3 Contaminación en agua subterránea

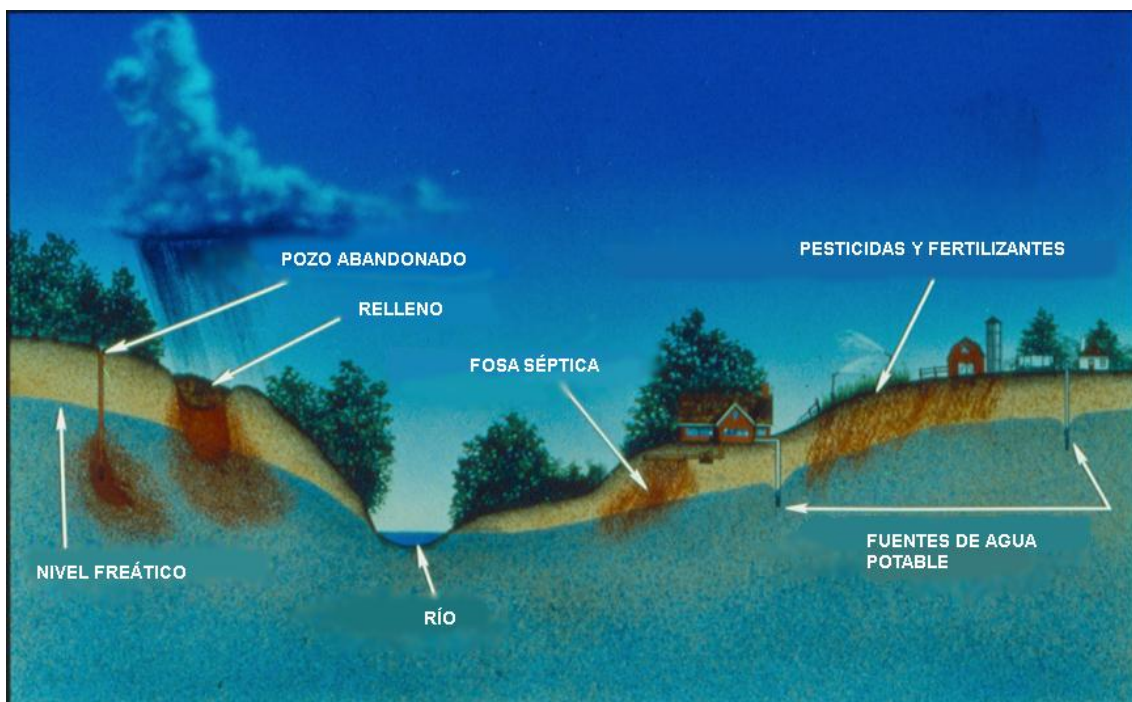
Estos acuíferos pueden ser contaminados por una variedad de factores industriales, municipales y rurales. La contaminación se da especialmente cuando un pozo mal construido provee un paso directo de la superficie al acuífero, permitiendo así que el agua contaminada de la superficie no pase por la percolación para eliminar impurezas. Es por eso que la construcción de los pozos debe ser efectuada de la mejor manera posible.

Figura 3. Fuentes de contaminación industrial y comercial.



En la figura 3 se puede observar la forma en que los residuos industriales y comerciales pueden llegar a contaminar un acuífero. La contaminación se debe a rellenos sanitarios, derrames de residuos tóxicos o por la falta de mantenimiento de pozos industriales ya existentes.

Figura 4. Fuentes de contaminación municipal y rural.



En la figura 4 se observa la contaminación de un acuífero ilimitado por medio de residuos rurales. Un manto puede ser contaminado por un pozo abandonado que es una vía directa desde la superficie al acuífero. La contaminación también se debe a los rellenos de residuos orgánicos, fertilizantes o por algún depósito subterráneo como fosa séptica.

Una de las mayores fuentes de contaminación en Guatemala son los fertilizantes. Siendo un país agricultor, se utilizan fertilizantes así también como químicos para el control de plagas. Gran parte del agua superficial tiene algún nivel de contaminación de este tipo. En lugares como el Lago de Atitlán, actualmente se hacen estudios para ver el nivel de contaminación del lago por uso de fertilizantes y otros químicos en las cercanías del mismo por ser un área específicamente agrícola.

3. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL ACUÍFERO

3.1 Calidad del agua

Generalmente, las aberturas a través de las cuales fluye el agua en el suelo son muy pequeñas. Esto restringe considerablemente la velocidad del gasto y al mismo tiempo proporciona una acción filtrante de las partículas que se encuentran originalmente en suspensión en el agua. Estas propiedades, según se observará, afectan considerablemente las cualidades físicas, químicas y microbiológicas del agua del subsuelo.

Calidad física: el agua del subsuelo es generalmente clara, incolora, con poca o ninguna sustancia en suspensión y tiene una temperatura relativamente constante. Esto se atribuye al proceso de percolación lenta a través del suelo y los efectos mencionados anteriormente. En contraste directo, las aguas superficiales son, muy a menudo, turbias y contienen considerables cantidades de materia en suspensión, particularmente cuando esta agua se encuentra cerca de las áreas pobladas. Las aguas superficiales también están sujetas a variaciones considerables de temperatura. Desde el punto de vista físico, el agua del subsuelo es, por lo tanto, más fácilmente utilizable que el agua de la superficie, ya que rara vez se requiere un tratamiento antes de utilizarse. Las excepciones son las aguas del subsuelo que están conectadas hidráulicamente con aguas superficiales cercanas a través de aberturas grandes tales como fisuras y canales de disolución, así como los intersticios de algunas gravas. Estas aberturas pueden permitir la entrada de materia en suspensión en la capa acuífera. En tales casos, también pueden ser notables los sabores y olores de la vegetación en descomposición.

Calidad microbiológica: las aguas del subsuelo están generalmente libres de organismos muy pequeños (microbios) que causan enfermedades y que están normalmente presentes en las aguas superficiales. Este es otro de los beneficios que resultan de la acción de filtración lenta al circular el agua a través del suelo. Además, la falta de oxígeno y nutrientes en el agua del subsuelo la vuelve un medio inapropiado para que los organismos se desarrollen y multipliquen. Las excepciones a esta regla son ocasionados por las fisuras y canales de disolución encontrados en algunas rocas consolidadas y en capas acuíferas de arena y grava poco profundas de donde se extrae el agua que se encuentra próxima a las fuentes de contaminación tales como fosas sépticas y rellenos sanitarios. La construcción inadecuada también puede resultar en la contaminación de las aguas del subsuelo.

Calidad química: la calidad química del agua del subsuelo está también considerablemente influenciada por su movimiento relativamente lento a través del suelo. El agua ha sido siempre uno de los mejores solventes conocidos por el hombre. Su grado relativamente lento de percolación a través de la tierra proporciona tiempo más que suficiente para que muchos de los minerales que forman la corteza de la tierra se incorporen a la solución. Estos minerales tienen diferentes grados de disolución en el agua, dependiendo de cierto número de condiciones que pueden variar muy ampliamente en una región pequeña. Como resultado, puede haber variaciones apreciables en la calidad química del agua del suelo encontrada en regiones de extensión superficial relativamente limitada.

Los usos que puedan darse al agua del subsuelo dependen de su contenido de minerales. Donde este contenido excede del límite recomendado,

debe aplicarse un tratamiento para eliminar las cantidades excesivas del mineral que contiene. Se conocen varios métodos satisfactorios para la eliminación de cantidades excesivas de minerales importantes que se encuentran usualmente en las aguas del subsuelo. Se debe recurrir a una asesoría técnica experta sobre la necesidad y el uso de estos métodos.

3.2 Características hidráulicas

Es importante conocer cuáles son las características del acuífero ya que éstas influyen directamente en el diseño de un pozo. Para poder continuar es necesario familiarizarse con los siguientes términos:

- Abatimiento (s).

El abatimiento es la distancia que existe entre el nivel estático del agua y el nivel de bombeo del pozo.

- Radio de influencia (R).

El radio de influencia se define como la distancia desde el centro del pozo al límite del cono de depresión. Es más grande para conos de depresión que rodean pozos limitados que para pozos ilimitados. También es mayor en formaciones de alta transmisibilidad, comparadas con las de baja transmisibilidad.

- Capacidad específica (Q/s).

La capacidad específica de un pozo es el gasto dividido por el abatimiento. Es indicativo del rendimiento característico de la formación. También puede ser usado para medir la eficiencia de un pozo. Debido a que la capacidad específica, en la mayoría de los pozos decrece con el tiempo desde el comienzo del bombeo, es necesario indicar en qué momento fue medida,

después de comenzado el bombeo. La unidad usual de la capacidad específica es litros por segundo por metro de abatimiento.

- Nivel estático (NE).

Ésta es la distancia de la superficie del terreno al nivel de agua en el pozo cuando no se le bombea o no está afectado por el bombeo de otros pozos. El nivel estático puede variar debido a sequías, lluvias excesivas, presión barométrica y de mareas y otros efectos de cargas.

- Coeficiente de almacenamiento (S).

El coeficiente de almacenamiento (S) de un acuífero se define como el volumen de agua que el acuífero libera o absorbe por unidad de superficie por cambio unitario de presión en la componente normal a esa superficie. Para acuíferos ilimitados, S es igual a la producción específica del material desaguado durante el bombeo. Para acuíferos limitados, S es igual al agua obtenida del almacenamiento por:

1) Compresión de una columna de acuífero, y

2) Expansión del agua contenida en él. La altura de la columna es igual al espesor del acuífero y la base de la columna es un área unitaria.

Éste es un término adimensional. Para acuíferos ilimitados varía entre 0.01 y 0.35. Para acuíferos limitados varía entre 1×10^{-5} y 1×10^{-3} .

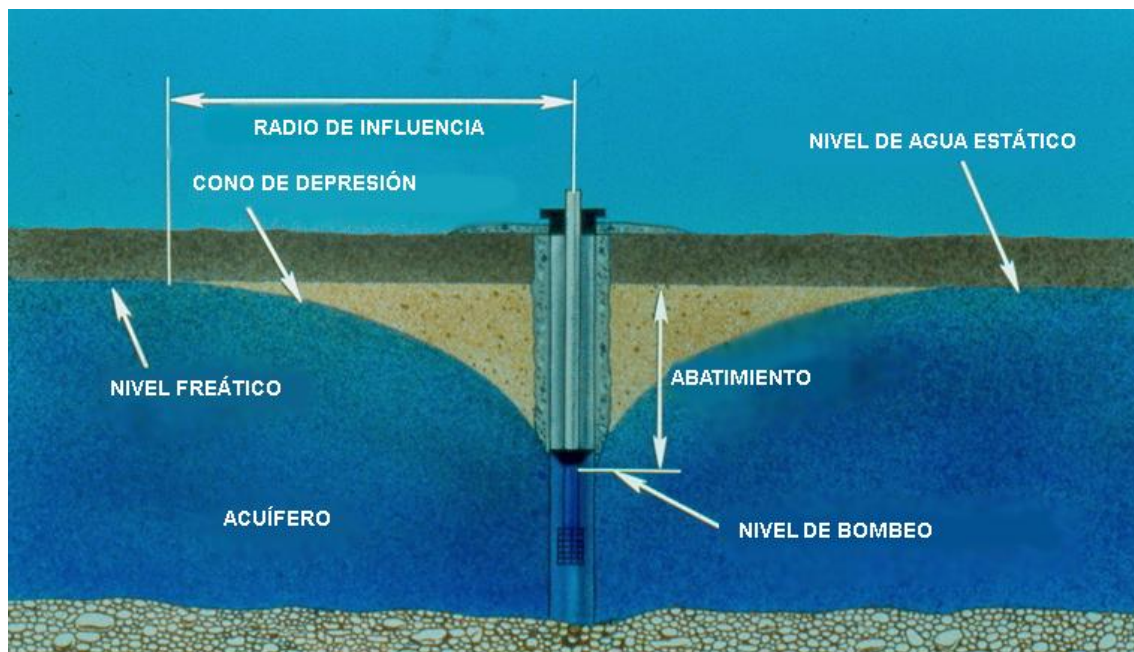
- Coeficiente de Transmisibilidad (T).

El coeficiente de transmisibilidad es una medida de la capacidad de un acuífero para transmitir agua. Se define como metros cúbicos por día a través de una franja de 1m de ancho que se extiende desde el nivel freático hasta la parte más baja del acuífero.

En el campo la transmisibilidad varía ampliamente entre menos de 12.4 y más de 12,400m³d/m. Las formaciones con transmisibilidades menores que 12.4 son improductivas y se utilizan solamente para pozos de uso doméstico. Transmisibilidades mayores a 124 se utilizan para cualquier pozo industrial, municipal o de irrigación.

Es importante entender la diferencia entre coeficiente de transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento. El coeficiente de transmisibilidad indica cuanta agua se moverá a través de la formación y el coeficiente de almacenamiento indica cuanta agua está almacenada en la formación con posibilidad de ser removida por bombeo.

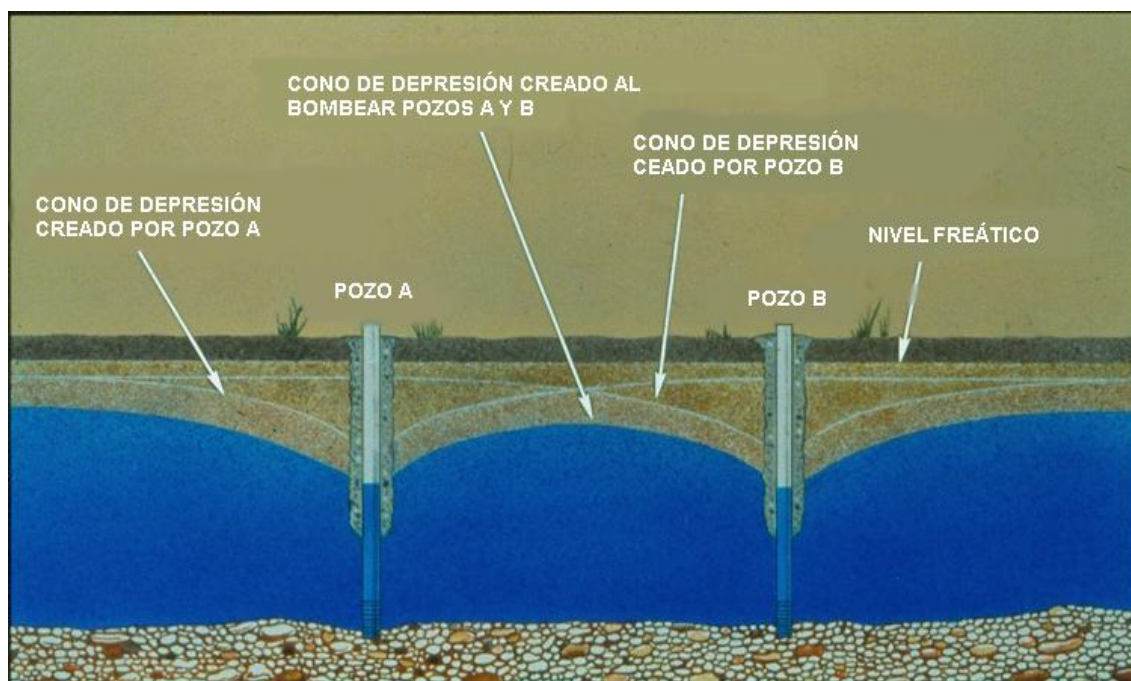
Figura 5. Hidráulica de un pozo.



Un pozo debe estar localizado en un lugar en donde produzca un caudal máximo posible y que se encuentre protegido de algún medio de contaminación. En muchos lugares existen normas que explican que los pozos deben estar a cierta distancia de fuentes de contaminación. A veces la distancia entre el pozo y la fuente de contaminación es mínima creyendo que el

agua se filtrará por el proceso de precolación. Esto puede ocurrir en algunos casos pero no se debería tomar en cuenta. El pozo no debe estar situado cerca de otro pozo, ya que de ser así, el abatimiento podría aumentar y la eficiencia de los pozos se puede ver afectada entre sí. En Guatemala no existe ninguna ley que determina un radio mínimo de espaciamiento entre pozos. Existe una norma en donde se menciona que no se debería perforar más de un pozo en un radio menor de 100 metros. Muchas municipalidades del país han optado por esta medida, pero aún así existen casos en donde los pozos son perforados a un radio bastante disminuido.

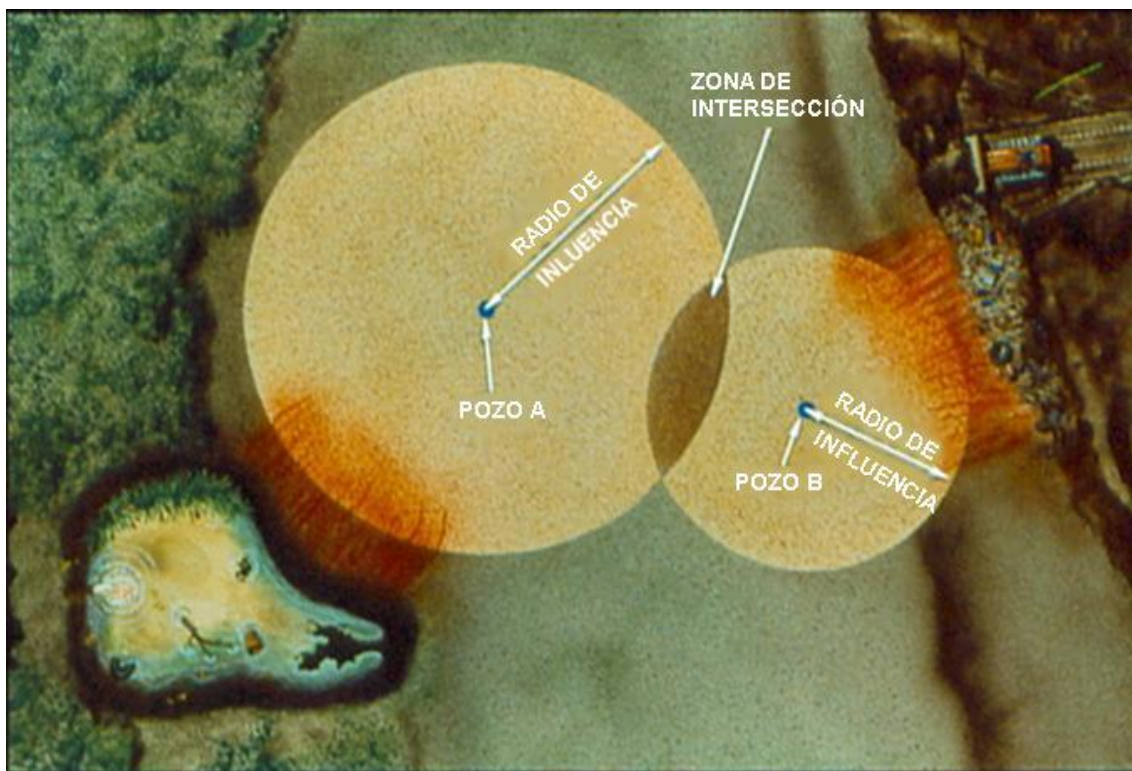
Figura 6. Interferencia de conos de depresión.



En la figura 5 se puede observar cuál es el efecto sobre el nivel freático de dos pozos perforados dentro de los radios de influencia de cada uno. Se puede notar que si solamente existiera uno de los pozos, ya sea el A o el B, el nivel del cono de depresión sería más largo, el abatimiento sería menor y el nivel de bombeo sería menor. Si los dos pozos bombean agua al mismo tiempo, el nivel de los conos de depresión disminuye, el abatimiento aumenta

considerablemente y el nivel de bombeo se vuelve mayor. ¿Qué efectos puede tener esto sobre un pozo? La eficiencia de un pozo disminuir. Un pozo está diseñado para ser lo mas eficiente posible. Si por algún motivo tiene que bombear agua durante más tiempo y de una mayor profanidad, el consumo de energía aumenta. No solamente puede afectar a otro pozo sino que el nivel del acuífero puede disminuir con el tiempo, ya que el volumen de bombeo puede ser mayor a la velocidad de recarga del pozo. Cuando esto sucede, el nivel freático cada vez se encuentra a una profanidad mayor haciendo que los pozos sean cada vez mas profundos y consuman mas energía.

Figura 7. Interferencia de radios de Influencia.



En la figura 6 se puede ver en planta dos radios de influencia. Se puede observar la zona en donde los dos radios de influencia coinciden. En este caso, el pozo A tendría un mayor efecto sobre el pozo B, ya que el área de intersección de los radios de influencia es de menor porcentaje para el pozo A que para el pozo B. También podemos notar que en los extremos se

encuentran fuentes de contaminación. Se observa que las fuentes de contaminación no se encuentran dentro del radio de influencia, pero aún así son absorbidas por el pozo. Esto se debe al movimiento del agua dentro de acuífero. Llega un punto en donde el volumen de bombeo es igual al volumen de recarga y el radio de influencia se mantiene estable, pero eso no quiere decir que no existe ningún tipo de movimiento dentro del acuífero. El agua siempre está en movimiento. Existen varias teorías sobre el tipo de flujo que existe dentro de los mantos, pero se cree que es un flujo laminar. Se crea un flujo turbulento en la zona de bombeo, pero es insignificativa y no crea ningún tipo de pérdida en la producción del pozo.

3.3 Variaciones en los acuíferos como consecuencia de perforaciones inadecuadas.

Una perforación inadecuada se denomina como una perforación que no cumple con las normas establecidas por los entes responsables del cuidado del agua. Así también, a aquella perforación que no cumple con la calidad de construcción necesaria y con la calidad de materiales requerida.

Una perforación inadecuada es un factor directo de contaminación de un manto acuífero como también puede llegar a ser una causa de explotación de un manto acuífero. Hoy en día en Guatemala no existe una ley que determina la distancia necesaria entre un pozo y otro. Algunas municipalidades del país han adoptado una sugerencia establecida por código de salud pública que sugiere que no existe una distancia menor de 100 metros entre pozo y pozo. Esto es resultado de que, un pozo muy cercano a otro, afecta en su eficiencia como se observó con el caso de los radios de influencia. En ese caso antes

mencionado se observó que el nivel de agua entre pozo y pozo disminuye considerablemente. De existir otro pozo más, cercano a estos dos, el nivel de agua disminuirá aún más. Cabe mencionar que esto es solamente un factor de la disminución del nivel freático en un acuífero. La razón que más afecta a la disminución del nivel freático del manto es la interferencia en la recarga del mismo.

El ciclo hídrico muestra que el agua al caer en forma de lluvia es absorbida por la tierra formando el agua subterránea. ¿Qué pasa si sobre esa área en donde el agua de lluvia es absorbida se coloca una capa de material impermeable? La respuesta es sencilla, simple y sencillamente el agua no es absorbida por el terreno natural. Esta es una razón por la cual es necesario efectuar un estudio de manejo de aguas cuando se construye una edificación. Existen leyes en donde el porcentaje de ocupación de un terreno no debe ser igual al área del terreno para que así, el agua pueda ser absorbida. Cuando se construye una carretera o un camino que obstruye el ciclo natural del agua, es necesario hacer modificaciones en el diseño para que el agua pueda fluir sin ser interferida.

Existe un estudio de aguas subterráneas en el valle de la Ciudad de Guatemala, efectuado por el INSIVUMEH. En este estudio se hace mención de la interferencia en la absorción del agua y de la interrupción del escurrimiento de esta misma.

4. RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA LA SELECCIÓN DE UN SITIO PARA LA PERFORACIÓN DE UN POZO MECÁNICO

4.1 Introducción

Para determinar la ubicación, profanidad y algunos otros aspectos de un pozo es necesario determinar varios factores que influyen en el diseño de este. Es por eso que antes de la perforación y del diseño es necesario efectuar un estudio hidrogeológico. Un estudio hidrogeológico describe la zona de estudio, determina la demanda de agua, analiza la geología del lugar y menciona algunos aspectos constructivos de la perforación del un pozo mecánico.

4.2 Características de un estudio hidrogeológico

Un estudio hidrogeológico debe estar compuesto por algunos de los siguientes renglones:

- **Introducción.** Debe dar una leve descripción de la propuesta realizada para efectuar el estudio hidrogeológico. Se definen cuáles son los objetivos del estudio y las prioridades acordadas.
- **Aspectos generales.** Los aspectos generales de un estudio hidrogeológico están divididos en dos secciones: la descripción de la zona de estudio y la demanda de agua. Descripción de la zona de estudio: describe la ubicación del terreno en donde se perforará el pozo. Para tener una idea mejor de la localización del terreno es aconsejable poner distancias aproximadas de comunidades cercanas al área de perforación para mejor ubicación. También se identifica la ruta de acceso a la zona de perforación. Por medio de un sistema GPS o por un mapa detallado de la zona de perforación se localizan las coordenadas

UTM del punto exacto de perforación, así también como su altura sobre el nivel del mar en metros. Por medio de mapas de precipitaciones o estudios realizados en el lugar se identifica la cantidad de precipitación que cae en el lugar. En algunos casos se deben identificar, por medio de fotografías aéreas, las posibles fuentes de contaminación que puedan llegar a afectar al pozo. Demanda de agua: La demanda de agua es esencial para determinar el diseño del pozo. Muchas veces se proporciona, por medio de cliente, la cantidad de agua que necesitan para cubrir sus necesidades. Si este dato no lo proporciona el cliente, se hace un estudio del consumo de agua para determinar el caudal que el pozo debe producir.

- Geología de la zona de estudio. Es necesario conocer la geología del lugar para poder determinar factores como la dureza del terreno que influye directamente en la velocidad de perforación. Se pueden utilizar mapas geológicos para identificar los distintos estratos del subsuelo o por medio de pozos cercanos, se puede obtener la información ya que los estratos en distancias muy cortas es muy probable que no varíen. También es importante identificar las diferentes fallas o alineamientos geológicos ya que estos pueden interferir con la circulación de agua subterránea.

Guatemala es un país con una geología bastante extensa, ya que cuenta con varios tipos de subsuelos. En la siguiente tabla se pueden observar los estratos geológicos más comunes en los pozos para el país de Guatemala:

Tabla 1. Estratos geológicos más comunes para Guatemala

No.	Estrato litológico
1	Suelo orgánico
2	Andesita
3	Andesita fracturada
4	Andesita escoriácea
5	Dacita
6	Dacita fracturada
7	Dacita cuárica
8	Riodacita
9	Riolita
10	Riolita fracturada
11	Basalto
12	Basalto fracturado
13	Basalto escoriáceo
14	Depósito piroclástico con plasticidad (ceniza + paleosuelos)
15	Depósito piroclástico sin plasticidad (tefra + diamictones)
16	Piroclastos andesíticos
17	Piroclastos basálticos
18	Pómez
19	Escoria volcánica
20	Brecha volcánica
21	Aglomerado
22	Roca meteorizada
23	Relleno volcánico
24	Toba riolítica
25	Toba soldada vítrea
26	Toba dacítica
27	Toba pomácea
28	Toba oxidada o fractura
29	Toba aglomerada o Aglomerado tobáceo
30	Granito
31	Granito fracturado
32	Diorita
33	Diorita fracturada
34	Monzonita
35	Arena
36	Limo
37	Sedimento marino
38	Limo con sedimento marino
39	Estrato limo-arenoso
40	Estrato areno-limoso
41	Estrato areno-arcilloso
42	Estrato arcillo-arenoso
43	Arcilla
44	Grava
45	Sedimento fluvial
46	Sedimento aluvial
47	Sedimento aluvial arcilloso
48	Roca retrabajada

Continuación Tabla 1. Estratos geológicos más comunes para Guatemala	
No.	Estrato litológico
49	Conglomerado
50	Aluvión
51	Arenisca
52	Lutita
53	Caliza clara
54	Caliza oscura
55	Mármol
56	Serpentinita
57	Pizarra
58	Filita
59	Esquisto foliado
60	Esquisto Bandeado
61	Vetas
62	Cuarcita
63	Conglomerado metamórfico
64	Pérdida de circulación

La geología se basa en el estudio de las rocas. El hombre trata de conocer su composición, su distribución, cómo se forman, cómo se destruyen, por qué se elevan en las masas continentales y por qué se hundien bajo las cuencas oceánicas.

Todas las personas están familiarizadas con la roca, el más común de los materiales de la Tierra. Los geólogos, de acuerdo con sus observaciones, basándose en su origen, han dividido las rocas de la Tierra en tres grupos principales: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

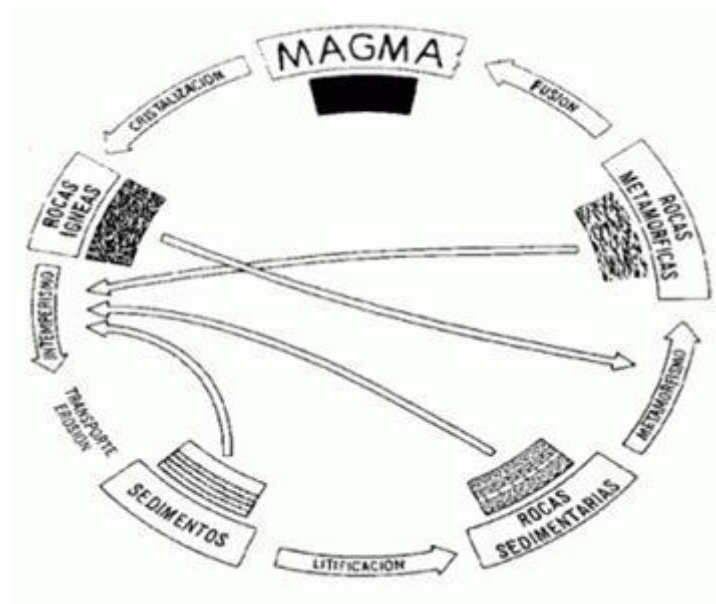
Las rocas ígneas, primigenias en la formación de los grupos, toman su nombre del latín *ignis*, "fuego". Estas rocas fueron, en principio, una masa fundida, semejante a un líquido caliente, que recibe el nombre de magma, y que, al enfriarse, se convierte en roca dura y firme. Así, la lava que desde un volcán en erupción se derrama sobre la superficie de la Tierra, pronto se enfría y endurece, formando una roca ígnea. Pero existen otras rocas ígneas expuestas ahora en la superficie del terreno que anteriormente

se enfriaron a cierta profanidad de la superficie. Estas rocas han sido descubiertas por la erosión que las ha despojado de las rocas que las cubrían cuando se formaron.

La mayor parte de las rocas sedimentarias (del latín, *sedimentum*, “materia que se asienta”) están constituidas de partículas derivadas de la desintegración de rocas preexistentes. Por lo común, estas partículas son transportadas por el agua, el viento o el hielo a los lugares donde se depositan, según nuevos acoplamientos. Por ejemplo, las olas que azotan una costa rocosa pueden aportar los granos de arena de una playa muy cercana. Si estos depósitos de playa se endurecieran, se obtendría una roca sedimentaria. Uno de los rasgos esenciales de las rocas sedimentarias es la estratificación.

Las metamórficas constituyen la tercera gran familia de las rocas. El origen de metamórfico, que significa “que cambio de forma”, concierne al hecho de que la roca original varió de forma. La presión de la tierra, el calor y ciertos fluidos subterráneos químicamente activos pueden estar involucrados en la transformación de una roca originalmente sedimentaria, en metamórfica. Se destaca que existen relaciones definidas entre las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Con el tiempo y alterando las condiciones, cualquiera de estos tipos de roca pueden cambiar en otra forma. Estas relaciones constituyen un ciclo llamado “El ciclo de la roca”. La siguiente imagen muestra este ciclo, el cual no se estudiará con detalle por no ser parte del tema de perforación de pozos.

Figura 8. Ciclo de la roca.



La siguiente imagen muestra algunas de las rocas más comunes para el país de Guatemala:

Imagen 3. Principales rocas en Guatemala.



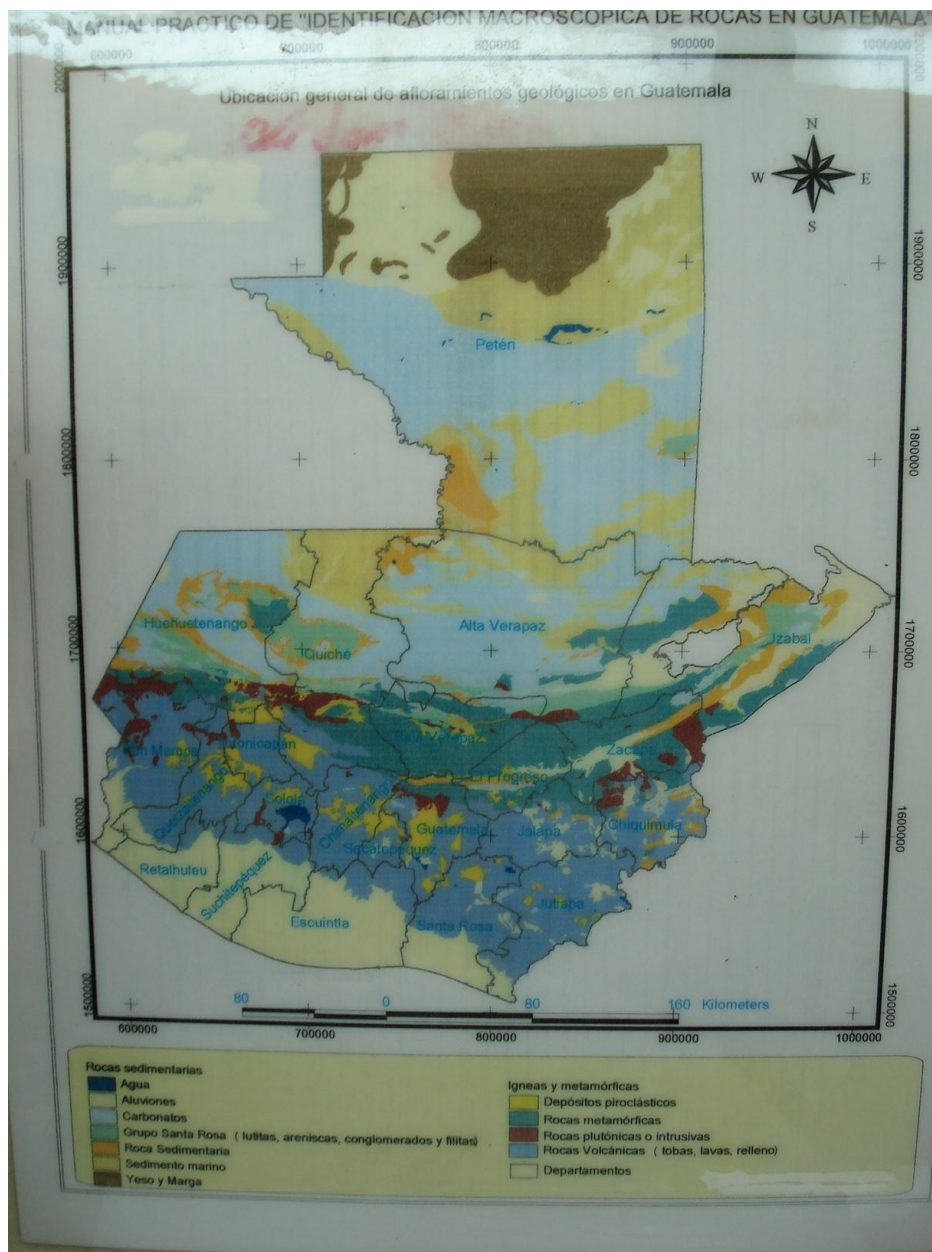
La dureza de las rocas es un factor bastante importante para la perforación de pozos, ya que esta determina la velocidad de perforación. A continuación se presenta una tabla de durezas de las rocas más comunes para Guatemala:

Tabla 2. Dureza de las rocas.

No	Cualidad de dureza	Cantidad de dureza	Principales rocas
1	Muy duro	8 – 10	Granito, Diorita, Basalto, Caliza clara, Gnéis, Cuarzita, Mármol
2	Duro	6 – 8	Entura , Dacita, Riolita, Riodacita, Arenisca, Caliza oscura, Esquisto bandeado o rugoso, Pizarra, Monzonita, Toba riolítica, Toba soldada vítrea, Toba dacítica.
3	Semiduro	4 – 6	Toba, Conglomerado, Serpentinita, Toba pomácea, Piroclastos andesíticos, Piroclástos basálticos, Lutita.
4	Suave	2 – 4	Aglomerado, Brecha volcánica, Esquisto foliado, Filita, Toba aglomerada, Sedimento aluvial, Sedimento aluvial arcilloso, Roca retrabajada, Aluvi3n.
5	Muy suave	1 – 2	Relleno volcánico, Escoria, P3mez, Dep3sitos piroclásticos, Bioclásticas, Sedimento fluvial, Sedimento marino, Arena, Limo, Arcilla, Estrato arcillo-arenoso, Estrato areno-arcilloso, Estrato areno-limoso, Estrato limo-arenoso, Grava, Suelo orgánico, Roca meteorizada.

Para tener una idea más cercana sobre la diversidad geológica que existe en nuestro país, la imagen siguiente muestra un mapa geológico detallado:

Imagen 4. Mapa geológico de Guatemala.



- Condiciones hidrogeológicas de la zona de estudio. Esta sección de un estudio hidrogeológico debe describir cómo la geología de lugar afecta la posible transmisibilidad del acuífero. Se plantean las posibles zonas de perforación.
- Localización del sitio para la construcción del pozo mecánico propuesto. Se describen los posibles lugares de perforación y las razones por las cuáles estos lugares son ideales para la construcción de un pozo.

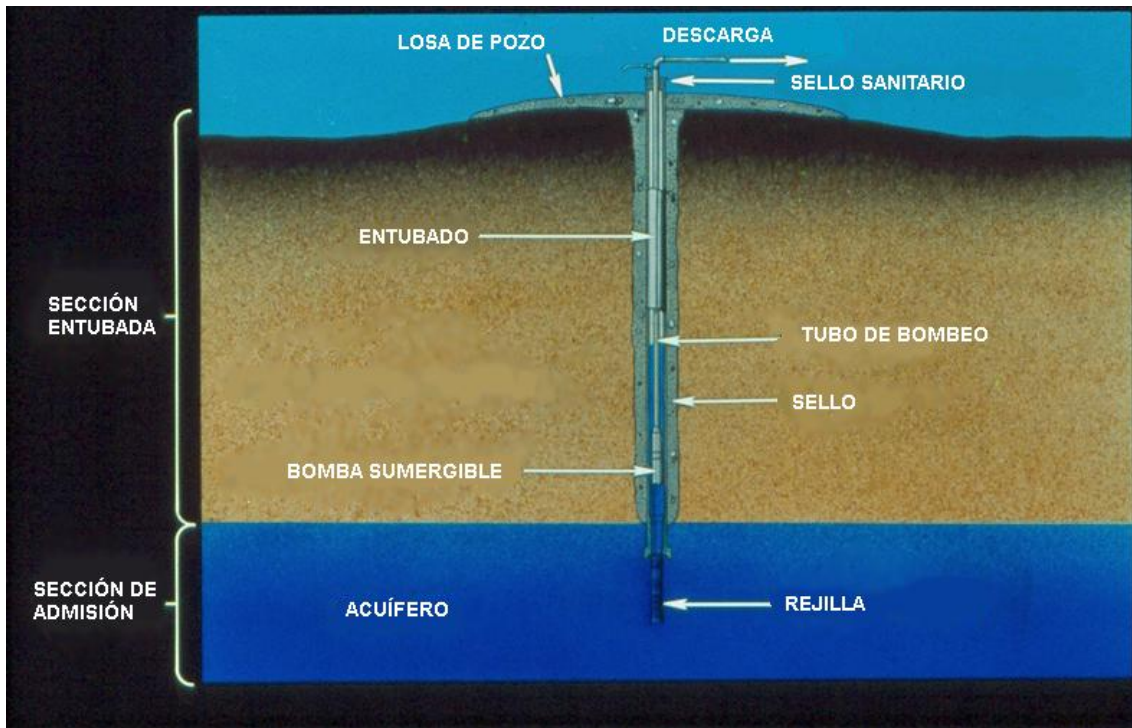
- Aspectos constructivos del pozo mecánico propuesto. Esta sección debe describir los siguientes renglones:
 - Método de perforación
 - Lodos de perforación
 - Diámetro de perforación
 - Profundidad
 - Diámetro de ademe (tubería) y filtros
 - Rejilla

También se hacen diferentes tipos de recomendaciones para la construcción, evaluación, operación y mantenimiento del pozo.

En el anexo 1 y 2 se presentan algunos estudios hidrogeológicos que se llevaron a cabo para hacer distintos pozos en el país de Guatemala.

5. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO Y EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN POZO MECÁNICO

Figura 9. Partes de un pozo mecánico.



5.1 Introducción

Un pozo que se va a construir en materiales no consolidados consta de dos partes principales. La parte superior o sección cubierta del pozo sirve de albergue para el equipo de bombeo, y como conducto vertical a través del cual fluye el agua desde la capa acuífera hasta la bomba o el tubo de descarta de un pozo de tipo limitado. La construcción es impermeable y se extiende hacia abajo desde la superficie hasta la formación impermeable situada en la parte superior del acuífero o a una profanidad segura bajo el nivel anticipado de bombeo. También se conoce como entubado del pozo.

La parte inferior o sección de admisión del pozo es la parte de su estructura en que el agua de la capa acuífera entra al pozo. La sección de admisión puede ser simplemente el extremo inferior abierto del entubado del

pozo, aunque esto sería un arreglo muy defectuoso en formaciones no consolidadas. Las desventajas de esta tener el extremo inferior abierto son los grandes diámetros del pozo requeridos para la infiltración natural del agua dentro del él y la tendencia del material de la capa acuífera a ascender en el entubado del pozo al efectuarse el bombeo. Un mecanismo de rejilla conocido como colador de pozo debe usarse en su lugar. Esa rejilla permite la aplicación de técnicas especificadas para aumentar el grado de infiltración natural del pozo, logrando así un pozo con un diámetro menor. Además de asegurar que no se obstruya la entrada del agua en el pozo a baja velocidad, la rejilla debe de proporcionar soporte estructural contra el derrumbe del material de formación no consolidado y evitar la entrada de éste con el agua en el pozo.

Sección entubada: La selección del diámetro de la tubería del pozo se determina por el tipo y tamaño de la bomba que se espera instalar para el rendimiento deseado del pozo. El entubado del pozo deber ser suficientemente grande para alojar la bomba con bastante holgura para que la instalación sea más fácil y también para que su funcionamiento sea más eficiente. Para pozos grandes, como pozos municipales o industriales, el diámetro del revestimiento debe escogerse dos tamaños nominales mayores que el de la caja de la bomba. Para pozos con un diámetro menor a 4 pulgadas, se puede escoger un entubado que sea un tamaño nominal mayor que el de la caga de la bomba. Esto se toma en cuenta cuando se utilizan una bomba de turbina.

Sección de admisión: El factor que más influye en el funcionamiento eficiente de un pozo es el diseño y la construcción de su rejilla. Una rejilla correctamente diseñada combina un alto porcentaje de área abierta para el flujo libre y con una potencia suficiente para resistir las fuerzas sometidas

durante el proceso de instalación. Las aberturas de la rejilla deberán tener una forma que facilite el flujo dentro del pozo a la vez que dificulte el ingreso de partículas pequeñas que puedan llegar a restringir el paso del agua.

5.2 Análisis de muestras

Durante el proceso de perforación, cada cierta profanidad se saca una muestra del material en el que se esta perforando. Así se crea el perfil litológico del área en perforación. Este perfil es necesario para poder llevar a cabo el diseño de la rejilla del pozo. Más adelante se explicará cómo es este proceso y se comparará con un perfil litológico de un pozo real. La siguiente imagen muestra una serie de muestras obtenidas en la perforación de un pozo.

Imagen 5. Muestras de un pozo.



5.3 Registro eléctrico y su importancia en el diseño de un pozo

Los métodos geofísicos suministran evidencia indirecta de las formaciones subsuperficiales, indicando si éstas pueden ser acuíferas. Los métodos geofísicos no miden directamente el tipo de roca, ni su porosidad, ni la permeabilidad o densidad de una formación. Lo que hacen es evaluar otras propiedades de los materiales, que varían con los factores determinantes de si una formación es suficientemente porosa y permeable como para servir de acuífero.

Los métodos geofísicos se clasifican en operaciones de superficie y en operaciones de sondeo. Los términos anteriores indican que las mediciones

pueden hacerse cerca o en la superficie del terreno o debajo de éste, en agujeros de investigación.

Las mediciones de la resistividad eléctrica, muestran valores que varían con ciertas características del acuífero. Una arena limpia saturada de agua dulce muestra una resistividad relativamente alta. Una arena sucia, o sea, que contenga un poco de arcilla, indica una resistividad menor. Se sabe bien que una arena sucia tiene una permeabilidad menor que otra limpia. Luego, medir las resistividades eléctricas de ambos materiales constituye un método geofísico en el cual la mayor resistividad eléctrica de la arena limpia permite interpretar que este material es apto para ser un mejor acuífero, que el que muestra una resistividad menor. Estas mediciones eléctricas comparativas reflejan la presencia de la arcilla, pero en ningún momento miden directamente el valor de las propiedades hidráulicas de cualquiera de las dos formaciones.

Puesto que varios tipos de materiales terrestres exhiben por lo general valores característicos de resistividad, se pueden entonces identificar los estratos de distintos materiales. Esto es, las arenas, gravas y areniscas altamente resistivas pueden diferenciarse de los materiales de baja resistividad tales como la arcilla y la lutita.

Estas diferencias tienen lugar cuando los respectivos materiales terrestres se encuentran en la zona de saturación de agua dulce.

La operación de geofísica de sondeo más común es el Registro o Perfil Eléctrico. Este sirve para verificar y suplementar el registro descriptivo del agujero que el perforador lleva conforme avanza la perforación.

Un perfil eléctrico consiste de un registro de las resistividades aparentes de las formaciones subsuperficiales y de los potenciales espontáneos

generados en el agujero, ambos trazados en función de la profundidad desde la superficie del terreno. Ambas propiedades se relacionan indirectamente con el carácter de las formaciones bajo la superficie y con la calidad de agua contenida en éstas. Estas mediciones sólo pueden realizarse en agujeros no ademados y que contengan lodo.

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

Lo anterior se deduce del hecho de que la conductividad eléctrica del agua varía con su contenido de minerales disueltos. El agua destilada es un conductor pobre y de alta resistividad, el agua salada es un buen conductor, pero de baja resistividad.

El agua de saturación en la arcilla siempre se encuentra altamente mineralizada debido a los minerales disueltos en las superficies químicamente activas de los millones y millones de partículas de arcilla que constituyen la formación. Como resultado de ello, las formaciones arcillosas exhiben una resistividad relativamente baja.

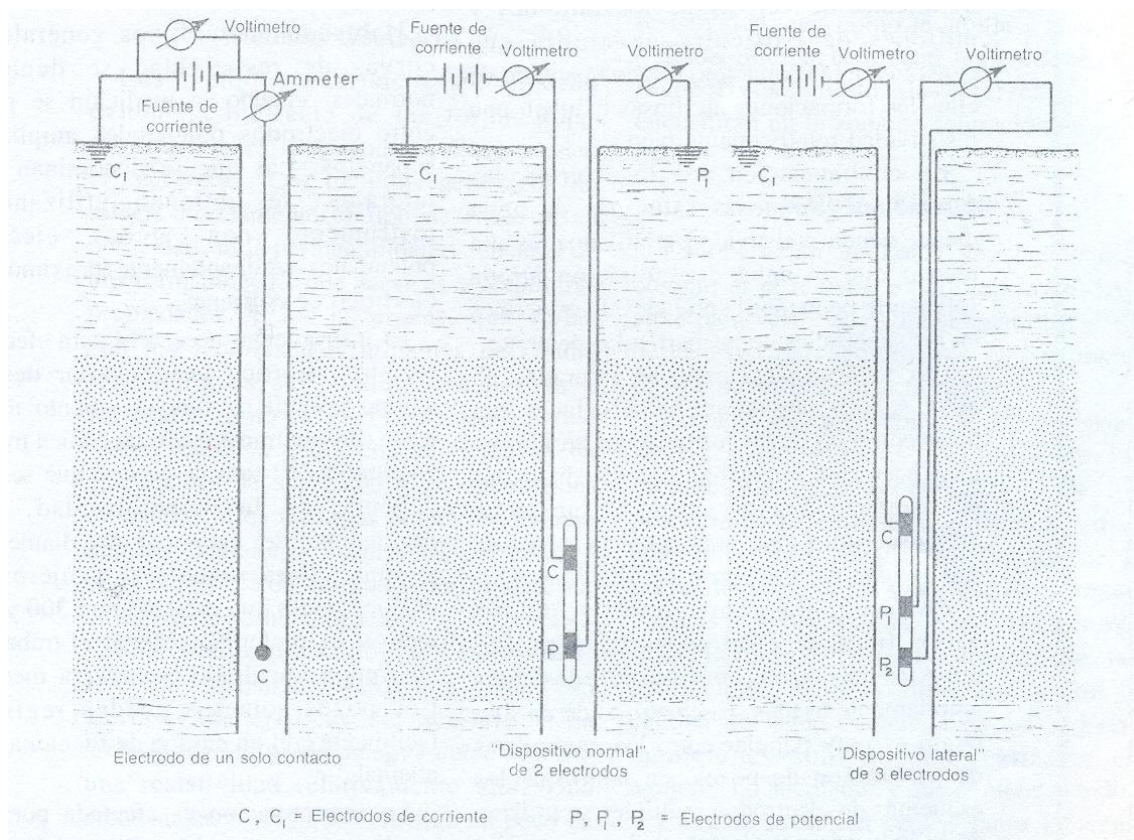
En contraposición con lo anterior, las formaciones arenosas saturadas de agua dulce, tienen resistividad relativamente alta puesto que el agua de

saturación atrapa solamente pequeñas cantidades de minerales en las superficies de las partículas de arena.

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

Para correr el registro eléctrico se utilizan varios tipos de electrodos.

Figura 10. Electrodos para un registro eléctrico.



El electrodo de un solo punto es muy popular entre los contratistas de perforación de pozos, en tanto que los esquemas de electrodos múltiples se utilizan en la industria petrolera y en las compañías que se especializan en labores de geofísica.

La resistividad que se mide cuando se emplea un electrodo de un solo punto, corresponde a la de un volumen limitado de material en las

inmediaciones del electrodo, a una profundidad determinada. Este volumen, que puede concebirse como esférico, incluye un tramo corto de columna de lodo dentro del agujero, más un pequeño volumen de los materiales de la formación que rodea al hoyo. Las resistividades del lodo y de los materiales de la formación, son diferentes de modo que el valor medido corresponde a un valor compuesto por ambos. Si el agujero es muy amplio y el electrodo se halla situado en su centro, solamente se medirá la resistividad del lodo que será la que se registre.

Hablando en términos generales, las curvas de resistividad se denominan normales cuando la medición se practica entre electrodos potenciales ampliamente separados. Las que se denominan curvas laterales se obtienen utilizando un instrumento con ambos electrodos potenciales razonablemente próximos a un electrodo de corriente.

El instrumental necesario para efectuar el registro eléctrico puede variar desde un equipo portátil de funcionamiento manual, hasta otro de transmisión mecánica montado en camión. El tipo de equipo que se utilice depende de la disponibilidad, de la profundidad del agujero y del diámetro del mismo. Para aquellos agujeros con profundidades que oscilan entre los 300 y 1,000 metros, es preferible realizar el trabajo con un equipo impulsado por fuerza mecánica. Los pozos someros pueden registrarse fácilmente con un equipo de funcionamiento manual.

La interpretación es afectada por varias condiciones, todas las cuales deben tener cierto grado de consideración. Estas incluyen: diámetro de la perforación, tipo de fluido dentro de éste, carácter químico del agua de la

formación, porosidad de la misma, grado de invasión de lodo dentro de la formación y el tipo de diseño de electrodos que se utilice.

Una de las variables más importantes al efectuar un registro eléctrico, es la calidad química del agua de la formación. Como una primera aproximación, la resistividad de la formación varía inversamente con los sólidos disueltos contenidos en el agua. Una arena limpia saturada de agua que contenga 600 ppm de sólidos disueltos, indicará una resistividad de la formación, que es la mitad de la que tendría la misma arena si contuviese agua con 300 ppm de sólidos disueltos.

Una parte integral del registro eléctrico completo, es la curva de potencial espontáneo, que muestra el cambio de potencial espontáneo o auto potencial que tiene lugar con la profundidad. De acuerdo con la Schlumberger Well Surveying Corporation, estas designaciones corresponden a diferencias naturales de potencial que tienen lugar entre un electrodo colocado en la superficie y otro situado dentro de una columna de lodo conductor y a cualquier profundidad particular. Estos potenciales descendentes del agujero, son el resultado de ciertas corrientes de origen electroquímico. Tales corrientes se originan en los contactos entre el lodo de perforación y el agua contenida en el estrato permeable y a través de las capas de arcilla que se hallan por encima y por debajo de éste.

La curva de auto potencial, en el caso de pozos someros que solamente penetran horizontes de agua dulce, es poco significativa y suministra escasa información de utilidad.

A continuación se presenta un registro eléctrico de un pozo perforado en el departamento de San Marcos.

La primera imagen muestra los resultados obtenidos durante el registro eléctrico. El análisis se inició a los 400 pies de profundidad. La razón por la cual se inició a esta profundidad es porque allí se encontró el acuífero, y como se mencionó con anterioridad, para poder hacer un perfil eléctrico es necesario que existan lodos.

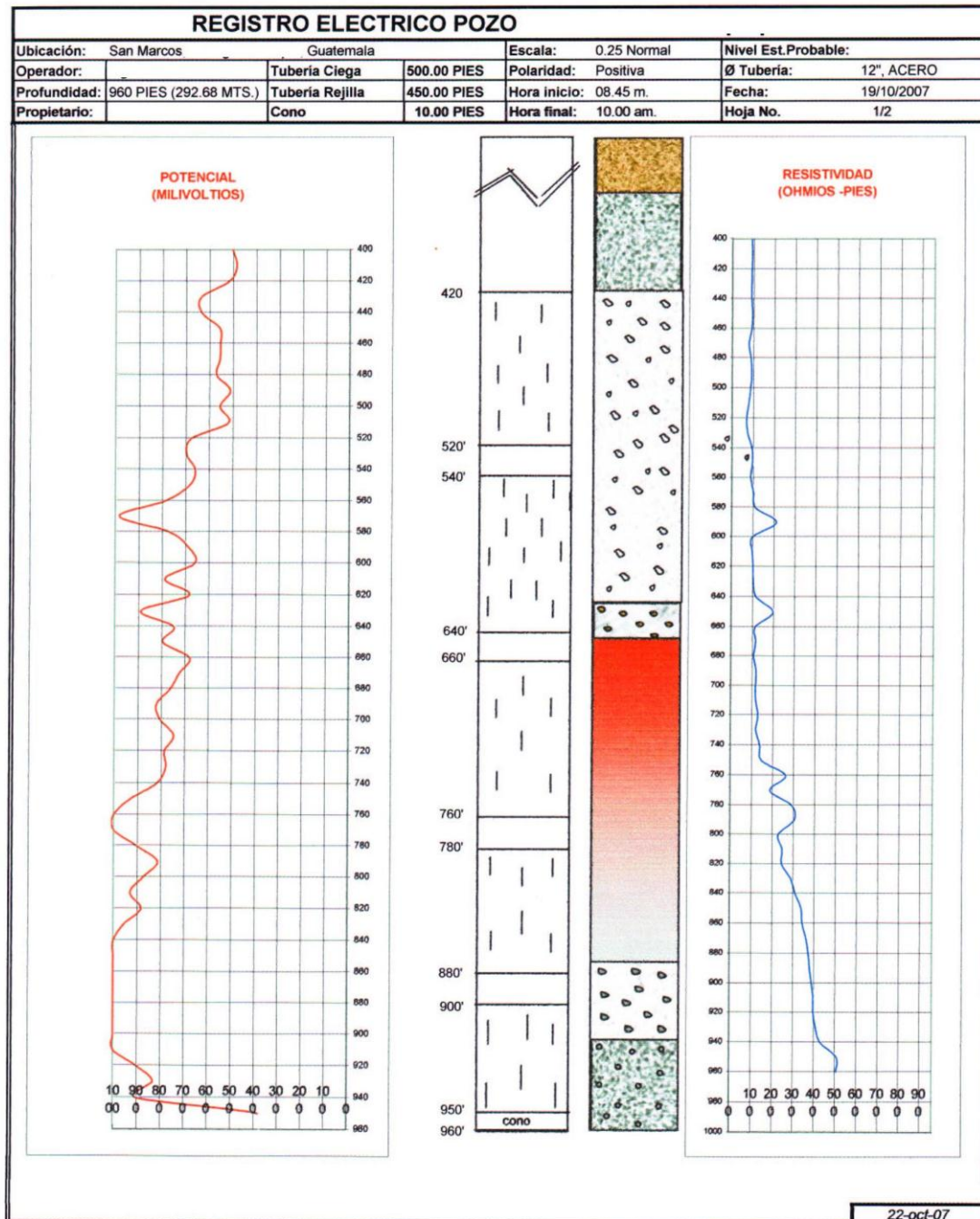
Cada 10 pies de profanidad se fueron haciendo pruebas. Los resultados obtenidos en la tabla son los de la resistividad de los materiales y del potencial.

Ejemplo 1. Tabla de un registro eléctrico.

DATOS DE CAMPO			
Potencial	Profundidad	Resistividad	Profundidad
501	400	93	400
484	410	95	410
515	420	93	420
634	430	92	430
633	440	92	440
556	450	97	450
552	460	93	460
555	470	80	470
569	480	89	480
510	490	93	490
554	500	88	500
517	510	80	510
675	520	70	520
695	530	75	530
658	540	97	540
682	550	98	550
787	560	90	560
982	570	104	570
770	580	114	580
685	590	214	590
658	600	100	600
787	610	99	610
680	620	104	620
889	630	105	630
747	640	119	640
795	650	200	650
679	660	115	660
722	670	118	670
760	680	109	680
820	690	121	690
805	700	118	700
745	710	120	710
785	720	130	720
780	730	121	730
818	740	140	740
930	750	149	750
1000	760	265	760
1000	770	191	770
902	780	295	780
812	790	305	790
872	800	231	800
929	810	250	810
882	820	247	820
955	830	291	830
1000	840	312	840
1000	850	340	850
1000	860	347	860
1000	870	365	870
1000	880	375	880
1000	890	382	890
1000	900	391	900
1000	910	400	910
900	920	400	920
830	930	410	930
900	940	433	940
375	950	509	950
375	960	509	960

La imagen siguiente muestra los resultados tabulados. Es así como se crearon las dos gráficas, la de potencial y la de resistividad. Se puede notar que se necesita la descripción del pozo, ubicación, operador, profundidad, etc.

Ejemplo 2. Perfil de registro eléctrico.

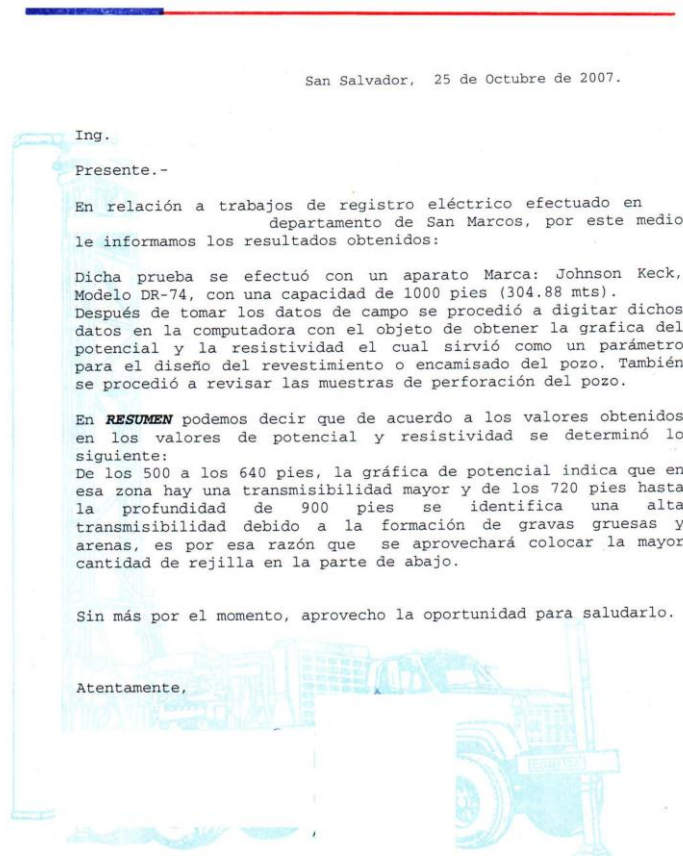


- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 0' a 20' Arcilla y Ceniza Volcanica 20' a 400' Ceniza Volcanica 400' a 620' Granulon y Arena Mediana a Gruesa 620' a 640' Escoracea Rojisa con Grano Grande | <ul style="list-style-type: none"> 640' a 850' Lava Gris, Rojisa y Negra 850' a 900' Grava Gruesa con Arena 900' a 960' Arena mediana, Arena Fina |
|--|---|

En la imagen anterior se puede notar también cómo, de acuerdo a la resistividad y el potencial, se fueron identificando los distintos tipos de materiales que componen el subsuelo de esa zona. Al haber identificado estos materiales, se determina cuáles son las secciones adecuadas para la instalación de la rejilla y cuáles deben llevar tubería convencional.

Los resultados deben ser entregados en una carta. Esta carta debe de tener la información básica del equipo que se utilizó para hacer el registro eléctrico, así también la ubicación y localización del pozo. Además debe incluir un resumen en donde se den a conocer las conclusiones del estudio. Estas conclusiones normalmente sólo describen las zonas en donde debe ir instalada la rejilla. La siguiente imagen muestra un informe final de un registro eléctrico.

Ejemplo 3. Carta de resultados de registro eléctrico.



5.4 Prueba de verticalidad y alineamiento

La explotación de los pozos para agua se hace introduciendo una bomba, en la mayoría de los casos centrífuga y con el motor eléctrico directamente acoplado a la misma y sumergido también en el agua.

Para que esto sea posible es preciso que el pozo sea sensiblemente vertical y, sobre todo, rectilíneo. Las tolerancias en estos dos parámetros deben ser las que permitan la colocación de la bomba sin roces de la misma, ni de la tubería que la acompaña, con el revestimiento del pozo.

A estos efectos, y siempre dentro de límites razonables, es más importante la alineación que la falta de verticalidad, puesto que ésta, siempre que no sea muy acusada, no impide la introducción de la bomba.

El buzamiento de los estratos, sobre todo cuando se combina con alternancia de durezas, supone siempre un peligro de desviación del pozo. Cuando se perfora a rotación, la presión sobre el útil de corte tiene mucha importancia. La presión debe darse siempre por medio de las trabarreas (Drill Collar) colocados inmediatamente sobre el tricono o útil de corte y de diámetro lo más cercano posible al del pozo, y nunca presionando sobre el tricono por medio del varillaje. En este último caso, la probabilidad de desviación es muy grande. Perforando a percusión o rotación en terrenos no cementados, los grandes bolos son frecuentemente causa de desviaciones.

Si se utiliza la perforación a rotación, esta comprobación suele hacerse cuando se entuba el sondeo y antes de cementar la tubería.

Método de medida de la verticalidad de un pozo: Para la comprobación de la verticalidad y alineación de un pozo pueden utilizarse varios

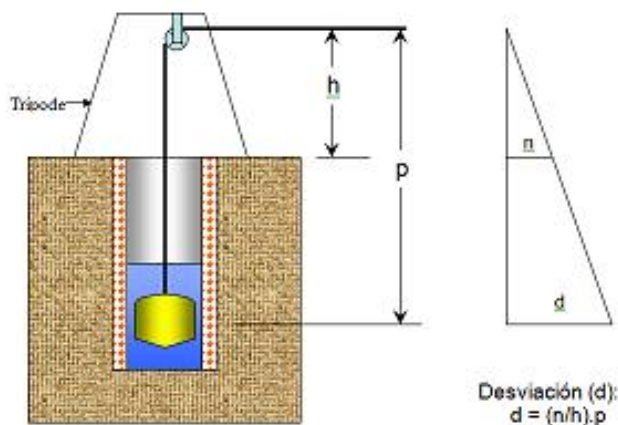
procedimientos. No todos proporcionan la misma exactitud, pero cada uno de ellos pueden ser útiles en determinados casos y circunstancias.

Una primera comprobación (cuando el nivel estático está suficientemente bajo) consiste en mirar desde la boca del pozo al interior (si es preciso iluminando con linterna o por medio de un espejo que refleje los rayos del sol hacia el fondo del pozo y comprobar si la imagen que se ve es un círculo o por el contrario un óvalo. En el primer caso, podrá afirmarse que el pozo está bastante vertical, y desviado en el otro.

Un procedimiento de mayor exactitud y que puede realizarse con medios bastante elementales, consiste en esencia en calcular la desviación que se ha producido a una profundidad determinada, en función de la que se produce en la boca del pozo para un cable fijo a una altura conocida por encima de la boca del pozo

En la figura 11, se muestra un esquema de cómo se efectúa la prueba de verticalidad de un pozo.

Figura 11: Esquema para efectuar la prueba de verticalidad en un pozo



Si se denomina h a la altura que existen entre el cable y la boca del pozo, n a la desviación del cable en la boca del pozo y p a la profundidad a la

que se coloca la plomada que se desciende a lo largo del pozo, por semejanza de triángulos se tiene:

$$\left(\frac{h}{n}\right) = \left(\frac{p}{d}\right)$$

De donde la desviación, **d**, a la profundidad, **p**, será:

$$d = \left(\frac{n}{h}\right) * p$$

El diámetro de la plomada será ligeramente inferior al del pozo. La medición de la desviación, **n**, puede hacerse fácilmente si en la boca del pozo se coloca lámina circular de plástico transparente, graduada con círculos concéntricos (por ejemplo de 2 en 2 mm), el cual se centra perfectamente en el pozo y definiendo el norte magnético o arbitrario del pozo. De preferencia se debe medir la orientación y posición de la desviación, colocando un transportador en grados sexagesimales para el efecto. Esta lámina tiene una ranura para que pueda ponerse y quitarse con cable metido en el pozo

En primer lugar se maniobra con la polea-guía del trípode, hasta situar el cable en el centro de boca del pozo. Para el caso de la prueba en el pozo X, en lugar del trípode se utilizó la polea de la torre de la máquina de perforación y como plomada la cámara para inspección de pozos, como se muestra en la foto 1. Después sucesivamente se va descendiendo la plomada y midiéndose para cada tramo, las desviaciones **n** que se van produciendo en la boca del pozo. Por medio de la fórmula anterior se calculan las desviaciones **d** a las distintas profundidades y con ellas se puede dibujar el gráfico de desviaciones verticales como se muestra en la gráfica 1, si por medio de un disco graduado (un transportador que se orienta al comienzo de las mediciones), se van obteniendo las sucesivas orientaciones de la ranura, se puede dibujar el gráfico de desviaciones en planta, tal como el de la gráfica 2.

Prueba de alineamiento de un pozo: La prueba de ALINEAMIENTO, consiste en introducir un tramo de tubería de 12 metros de longitud y diámetro ligeramente inferior al de la entubación sin que roce en las paredes de esta.

Con el gráfico 1, puede comprobarse si este tramo de prueba pasará o no por el interior de la entubación. Si se inscribe en la curva representativa de las desviaciones un segmento de longitud (a escala) 12 metros, el tramo pasará libremente siempre que la flecha correspondiente sea menor que la mitad de la diferencia entre los diámetros de la entubación y del tramo de prueba. En el caso que se ocupa, se utilizaron dos tubos soldados de acero al carbón de 20 pies cada uno, haciendo un total de 12 metros, los cuales se introdujeron en el pozo sin ninguna dificultad. Esto indica que cualquier bomba puede introducirse sin ninguna dificultad.

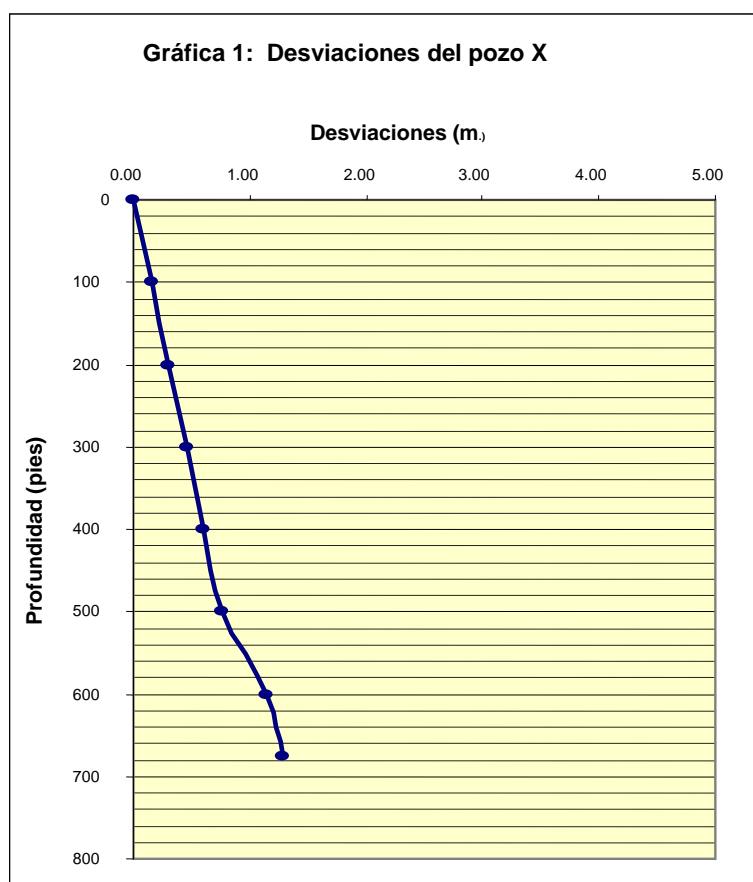




Imagen 6: El ejecutor presenciando la prueba de verticalidad del pozo X.



5.5 Selección del entubado y tipo de tubería a utilizar

Un pozo que se va a construir en materiales no consolidados consta de dos partes principales. La parte superior o sección cubierta del pozo sirve de albergue para el equipo de bombeo, y como conducto vertical a través del cual fluye el agua desde la capa acuífera hasta la bomba o el tubo de descarta de un pozo de tipo limitado. La construcción es impermeable y se extiende hacia abajo desde la superficie hasta la formación impermeable situada en la parte superior del acuífero o a una profanidad segura bajo el nivel anticipado de bombeo. También se conoce como entubado del pozo.

La parte inferior o sección de admisión del pozo es la parte de su estructura en que el agua de la capa acuífera entra al pozo. La sección de admisión puede ser simplemente el extremo inferior abierto del entubado del pozo, aunque esto sería un arreglo muy defectuoso en formaciones no consolidadas. Las desventajas de tener el extremo inferior abierto son los grandes diámetros del pozo requeridos para la infiltración natural del agua dentro del él y la tendencia del material de la capa acuífera a ascender en el entubado del pozo al efectuarse el bombeo. Un mecanismo de rejilla conocido como colador de pozo debe usarse en su lugar. Esa rejilla permite la aplicación de técnicas especificadas para aumentar el grado de infiltración natural del pozo, logrando así un pozo con un diámetro menor. Además de asegurar que no se obstruya la entrada del agua en el pozo a baja velocidad, la rejilla debe proporcionar soporte estructural contra el derrumbe del material de formación no consolidado y evitar la entrada de éste con el agua en el pozo.

Sección entubada: La selección del diámetro de la tubería del pozo se determina por el tipo y tamaño de la bomba que se espera instalar para el

rendimiento deseado del pozo. El entubado del pozo deber ser suficientemente grande para alojar la bomba con bastante holgura para que la instalación sea más fácil y también para que su funcionamiento sea más eficiente. Para pozos grandes, como pozos municipales o industriales, el diámetro del revestimiento debe escogerse dos tamaños nominales mayores que el de la caja de la bomba. Para pozos con un diámetro menor a 4 pulgadas, se puede escoger un entubado que sea un tamaño nominal mayor que el de la caga de la bomba. Esto se toma en cuenta cuando se utilizan una bomba de turbina.

Sección de admisión: El factor que más influye en el funcionamiento eficiente de un pozo es el diseño y la construcción de su rejilla. Una rejilla correctamente diseñada combina un alto porcentaje de área abierta para el flujo libre y con una potencia suficiente para resistir las fuerzas sometidas durante el proceso de instalación. Las aberturas de la rejilla deberán tener una forma que facilite el flujo dentro del pozo a la vez que dificulte el ingreso de partículas pequeñas que puedan llegar a restringir el paso del agua.

A continuación se presenta un cuadro en donde dependiendo del caudal de producción del pozo, se escoge un diámetro del entubado:

Tabla 3. Caudal del pozo contra tamaño del entubado del pozo.

Caudal del pozo (galones por minuto, gpm)	Tamaño de entubado del pozo (pulgadas)	
Menos de 100	6	Diámetro Interior
75 – 175	8	Diámetro Interior
150 – 400	10	Diámetro Interior
350 – 650	12	Diámetro Interior
600 – 900	14	Diámetro Exterior
850 – 1300	16	Diámetro Exterior
1200 – 1800	20	Diámetro Exterior
1600 – 3000	24	Diámetro Exterior

En las siguientes imágenes se puede observar el proceso de entubamiento de un pozo.

Imagen 7. Entubado de un pozo.



Imagen 8. Entubado de un pozo.



Imagen 9. Entubado de un pozo.



5.6 Diseños de “ranurado” o “rejilla”

La selección de la abertura de las rejillas para pozos se hace con base en la curva representativa del análisis granulométrico de las muestras. En una formación homogénea que consista de arena fina y uniforme la abertura de la rejilla (comúnmente llamada tamaño de la ranura) se selecciona como el tamaño que retendrá del 40 al 50 por ciento del material. El tamaño que retiene el 40 por ciento es escogido usualmente cuando el agua no es excesivamente corrosiva y si no hay dudas sobre la bondad de las muestras. Por otra parte, se escoge el tamaño que retiene el 50 por ciento si el agua es extremadamente corrosiva (lo anterior se hace porque un aumento en la abertura de una o dos milésimas de pulgada causado por la corrosión, podría hacer que el pozo produjera arena al ser bombeado) o si hay dudas sobre la bondad de las muestras.

Para determinar la abertura correcta de las ranuras, lo único que hay que hacer es moverse horizontalmente sobre la línea que representa el 40 por ciento retenido en el gráfico representativo del análisis granulométrico (o el 50 por ciento según sea el caso). Cuando se alcanza la curva, se lee el tamaño correspondiente en la escala horizontal. Así, el tamaño apropiado de la ranura sería el necesario dependiendo de si se ha escogido el 50 por ciento o el 40 por ciento.

En una formación homogénea que consiste de arena y grava gruesas el diseñador tiene más amplitud en la selección de la abertura de las ranuras. Esto se debe a que la curva representativa del análisis granulométrico tiene pendiente poco pronunciada y por consiguiente una selección de ranura que sea mayor en unas pocas milésimas de pulgada no dejará pasar demasiado

material. En estos casos la selección de la ranura puede oscilar entre los tamaños que retienen el 50 por ciento y el 30 por ciento.

Si se usa el tamaño que retiene el 30 por ciento, más material pasará a través de la rejilla durante el proceso de desarrollo, y por consiguiente se empleará un poco más de tiempo en el desarrollo del pozo. Sin embargo, esta desventaja es frecuentemente compensada por el hecho de que la rejilla tiene más área abierta, al ser la ranura de mayor tamaño, por lo que si el agua tiende a producir incrustaciones, pasará un tiempo mayor antes de que la producción del pozo sea reducida por la obturación de la rejilla. También, con el tamaño de la ranura más grande, la zona desarrollada es ligeramente más grande en espesor, lo que significa que la permeabilidad de la zona cercana al pozo será mejor, y que el pozo tendrá una capacidad específica más alta: es decir, que será más eficiente. Por otra parte si hay dudas sobre la bondad de las muestras, si el acuífero es delgado y limita con formaciones de materiales finos no consolidados, o si el tiempo disponible para desarrollar el pozo es muy limitado, sería más prudente ser conservador y escoger el tamaño que retenga el 50 por ciento o el 40 por ciento en lugar del 30 por ciento.

En una formación no homogénea (formación estratificada), como generalmente se encuentra en la naturaleza, la abertura de las ranuras de la rejilla debe variarse de acuerdo con la granulometría de los materiales que van apareciendo en cada estrato. La selección de ranura para cada estrato en particular debe hacerse de acuerdo con el criterio ya expuesto para materiales finos, arenas gruesas y gravas. Sin embargo, dos reglas adicionales deben aplicarse al seleccionar las aberturas de las rejillas con ranuras de diferente tamaño:

Regla 1. Si hay una capa de material fino sobre una de material grueso, es necesario extender no menos de 2 pies de rejilla diseñada con la ranura adecuada para el material fino en la zona donde está el material grueso.

Regla 2. Cuando hay una capa de material fino sobre una de material grueso, el tamaño de las aberturas de la rejilla en la zona de material grueso, no deben sobrepasar el doble del tamaño de las aberturas de la rejilla de la zona de material fino.

Estas dos reglas han sido ideadas para disminuir las posibilidades de que los pozos produzcan agua con arena debido a inexactitudes en la determinación de la posición y los diferentes estratos. Se sabe que un pozo desarrollado naturalmente, alrededor del 60 por ciento de los materiales que constituyen la formación colocada inmediatamente alrededor de la rejilla saldrá a través de ella. Esto significa que se formará un espacio vacío que será llenado por el material que se encuentra inmediatamente arriba removido. Por ejemplo, suponiendo que una capa de materia fina está sobre otra de material grueso y comienza en el punto en que ambos hacen contacto. Conforme la porción fina de la capa gruesa removida durante el proceso de desarrollo, ocurre un deslizamiento hacia abajo de la arena fina. Ésta puede ocasionar fácilmente que la parte superior de la rejilla diseñada por la formación gruesa entre en contacto directo con la arena fina, lo que haría que del pozo se obtuviera agua con arena.

5.6.1. Diámetro de la rejilla de un pozo

Como lo demuestra la hidráulica de los pozos, el diámetro de un pozo tiene muy poco efecto en su producción y por consiguiente en su capacidad específica. Cuando se habla de diámetro en el sentido hidráulico, se refiere al

diámetro de la rejilla, y no al de la tubería de revestimiento del pozo, por cuanto es por la rejilla por donde entra el agua. Si se duplica el diámetro de la rejilla, manteniéndose lo demás constante, lo único que se logra es aumentar la capacidad específica del pozo en un 10 por ciento aproximadamente. Por lo que, el diámetro de la rejilla es escogido con fundamentos de un principio básico, éste es la velocidad de entrada del agua a través de las ranuras de la rejilla. Lo anterior, por supuesto, que la bomba será colocada sobre la porción del pozo que lleva la rejilla (que es el caso usual) y que la pérdida de carga ocasionada por el flujo del agua hacia arriba dentro de la rejilla puede ser variado, dependiendo del área abierta disponible en la clase de rejilla considerada.

Se ha encontrado, práctica y experimentalmente que si la velocidad de entrada del agua en la rejilla es igual o menor que un décimo de pie por segundo (tres centímetros por segundo), se lograrán los siguientes resultados:

- Las pérdidas por fricción a través de la rejilla se reducen a un mínimo.
- El porcentaje de incrustación se reduce a un mínimo aceptable.
- El porcentaje de corrosión se reduce a un mínimo aceptable.

Para revisar la velocidad de entrada de una rejilla propuesta basta con dividir el caudal que se espera obtener del pozo entre el área de las aberturas de la rejilla. Si la velocidad de entrada calculada es mayor que 0.1 pies por segundo, el diámetro de la rejilla debe aumentarse hasta un tamaño que proporcione esta velocidad. Por otra parte, si los cálculos demuestran que la velocidad de entrada es de 0.5 pies por segundo, sería conveniente reducir el diámetro a uno que pudiera transmitir el agua a una velocidad de 0.1 pies por

segundo, lográndose así una economía en el costo de la rejilla. La mayoría de los fabricantes de rejillas suministran tablas que demuestran el área disponible por unidad de longitud en los diferentes tamaños de rejilla. La siguiente tabla muestra el área abierta disponible para algunas de las rejillas fabricadas por la casa Johnson Well Screens que es una de las fábricas más prestigiosas en cuanto a fabricación de rejillas. El único problema de estas rejillas es que su costo es bastante elevado ya que son fabricadas de acero inoxidable.

Tabla 4. Área de admisión para rejillas Johnson.

Tamaño nominal de rejilla (diámetro de la tubería del pozo) (pulgadas)	ÁREA DE ADMISIÓN PARA LAS ABERTURAS ESCOGIDAS						
	Área abierta en pulgadas cuadradas por pie de rejilla						
	Ranura No.						
	10	20	40	60	80	100	150
3	10	19	32	42	43	55	65
3 1/2	12	22	37	49	50	64	77
4	14	26	44	57	58	74	88
4 1/2	16	29	49	64	66	84	100
5	18	33	55	72	73	94	112
5 5/8	20	36	61	79	81	104	124
6	21	39	65	85	87	111	132
8	28	51	87	113	116	161	160
10	36	65	110	143	147	166	203
12	42	77	130	170	174	180	223
14 diámetro exterior	38	71	123	163	177	198	251
15 diámetro exterior	39	76	132	175	190	217	268
16 diámetro exterior	35	69	123	164	171	198	250
16 Especial	38	71	125	168	175	203	256
18 diámetro exterior	39	78	139	186	193	224	283
18 especial	42	79	141	189	196	227	287
20 diámetro exterior	47	88	156	209	218	252	318
24 diámetro exterior	46	87	158	217	266	307	389
26 diámetro exterior	49	91	166	227	278	321	406
30 diámetro exterior	57	108	192	268	329	379	480
36 diámetro exterior	65	124	224	307	376	434	550

Una forma rápida de usar esta tabla, consiste en multiplicar el número de pulgadas cuadradas de abertura por 0.31. Esto permite calcular el caudal que puede pasar a través de la rejilla expresado en galones por minuto por pie de rejilla, a la velocidad de entrada recomendada de 0.1 pies por segundo. Por

ejemplo, para una rejilla de 8 pulgadas, con abertura de ranura No. 60 (0.060 pulgadas) el área abierta, según la tabla anterior, es de 113 pulgadas cuadradas por pie de rejilla y su capacidad de transmitir agua es de $0.31 \times 113 = 35$ galones por minuto por pie de rejilla. Diez pies de esta rejilla podrían transmitir 350 galones por minuto de agua a una velocidad de entrada de 0.1 pies por segundo.

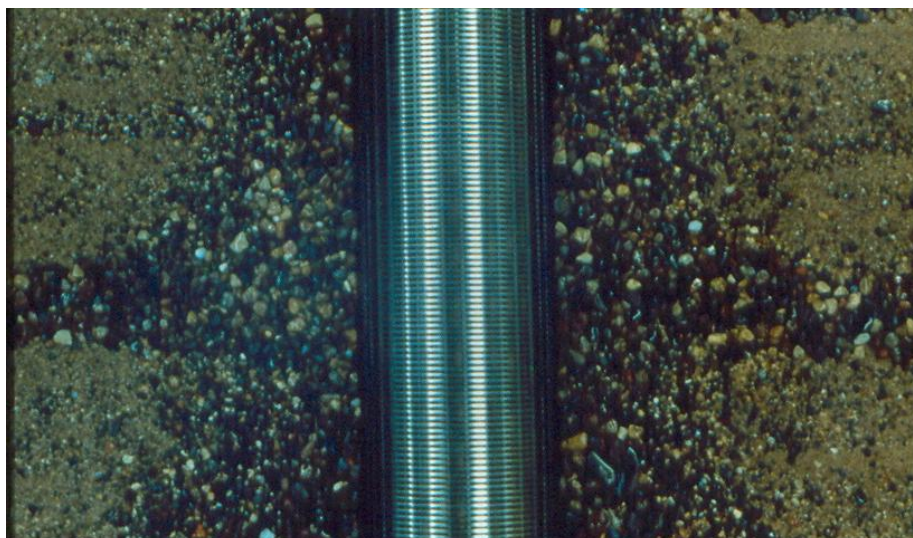
Existen tres factores que gobiernan la escogencia del metal del cual debe ser fabricada la rejilla. Son los siguientes, en su orden de importancia:

- Los contenidos minerales del agua subterránea.
- La presencia de películas bacterianas.
- La resistencia requerida por la rejilla.

El contenido mineral del agua subterránea puede determinarse por medio de un análisis químico de rutina. Estudiando el análisis químico se puede determinar usualmente si el agua es corrosiva, incrustante, o si posee ambas características.

La siguiente imagen muestra una rejilla metálica colocada dentro de un pozo.

Imagen 10. Rejilla dentro de un pozo.



Hoy en día existen rejillas de poli cloruro de vinilo, mas conocidas como rejillas de PVC. Este tipo de rejillas no se ve afectada por la corrosión como las rejillas metálicas. La gran diferencia entre estos dos tipos de rejilla es que la de PVC tiene un porcentaje de espacio libre para absorción de agua mucho menor que la de rejilla metálica.

A continuación se presenta unas imágenes en donde se pueden comparar la rejilla metálica marca Jonson con la rejilla de PVC:

Imagen 11. Rejilla Johnson.



Imagen 12. Rejillas Johnson.

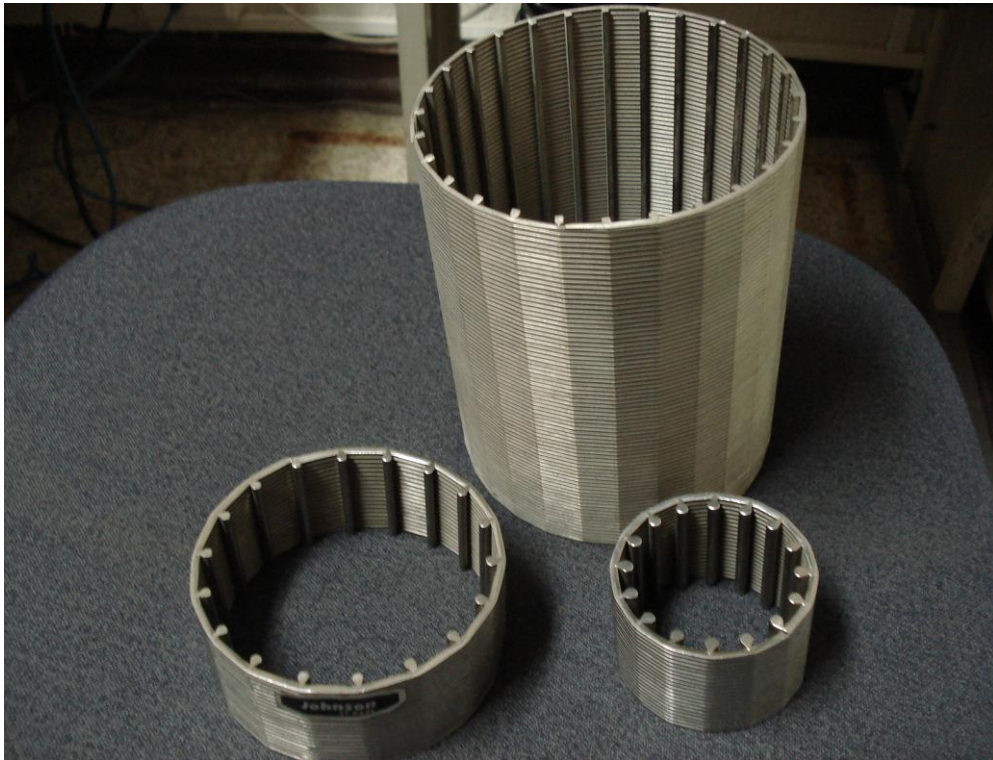


Imagen 13. Rejilla de PVC:



Imagen 14. Rejillas Johnson y PVC:

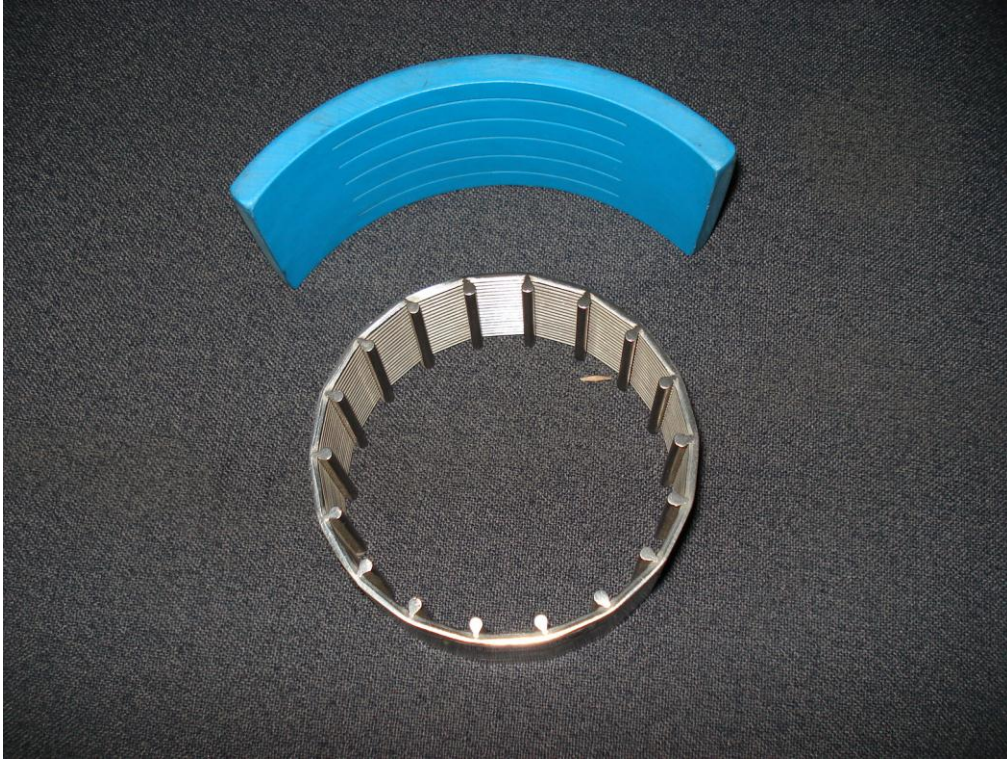
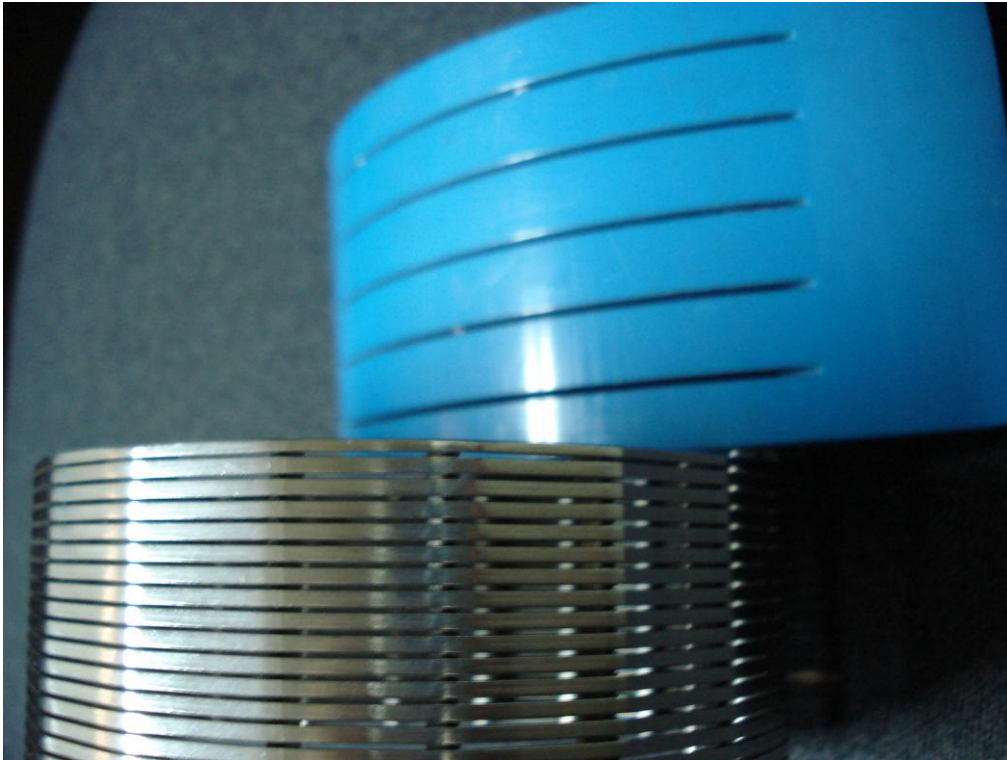


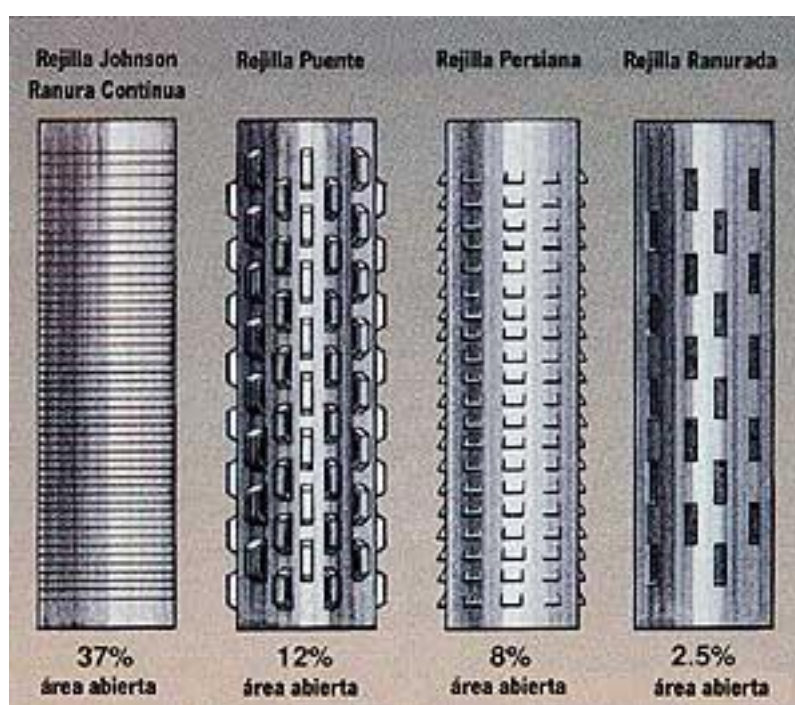
Imagen 15. Rejillas Johnson y PVC:



En la imagen anterior se puede diferenciar que la rejilla metálica tiene una mayor área libre, lo cual permite que una mayor cantidad de agua fluya a través de esta aumentando la velocidad de recuperación del pozo.

Existen varios tipos de rejilla. Estas se diferencian por su forma de aberturas para el ingreso del agua. Cada una tiene una tabla parecida a la tabla que se presentó con anterioridad de la marca Jonson.

Figura 12. Tipos de rejillas.



Los tipos de rejilla son: Rejilla Jonson de ranura continua, rejilla puente, rejilla persiana y rejilla ranurada. En la figura anterior se puede observar el porcentaje de área abierta de cada uno de estos tipos. El más efectivo es la rejilla de ranura continua, seguida por la rejilla puente que es una de las más utilizadas ya que la primera eleva mucho el costo de perforación de un pozo.

En los anexos se muestra un diseño de entubado y rejillas completa. Este pozo es el mismo del cual se presentó la prueba de bombeo y el primer estudio hidrogeológico.

En la imagen siguiente se puede observar como la corrosión afecta a la tubería metálica:

Imagen 16. Corrosión de tubería metálica.



5.7 Formación del sello

Empaque con grava: El objeto de empacar un pozo con grava es proporcionar artificialmente la grava o arena más gruesa que está faltando en la formación natural. Un pozo tratado de este modo se conoce como empacado artificialmente con grava para distinguirlo del pozo desarrollado naturalmente.

La perforación por el método rotatorio a través de una formación acuífera no consolidada resulta necesariamente en un agujero algo más grande que el diámetro exterior de la rejilla del pozo. Esto proporciona la holgura necesaria para permitir el descenso de la rejilla hasta el fondo del agujero sin interferencia. El objeto de la estabilización de la formación es llenar el espacio anular alrededor de la rejilla por lo menos parcialmente, para evitar que los materiales de sedimento y arcilla situados encima de la capa acuífera formen

cuevas o se derrumben cuando se inicie el trabajo de desarrollo. Evitando tal circunstancia, se puede efectuar el desarrollo adecuado del pozo empleando menor tiempo y esfuerzo.

Esencialmente, hay dos estados en las formaciones no consolidadas que tienden a favorecer la construcción con empaque artificial con grava.

El primero de ellos, la arena fina uniforme. Este tipo de arena requeriría una rejilla con aberturas de ranura muy pequeñas y, aún así, el proceso de desarrollo no sería satisfactorio a causa de la uniformidad de las partículas de arena. Además, las rejillas con aberturas de ranura muy pequeñas tienen bajos porcentajes de área abierta a causa del espesor relativo de los alambres de metal que deben usarse para proporcionar resistencia. Para los pozos artificialmente empacados con grava en tales formaciones, deben usarse rejillas con aberturas de ranura más grandes y el desarrollo mejorado permite mayor eficiencia del pozo. La construcción de empaque artificial con grava se recomienda en las formaciones donde la abertura de la ranura de la rejilla, seleccionada sobre la base de un pozo desarrollado naturalmente, es menor de 0.010 pulgadas (ranura número 10).

Las formaciones laminadas extensamente constituyen la segunda serie de condiciones para las que se recomienda la construcción con empaque de grava. Esto se refiere a las capas acuíferas que consisten en fajas alternadas de arena fina, delgada, mediana y gruesa. En tales capas acuíferas es difícil determinar con exactitud la posición y espesor de cada capa y seleccionar longitud apropiada para cada sección de una rejilla de ranura múltiple. El empleo de empaque artificial con grava en tales formaciones reduce las posibilidades de error resultarían del desarrollo natural.

Selección del material para empacar con grava: la selección de la calidad del material para empacar con grava usualmente se basa en la capa de material más fino de una capa acuífera. El material para empacar con grava debe ser tal que 1. Su tamaño de 70 por ciento sea de 4 a 6 veces el tamaño del 70 por ciento del material en la capa más fina de la capa acuífera, y 2. Su coeficiente de uniformidad es un número que expresa la relación del tamaño de 40 por ciento del material y el 90 por ciento. Es conveniente recordar aquí que los tamaños se refieren al porcentaje retenido en un tamiz determinado.

La primera condición asegura que el material para empacar con grava no restringirá el flujo de las capas del material más grueso, siendo la permeabilidad del empaque varias veces superior a la del estrato más grueso. La segunda condición asegura que las pérdidas de material de empaque durante el trabajo de desarrollo sean mínimas. Para lograr esta meta, se escogen las aberturas de la rejilla de manera que retengan el 90 por ciento o más del material de grava para empaque.

El material de grava para empaque debe consistir en granos limpios, bien redondeados y suaves. Son preferibles el cuarzo y otros materiales a base de sílice. La caliza y el esquisto son indeseables como materiales de grava para empaque.

Espesor de las envolturas de grava para empaque: usualmente, las envolturas de grava para empaque son de tres a ocho pulgadas de grueso. Esto no es absolutamente necesario, ya que las pruebas han demostrado que uno o dos centímetros detendrían y controlarían satisfactoriamente la arena de la formación. Los espesores más grandes se usan a fin de asegurar que la rejilla del pozo esté completamente rodeada por la grava del empaque.

Terminal superior: El entubado del pozo debe extenderse por lo menos, un pie (30cm) sobre el nivel general de la superficie circundante. Debe estar rodeado en la superficie del suelo, por una losa de concreto de 4 pulgadas (10cm) de espesor que se extienda por lo menos 2 pies (60cm) en todas direcciones. La superficie superior de esta losa y sus alrededores inmediatos deben inclinarse ligeramente para drenar el agua del pozo. También es aconsejable colocar un drenaje alrededor del borde del pozo. Debe proveerse un sello sanitario para el pozo, en la parte superior de éste, para evitar la entrada de agua contaminada u otro material conveniente directamente dentro del pozo.

Figura 13. Sello sanitario de un pozo.



Terminal inferior del entubado: Para capas acuíferas artesianas, el entubado a prueba de agua debe extenderse hacia abajo dentro de la formación impermeable (como arcilla) que cubre la capa acuífera. El propósito de esto es retener la presión artesiana de la capa acuífera proporcionando un

sello contra filtraciones ascendentes de la misma por el exterior del entubado. El agujero no debe prolongarse en la capa acuífera artésiana hasta que se haya instalado y reforzado el entubado.

En las formaciones acuíferas de capa freática, el entubado debe prolongarse, por lo menos, 5 pies (1.5m) bajo el menor nivel del bombeo esperado. Esta distancia limitante debe aumentarse a 10 pies (3m) en lugares donde el nivel de bombeo es menor de 25 pies (7.5pies) de la superficie.

Las anteriores son reglas generales que deben aplicarse con cierta flexibilidad cuando las condiciones geológicas así lo requieran.

El agujero perforado debe ser mayor que la tubería usada para el entubado del pozo. Esto ocasiona la creación de un espacio anular de forma irregular alrededor del entubado después que se ha colocado en posición. Es importante llenar el espacio a fin de evitar la filtración de agua contaminada de la superficie a lo largo del exterior del entubado dentro del pozo y también para impedir la entrada de agua de calidad inapropiada de los estratos que están sobre la formación acuífera deseada.

En material expuesto a desplomarse, tal como la arena o la arena con grava, el espacio anular se llena muy pronto como resultado de los hundimientos. Por lo tanto, en tales circunstancias, no es necesario hacer arreglos especiales para llenar el espacio anular. Sin embargo, en sitios donde el material que se encuentra sobre la formación acuífera no es de ese tipo, como por ejemplo arcilla o esquisto, deber reforzarse el espacio anular con cemento o lechada de arcilla hasta una profanidad mínima de 10 pies (3m) bajo la superficie. Donde el espesor de los materiales arcillosos lo permiten, el aumento de la profundidad del refuerzo hasta aproximadamente 15 pies (4.5m)

proporcionaría seguridad adicional. El diámetro del agujero perforado deber ser de 3 a 6 pulgadas (7.5 a 15cm) más grande que el entubado del pozo permanente para facilitar la colocación del refuerzo. Es importante retirar temporalmente el entubado cuando se aplique el refuerzo, en vez de llenar simplemente el espacio entre los dos entubados, ya que la infiltración vertical puede ocurrir fácilmente por la parte exterior de cualquier entubado sin sellar.

5.8 Desarrollo y limpieza de un pozo

El objeto del desarrollo del pozo es la remoción del sedimento, la arena fina y otros materiales de una zona inmediata alrededor de la rejilla del pozo, con lo cual se crean cauces más anchos en la formación a través de los que puede fluir el agua más libremente hacia el pozo.

Además de lo antes dicho, el desarrollo del pozo produce otros dos resultados benéficos. En primer término, corrige cualquier obstrucción o compactación de la formación acuífera que haya ocurrido durante la perforación. La obstrucción es particularmente evidente en los pozos perforados por el método rotatorio donde el lodo de perforación sella efectivamente la cara del agujero. Al impulsar el entubado en el método de percusión de cable y herramienta, se hacen vibrar las partículas no consolidadas, compactándose de esta manera. Esto no son los únicos métodos de perforación que dañan la formación en una u otra forma. Todos los métodos de perforación lo hacen en diferentes grados de magnitud, y es necesario el desarrollo del pozo para corregir este daño.

En segundo lugar, el desarrollo del pozo clasifica el material en la formación acuífera inmediatamente alrededor de la rejilla, de tal manera que se

logra una situación estable, en la cual el pozo proporciona agua libre de arena a su máxima capacidad. En una zona inmediatamente fuera de la rejilla, todas las partículas de tamaño menor que sus aberturas se extraen por el desarrollo, dejando así solamente los materiales más gruesos en su lugar. Un poco más alejados permanecen algunos granos de tamaño mediano mezclados con los más gruesos. Esta clasificación de un material grueso a través de otro sucesivamente menos grueso continúa, según aumenta la distancia desde la rejilla, hasta que se llega al material del carácter original de la formación acuífera. Esto marca el fin de la zona desarrollada alrededor del pozo. La sucesión de zonas clasificadas de material alrededor de la rejilla estabiliza la formación, de manera que no tiene lugar ningún movimiento adicional de arena. La extensión de la envoltura depende de las características de la formación, del diseño de la rejilla del pozo y de la habilidad del perforador.

La operación de desarrollo, para ser eficaz, debe causar inversiones de flujo a través de las aberturas de la rejilla y la formación que rodea el pozo. Esto es necesario para evitar algunos grupos de partículas pueden depositarse en las aberturas, como puede ocurrir cuando el flujo es, continuamente, en una misma dirección. La inversión del flujo se produce forzando al agua hacia fuera del pozo a través de la rejilla y hacia dentro de la formación acuífera y después retirando la fuerza para permitir que el flujo tenga lugar desde la formación a través de la rejilla y hacia dentro del pozo. Este proceso se conoce como limpieza por oleaje. La porción de flujo hacia fuera (con respecto al pozo) del ciclo de oleaje evita que por las aberturas se cuelen partículas de material fino, lo cual podría ocurrir mientras la porción de flujo hacia dentro las mueve, y a través de la rejilla en el pozo desde donde, más tarde, son retiradas. Hay

varios métodos para producir la limpieza por oleaje, propia para desarrollar un pozo.

La limpieza mecánica por oleaje es el nombre que se da al método según el cual se opera un émbolo hacia arriba y hacia abajo dentro del entubado como lo hace un pistón de un cilindro. La herramienta normalmente usada se llama émbolo de limpieza o bloque de limpieza. Es la herramienta más comúnmente empleada para el desarrollo de pozos. Los émbolos de limpieza son de dos tipos, los de una pieza y los de tipo de válvula.

Un émbolo de limpieza de una pieza es de construcción sencilla, consistiendo de dos discos de cuero o banda de caucho prensados entre discos de madera, todo montado sobre un nicle de tubería con platillos de acero sirviendo como roldadas bajo el extremo de los acoplamientos. Los discos de cuero o caucho deben formar un ajuste razonablemente preciso en la envolvente del pozo. Este no es, por ningún concepto, el único modo de hacer un émbolo de limpieza de una pieza. Solamente es uno de los diversos métodos de hacerlo, pero sirve para ilustrar las características esenciales de esta herramienta. Las variaciones podrían incluir el uso de cuero o caucho en forma de copa colocado sobre los discos de madera en vez de los discos planos de cuero o banda de caucho. Una forma sencilla de émbolo también puede confeccionarse para su empleo en pozos de diámetro pequeño, atando firmemente suficientes tiras de arpillera alrededor de la tubería de perforación (preferiblemente en una unión) para obtener un ajuste preciso en el entubado del pozo.

Antes de efectuar la limpieza por oleaje, debe lavarse el pozo con un chorro de agua, y por medio de un reductor o bomba hay que retirarse parte del

lodo de la entrada del agujero, así como la arena que pudiera haberse asentado en la rejilla. Esto asegura un flujo de agua suficientemente libre desde la capa acuífera hacia el pozo, para permitir que el émbolo se deslice suave y libremente. Luego se baja el émbolo de limpieza dentro del pozo hasta una profanidad de 10 a 15 pies bajo el agua, pero sobre el extremo superior de la rejilla. Después, se aplica un movimiento de perforación, levantando y dejando caer, repetidamente, el émbolo a una distancia de 2 a 3 pies.

La limpieza debe de empezarse lentamente, aumentando gradualmente la velocidad, pero manteniéndola dentro del límite en que el émbolo se elevará y caerá suavemente. Límpiase durante varios minutos tomando nota de todo el proceso.

El émbolo de limpieza de tipo de válvula difiere del de una pieza, en que el primero lleva cierto número de agujeros pequeños, a través del émbolo, que están cubiertos por una válvula de cuero suave.

Los émbolos de limpieza tipo válvula funcionan en forma similar a los de una pieza. Estos succionan agua desde la capa acuífera hacia el pozo en movimiento ascendente y, permitiendo que parte del agua en el pozo ejerza presión hacia arriba a través de las válvulas en el movimiento descendente, producen un flujo inverso más pequeño en la capa acuífera.

Los émbolos de limpieza pueden operarse también dentro de la rejilla. Esto podría ser de bastante beneficencia en pozos con largos tramos de rejillas.

La inyección a alta velocidad o el lavado por retroceso de una capa acuífera con chorros de agua a alta velocidad, dirigidos horizontalmente a través de las aberturas de la rejilla, es generalmente el método más efectivo

para el desarrollo de pozos. Los componentes principales del equipo requerido son una simple herramienta de inyección, una bomba de alta presión, la manguera necesaria, tubería, eslabón giratorio y tanque de agua u otra fuente de suministro de este líquido.

El procedimiento consiste en bajar la herramienta en la tubería de inyección hasta un punto cercano al fondo de la rejilla. El extremo superior del tubo se conecta, mediante un eslabón giratorio y una manguera, al extremo de la descarga de una bomba de lodo empleada para la perforación por rotación hidráulica.

El método de inyección a alta velocidad es más efectivo en pozos construidos con rejillas tipo ranura continua. El porcentaje más grande de área abierta de este tipo de rejilla permite un uso más efectivo de la energía de la inyección al mover y aflojar el material de la formación, más bien que disipándolo por el simple choque sobre las áreas íntegras de la tubería ranurada.

El método de inyección es el más efectivo de los sistemas de desarrollo porque la energía de los chorros se concentra sobre superficies pequeñas en cada momento y cada parte de la rejilla se puede tratar selectivamente. Este desarrollo uniforme y completo se logra en toda la longitud de la rejilla. El método, también, es relativamente sencillo de aplicarse y no es demasiado probable que cause problemas como resultado de un exceso de aplicación.

La desinfección es el paso final en la terminación de un pozo. Su objetivo es la destrucción de todos los organismos productores de enfermedades introducidos en el pozo durante las distintas operaciones de construcción. La entrada de estos organismos en el pozo puede ocurrir en el

agua de perforación contaminada, el equipo, los materiales o por conducto del drenaje de la superficie dentro del pozo. Todos los pozos recientemente construidos, con la posible excepción de los de flujo artesiano, deben, por lo tanto, desinfectarse. También deben desinfectarse los pozos después de una reparación y antes de volver a ponerlos en servicio. El agua de los pozos de flujo artesiano está, generalmente, libre de contaminación por organismos productores de enfermedades después que se ha dejado fluir y eliminar el agua durante un corto tiempo.

A causa de los problemas de las pruebas para averiguar la existencia de organismos productores de enfermedades, de los cuales puede haber varios tipos e agua, se buscan bacterias coniformes como indicadores de la posible presencia de esos organismos de origen animal en el agua. Por lo tanto, la desinfección se considera completa cuando el muestreo y el ensayo del agua no revelan la presencia de ninguna bacteria coniforme. El muestreo y el ensayo deben efectuarse por personal experimentado de una agencia de salubridad o laboratorio reconocido.

El pozo debe limpiarse lo más completamente que sea posible de sustancias extrañas, tales como tierra, grasa y aceite, antes de la adición de una solución fuerte de cloro en el pozo. Entonces, debe agitarse completamente el contenido del pozo y dejarse reposar durante varias horas preferiblemente toda la noche. También debe tenerse cuidado de lavar toda la superficie sobre el nivel del agua en el pozo con la solución desinfectante. A continuación, debe bombearse agua del pozo durante suficiente tiempo para cambiar varias veces el contenido de éste y expulsar del él el exceso del cloro.

El hipoclorito de calcio es la fuente de cloro más empleada en la desinfección de pozos. Se vende en almacenes de sustancias químicas y en algunas ferreterías, en forma granular y en tabletas, conteniendo 70 por ciento de cloro disponible por eso. Es moderadamente estable en estado seco y retiene el 90 por ciento de su contenido original de cloro después de un año de almacenamiento. Cuando se encuentra húmedo, pierde fuerza y se vuelve totalmente corrosivo. Por lo tanto, debe de almacenarse en ambientes frescos y secos. Debe agregarse suficiente hipoclorito de calcio al agua contenida en el pozo para producir una solución cuya concentración varíe entre 50 a 200 partes por millón (ppm) por peso y, de ordinario, aproximadamente 100 ppm. Una solución de aproximadamente 100 ppm de cloro se puede obtener agregando 2 onzas ó 4 cucharadas soperas bien llenas de hipoclorito de calcio (con 70 por ciento de cloro disponible) a cada 100 galones (15 g a 100 lt) de agua almacenada en el pozo. Usualmente, por conveniencia de aplicación, se hace una solución de reserva mezclando el hipoclorito de calcio con una pequeña cantidad de agua para formar una pasta suave y, después, agregar el resto de 2 cuartos de agua por cada onza (6.7 lt por 100 g) de la sustancia química. Agítese completamente la mezcla durante 10 o 15 minutos antes de dejar que se asiente. Después, se vierte el líquido más claro para usarlo en el pozo. Un galón o litro de esta solución, agregado a 100 galones o litros de agua en el pozo, produce una solución de una concentración aproximadamente igual a 100 ppm de cloro. La solución de reserva debe prepararse en un recipiente completamente limpio, de vidrio, loza o goma. Los recipientes de metal se corroen y deben evitarse. Las soluciones de reserva deben prepararse para las necesidades inmediatas solamente, ya que pierden su

fuerza rápidamente si no se almacenan en forma adecuada en envases fuertemente cerrados, de vidrio oscuro o plástico. El almacenamiento de la sustancia química en forma seca es mucho más conveniente.

El hipoclorito de sodio se puede usar en ausencia de hipoclorito de calcio. Esta sustancia se encuentra solamente en forma líquida y se puede comprar en concentraciones hasta de 20 por ciento, aproximadamente, de cloro disponible. En su forma más común, blanqueador para lavandería doméstica tiene una fuerza de aproximadamente 5% de cloro disponible. Una solución de reserva, de fuerza equivalente, hecha de hipoclorito de calcio y descrita en el párrafo anterior, puede hacerse diluyendo blanqueador comercial con el doble de su volumen de agua. Esta solución también debe agregarse al pozo en la proporción de un galón o litro por cada 100 galones o litros de agua.

Los pozos de flujo artesiano se desinfectan, cuando es necesario, bajando un recipiente perforado, como una sección corta de tubería tapada en ambos extremos y que contenga la cantidad adecuada de hipoclorito de calcio seco, hasta el fondo del pozo. El flujo ascendente natural del agua distribuirá el color disuelto en toda la profanidad del pozo.

5.9 Prueba de bombeo

La prueba de bombeo (aforo) es necesaria para poder determinar la capacidad de producción de agua del pozo (caudal). Primero se determina en nivel freático del pozo. Durante un proceso de 24 horas se bombea agua del pozo con una bomba de especificaciones conocidas. Después de haber empezado en proceso de bombeo, cada 30 minutos la bomba se coloca a una profanidad mayor ya que el nivel del agua va disminuyendo conforme va

pasando el tiempo. Cuando el caudal producido por el pozo es constante, y la altura del nivel freático se mantiene constante no es necesario movilizar la bomba. Si este nivel se mantiene durante el resto de tiempo para cumplir las 24 horas de bombeo, se determina que el nivel de agua final es el nivel de bombeo del pozo. Así, restando el nivel inicial con el nivel final se conocerá el abatimiento del pozo. Al terminar la prueba de bombeo, se mide el tiempo de recarga del pozo. Esto se hace utilizando manómetros para medir la presión de agua en el pozo. Cuando la presión alcanza una presión cercana a la inicial se determina el tiempo de recarga. Es necesario mencionar que un pozo nunca alcanzara el nivel inicial, a menos que el pozo se quede durante un largo período de tiempo sin funcionar, cosa que en la mayoría de los casos no se da.

Durante el proceso de la prueba de bombeo se mide también la energía eléctrica consumida por la bomba. Esto es necesario para tener una aproximación del consumo de energía que tendrá el pozo durante su vida útil.

En los anexos se pueden ver los resultados de una prueba de bombeo para un pozo en la Aldea de Las Nubes. Allí mismo se mostró el estudio hidrogeológico de este mismo proyecto. La producción de agua del pozo es bastante similar a la del estudio hidrogeológico.

6. MAQUINARIA Y MÉTODOS PARA LA PERFORACIÓN DE UN POZO MECÁNICO

Existen varios métodos de perforación de pozos mecánicos. Los más comunes en el medio son los métodos de percusión, rotativo y roto percusión.

Método de percusión. Éste opera a base de un dispositivo que da a la herramienta un movimiento alternativo de traslación por transmisión mediante un cable. La herramienta pesada (barra de peso y trépano de broca) se levanta mecánicamente. Al caer en caída libre punza la roca y la rompe poco a poco por sus choques repetidos. Simultáneamente, una débil rotación alternada gira la herramienta por torsión del cable. El movimiento alternativo de traslación es dado por un balancín a razón de 40 a 80 golpes por minuto según el tipo de terreno. Este método trabaja casi en seco y los cortes del terreno se extraen mediante baldes o cubetas. El elemento activo y esencial de este sistema es la roca y la barra de peso. Como actúan por su propio peso, deben ser pesadas y macizas.

Método rotativo. En este método la herramienta está animada por un movimiento de rotación. La sarta de herramienta o tren de perforación se compone, desde abajo hacia arriba, de las siguientes partes:

- Broca (tricono)
- Adaptador
- Drill Collar
- lastrabarrena o barra de peso
- Adaptador
- Barras de perforación

La última barra de perforación se enrosca al Nelly bar (barra de arrastre) la cual hace girar toda la sarta de herramienta por medio de rotación transmitida por la mesa rotatoria.

Simultáneamente, cuando se acciona la herramienta, se hace circular el fluido de perforación (agua + bentonita + aditivos) por medio de una bomba de lodos que lo succiona desde una fosa y lo inyecta a través del Kelly bar, barras de perforación para que llegue a salir por las boquillas de la broca para efectuar las siguientes funciones principales:

- Enfriar la broca
- Levantar los cortes y transportarlos a.C. la superficie para su eliminación del circuito de lodos
- Formar el cake o revoque en las paredes del agujero para evitar derrumbes de la formación geológica
- Reducen la invasión de filtrados
- Reducen el tiempo de desarrollo

Con las barras de peso y el movimiento de rotación, la broca va girando y cortando los estratos del subsuelo. Conforme progresa el avance se van añadiendo más barras hasta completar la profanidad programada del pozo.

Imagen 17. Torre de perforación.



Imagen 18. Tubería de perforación.



Imagen 19. Tubería de perforación.



Imagen 20. Tubería de perforación.



Imagen 21. Torre de perforación.



Imagen 22. Torre de perforación y tubería de perforación.



Imagen 23. Mesa rotatoria y tubería de perforación.



Imagen 24. Perforación por el método rotativo.



Imagen 25. Broca rotatoria de trepano del tipo de rodillos.



Imagen 26. Nivelación de maquinaria.



Imagen 27. Bomba de lodos.



Imagen 28. Zona de perforación.



Existen varios tipos de Bentonita. A continuación se mencionan algunos de la casa BAROID que es una de las más famosas en cuando a productos de perforación.

- **AQUAGEL GOLD SEAL:** Es una bentonita sódica Wyoming de calidad Premium, de alto rendimiento que no contiene polímeros, aditivos, o tratamientos químicos de ninguna clase. Está tamizada con el tamiz No. 200, lo que significa que puede agregarse directamente a agua dulce o a fluidos dulces. Funciona como viscosificante y reductor de filtrado en lodos de agua dulce. Algunas ventajas son: Mineral natural sin aditivos. Certificados bajo las normas específicas para bentonitas. Ideal para aplicaciones en perforación de pozos geotécnicos y de monitoreo ambiental. Desarrolla estructura de gel para suspensión de recortes. Calidad controlada y fabricada para exceder los estándares requeridos.

- Revoque fácilmente removible de la formación por flujo natural. Provee lubricidad en lodos de perforación.
- **AZUAGEL:** Es una bentonita código de Wyoming grado Premium molida que cumple los requerimientos necesarios. Proporciona características de viscosidad y propiedades de gel a lodos de perforación a base de agua dulce. Ventajas: Proporciona suspensión a los recortes perforados. Puede adicionarse directamente al agua dulce ó a los lodos formulados a base de agua dulce. Fácil de mezclar. Económico.
 - **HOLEPLUG:** Es una arcilla de bentonita de sodio que ocurre de forma natural en Wyoming. Es un material formado por partículas que son medidas y clasificadas, se usan para sellar y tapar pozos de sondeo terrestres. Existen de dos diámetros, 3/4" y 3/8". Ventajas: Evita la entrada del agua de la superficie en los pozos de sondeo. Alto potencial de hinchamiento. Expansión in situ para proporcionar un sellado excepcional con estabilización excelente del revestimiento. Más fácil de aplicar que los pellets. Económico. Fácil aplicación, no requiere mezcla. Evita el desplazamiento vertical de fluidos en el pozo entre zonas porosas. Forma sello flexible y permanente en el fondo del pozo. Permite volver a entrar al pozo. Rehidratable.
 - **AQUAGUARD:** Es un material de sellado en un único saco conteniendo bentonita sódica granular tipo Wyoming, mezclada con aditivos inorgánicos. La lechada se diseña para sellar el espacio anular alrededor del revestimiento en pozos de monitorio o de agua. Algunas de sus ventajas son: No contiene ningún polímero. Un solo saco, fácil mezclado, libre de polvo. Desarrolla una lechada de 30 por ciento de

sólidos de densidad 10.1 lb/gal (1.2 g/cm³) con un gradiente hidrostático de 0.525 psi/fr (11.88 kPa/metro). Sello flexible que provee una baja permeabilidad que no permite el ingreso de acuíferos y entrada de contaminantes de superficie. No necesita calor de hidratación, no daña los revestimientos plásticos por elevación de temperatura. Certificado por las normas correspondientes.

Uno de los aditivos para añadir a la Bentonita, que es bastante común hoy en día, es la Soda Ash. Ésta es un polvo blanco, granular, empleado principalmente para eliminar las durezas del agua que se utilizará para la mezcla y elevar el pH.

Sus aplicaciones son las siguientes:

- Elimina la dureza del agua que se utilizará para la mezcla debido al calcio.
- Elevar el pH.

Sus ventajas son:

- Eliminar iones de calcio extrayéndolos como carbonato de calcio insoluble.
- Maximizar el rendimiento de la bentonita y el producto de polímero.

Su tratamiento recomendado es:

- Antes de agregar el Soda Ash, se debe comprobar la dureza y niveles de pH del agua a utilizar.
- El Soda Ash debe agregarse siempre antes de colocar la bentonita o el polímero al sistema de fluidos.

- El Soda Ash no debe agregarse al mismo tiempo que otros componentes del fluido de perforación.
- Al tratar el agua a utilizar, los límites de pH deben mantenerse entre 8.5 y 9.5
- De 1 a 2 libras por 100 galones de agua a utilizar o de 1.2 a 2.4 kilogramos por metro cúbico de agua a usar.
- Utilizar según sea necesario para eliminar los iones de calcio pero no agregar en exceso ya que un tratamiento excesivo puede producir efectos negativos y una reducción en el rendimiento de los componentes o el sistema de fluidos de perforación.
- Mezclar lentamente a través de un mezclador de chorro o tamizar lentamente en el vórtice de un agitador de alta velocidad.

El Soda Ash viene embalada en sacos de papel de varias capas de 50 libras (22.7 kg) o 100 libras (45.4 kg).

En las siguientes imágenes se pueden observar la fosa de lodos en donde se mezcla la bentonita y la bentonita.

Imagen 29. Preparación de bentonita.



Imagen 30. Pila de preparación de lodos.



Imagen 31. Pila de preparación de lodos.



7. PROCESOS DURANTE LA PERFORACIÓN DE POZOS MECÁNICOS PARA AGUA

- Se procede a traslado de personal, maquinaria y herramienta al sitio del proyecto.
- Se coloca la máquina en el punto y se nivela.
- Se levanta la torre.
- Hacer fosa y circuito de lodos (Método Rotativo)

Imagen 32. Preparación de pila para lodos.



- Hacer lodos (mezclar agua, bentonita y soda ash hasta llegar al grado de viscosidad idóneo para el tipo de terreno) (Método Rotativo).
- Armado de herramienta.

Imagen 33. Armado de herramienta.



- Hacer ante pozo (este consiste en un agujero de aproximadamente 3 pies de profanidad el cual sirve de guía para el inicio de la perforación).
- Se inicia la perforación.
- Finalizada la perforación se adelgaza el lodo de perforación para correr registro eléctrico se el cliente lo solicita.
- Con base del análisis de las muestras de los cortes que van saliendo durante la perforación (cuando los hay en caso de las rotativas y correlacionando los datos del registro eléctrico se diseña el entubado del pozo).

Imagen 34. Toma de muestras.



- Se procede a entubar.
- Se coloca la grava para realizar el empaque de grava hasta 20 pies arriba del nivel estático (Nivel de agua dentro del pozo cuando no está en bombeo).
- Se limpia y se desarrolla el pozo (pistoneo, cubeteo o desarrollo con compresor de aire) las horas que sean necesarias para sacar todo el sedimento. El tiempo varía entre 30 y 60 horas.

Imagen 35. Limpieza con espuma.



- Se instala el equipo de bombeo para realizar la prueba de aforo según las horas continuas que solicite el cliente.

Imagen 36. Aforo.



Imagen 37. Aforo.



- Al final del aforo se revisa el nivel del empaque de grava y si esta a la profanidad correcta se procede al sello sanitario.
- Desmovilización del equipo y limpieza de fosa de lodos y relleno con tierra (Método Rotativo).
- Después se interpretan los datos del aforo para dar recomendaciones para explotar el caudal óptimo.

8. TIPOS DE BOMBAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA

Existen varios tipos de bombas para la extracción de agua. Algunos de estos tipos son las bombas centrífugas y las bombas de chorro.

Bombas centrífugas: las bombas centrífugas son los tipos más comunes en uso general. Los principios básicos de su funcionamiento se pueden ilustrar considerando el efecto de un balde oscilante de agua, alrededor de un círculo, al extremo de una cuerda. La fuerza que hace que el agua presiona hacia fuera contra el fondo del cubo, en vez de correr hacia el otro extremo abierto, se conoce como fuerza centrífuga. Si se corta un agujero en el fondo del cubo, el agua se descargará a través de la abertura con una velocidad determinada por la fuerza centrífuga. Además, si se conecta una tubería de admisión a una cuberita hermética, en el cubo, debe crearse un vacío parcial dentro de aquél al descargarse el agua. Este vacío puede arrastrar una gran cantidad adicional de agua, dentro del cubo, desde un depósito colocado en el otro extremo de la tubería de admisión, dentro del límite de la altura de succión creada por el vacío. Así podría mantenerse un flujo continuo, de una manera similar a la de una bomba centrífuga. El cubo y la cubierta corresponden a al envolvente de la bomba, respectivamente, mientras que la cuerda y el brazo cumplen las funciones del impulsor de la bomba.

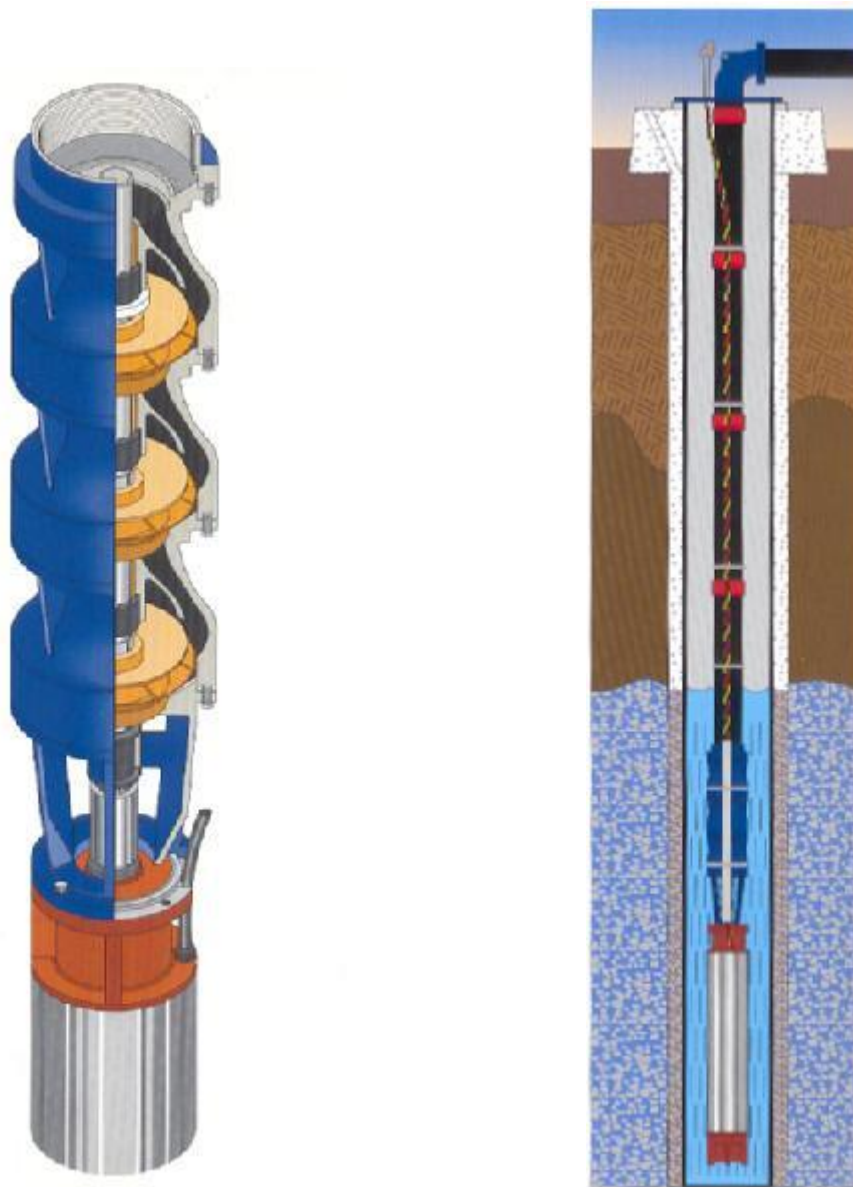
Las bombas centrífugas empleadas en pozos pequeños pueden subdividirse en dos tipos principales basados en sus características de diseño. Éstas son, bombas con cuerpo de caracol y turbina y bombas de difusor. Los impulsores de las primeras están alojados en envolventes en forma de espiral, en las cuales se reduce la velocidad del agua al salir del impulsor, con un

aumento resultante en la presión. En las bombas de turbina, los impulsores están rodeados por álabes difusores. Estos álabes proporcionan pasajes cada vez mayores a través de los cuales se reduce gradualmente la velocidad del agua que sale del impulsor, transformando, así, la carga de velocidad en carga de presión. Las condiciones del uso determinan la selección entre las bombas de caracol y turbina. El diseño de caracol se usa muy comúnmente en las bombas de tipo de superficie cuando su tamaño no es un factor limitante y las cargas de diseño fluctúan entre bajas y medianas. Sin embargo, las bombas centrífugas de un pozo profundo son de diseño tipo turbina, el cual está mejor adaptado para usarse donde debe limitarse el diámetro de la bomba. En este caso, pero el de la envolvente del pozo.

El comportamiento de una bomba centrífuga depende grandemente del diseño de su impulsor. Por ejemplo, la descarga de la bomba con una carga dada puede aumentarse agrandando el diámetro de la abertura de entrada y la anchura del impulsor. También se acostumbra usar un gran número de álabes de guía (hasta 12) en las bombas de turbina, cuando se desea una carga de presión más alta. El grado al cual puede aumentarse la carga de presión por un aumento en el número de álabes de guía es, sin embargo, limitado. Se logran incrementos más grandes por el uso de pesos múltiples, cada uno de los cuales contiene un impulsor. El diseño de pasos múltiples se emplea en las bombas de tipo de superficie y de pozo profundo, pero es particularmente común en las de pozos profundos diseñada para emplearse cuando la altura es grande. Generalmente, la descarga de una bomba de paso múltiple es casi la misma que le da un solo paso de dicha bomba. La carga de presión desarrollada y el caballaje requerido para su operación sin embargo, aumentan

en razón directa al número de pasos o impulsores. Por ejemplo, la carga de presión de una bomba de 4 pasos, uno de los cuales desarrolla una carga de 40 pies (12.2m) de agua, sería 4×40 , ó 160 pies (48.8m) de agua.

Figura 14. Bomba de turbina sumergible.



Las imágenes anteriores muestran una bomba de turbina sumergible, también conocidas como bombas para pozos profundos. Dependiendo de la

necesidad de bombeo y de la profanidad del pozo, se pueden ajustar varios impulsores uno sobre otro para lograr mayor potencia de bombeo.

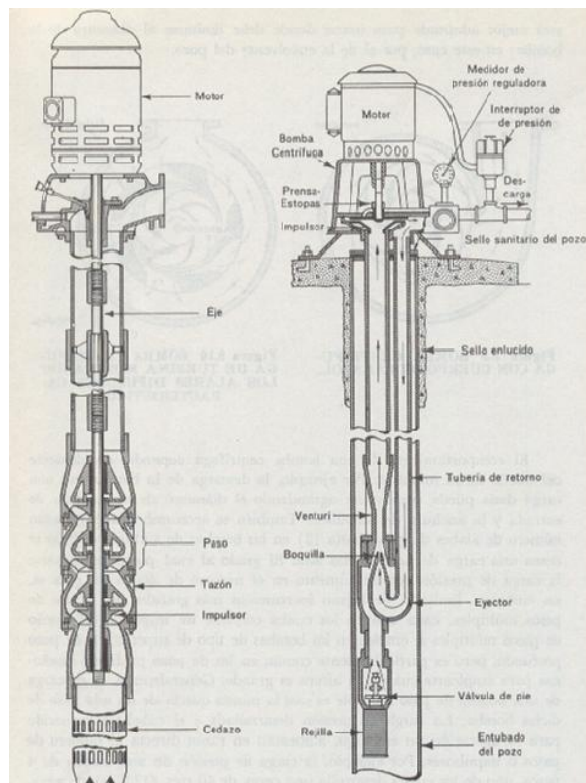
Bombas de chorro: las bombas de chorro combinan las centrífugas y los eyectores para elevar el agua desde profundidades mayores, en los pozos, de lo que es posible empleando las bombas centrífugas del tipo superficie por sí solas. Los componentes básicos de los eyectores son la boquilla y el tubo venturi. Los principios de operación son como se describen a continuación: el agua bajo presión se descarga mediante la bomba centrífuga (montada al nivel del suelo) a través de la boquilla del eyector. El aumento súbito en la velocidad del agua al pasar a través de la boquilla causa una reducción en la presión a la abandonar la boquilla y entra al tubo entura. Por lo tanto, esta reducción en la presión puede hacerse suficientemente grande para crea un vació parcial y, de esta manera, succionar el agua desde el pozo a través de la tubería de admisión del eyector y en el tubo ventura. El ensanchamiento gradual del tubo ventura reduce la velocidad con un mínimo de turbulencia en el flujo y , así, causa una recuperación de casi toda la presión del agua en su curso a través de la boquilla. La bomba centrífuga, entonces, recoge el flujo, enviando parte de él hacia la tubería de descarga y regresando el resto al eyector para provocar más flujo desde el pozo y, de esta manera, repetir el ciclo. El medidor de regulación de presión se ajusta para mantener la presión necesaria para producir flujo a la carga deseada de bombeo.

La bomba centrífuga es el impulsor primario sin el cual el eyector no podría bombear agua. No pueden lograrse aumentos considerables en la carga de presión de la descarga ajustando el medidor regulador. Tales aumentos se obtienen con un mayor número de pesos en la bomba. Las

condiciones de operación siempre deben ser tales que la boquilla del eyector esté cubierta, por lo menos, por 5 pies (1.5m) de agua. Las bombas pequeñas de inyección, usualmente, están limitadas a descargas de, 20 galones (75.70lts) por minuto contra cargas totales de presión que no exceden de 150 pies (45.74m), de los cuales la altura requerida bajo el suelo es de 100 pies (30m) o menos.

Generalmente, las bombas de chorro son ineficientes, pero tiene cierto número de características deseables que han generalizado su empleo en las instalaciones pequeñas de abastecimiento doméstico de agua. Entre estas características se encuentra su adaptabilidad para usarse en pozos pequeños menores de 2 pulgadas (5cm) de diámetro, la accesibilidad de las partes móviles que están todas sobre la superficie del suelo, su simplicidad, el precio de compra relativamente bajo y el económico mantenimiento.

Figura 15. Bomba de turbina y bomba de chorro.



9. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

9.1 Comentarios

- Muchos de los desechos que se producen hoy en día, son potenciales contaminantes de los mantos acuíferos.
- Rellenos sanitarios, como el basurero de la zona 3, es un gran contaminante del acuífero de la Ciudad de Guatemala.
- Debería de existir un control más detallado sobre los pozos mecánicos para abastecimiento de agua existentes.
- No es posible que no existe una ley en donde se regule las perforaciones de pozos a una distancia bastante corta, ya que el impacto sobre el manto acuífero es mayor y su tiempo de recarga aumenta.

9.2 Conclusiones

- El estudio hidrogeológico es necesario y vital para la perforación de un pozo, a menos que ya se haya perforado un pozo en el mismo sector y se conozcan bien las características del lugar.
- Un pozo artesiano o limitado produce una mejor calidad de agua ya que no es expuesto tanto a factores contaminantes como lo está el pozo ilimitado.
- La rejilla metálica puede llegar a tener un área libre mayor que la de PVC, pero esta expuesta a la corrosión.
- La bentonita es vital para la perforación de un pozo por medio del método rotativo, ya que no permite que la broca se caliente y crea un revestimiento en los alrededores de la perforación eliminando así la posibilidad de que el pozo colapse.

- El ángulo de verticalidad máximo permitido en Guatemala es un pie de desviación por cada 100 pies de profanidad = 0.57 grados.
- Un pozo debe cumplir con todas las pruebas a las que es sometido, ya que esto garantiza el desempeño que se desea.
- Cuando se diseña un pozo se busca eficiencia, economía y calidad.

10. BIBLIOGRAFÍA

- *Design and Construction of Small Water Systems-A Guide for Managers.* AWWA, Denver, Colo. (1984).
- Gibson, Ulric P. y Singer, Rexford D. 1974. *Manual de Los Pozos Pequeños.* México, Editorial Limusa, S.A.
- Hwang, Ned H.C. y Houghtalen, Robert J. *Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems.* 1996. New Jersey. Prentice-Hall, Inc.
- *Introduction to Water Sources and Transmissions.* AWWA, Denver, Colo. (1979)
- Mogg, Joel L. 1967. *Hidráulica de Pozos.* Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria.

web.fonade.gov.co/cliente/documentos2007/ENERO/IPG_1874_DEF_Especificaciones_Tecnicas_IPG_1874.pdf

- www.aguamarket.com/sql/temas_interes/143.asp
- www.roscoemoss.com
- www.sam.usace.army.mil/en/wra/Guatemala/Guatemala%20WRA%20Spanish.pdf

ANEXO 1

INFORME DEL RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA LA SELECCIÓN DE UN SITIO PARA LA PERFORACIÓN DE UN POZO MECANICO EN EL SECTOR I DE LA ALDEA LAS NUBES, SAN MARTÍN SACATEPÉQUEZ, QUETZALTENANGO

(Fuente: PERFORAGUA, S.A.)

1. INTRODUCCIÓN

A solicitud de la XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX del Sector X de la aldea Las Nubes del municipio de San Martín Sacatepéquez; se realizó el presente Reconocimiento Hidrogeológico, el cual tiene como principal objetivo la investigación de las condiciones geológicas e hidrogeológicas del área para la selección de un sitio adecuado para la perforación de un pozo mecánico para dicha localidad, el cual se utilizará como fuente para el sistema de riego de dicha asociación.

Para realizar el estudio antes mencionado, fue necesario efectuar una serie de actividades de campo y gabinete tendientes a definir la factibilidad de construir el pozo mecánico. Así mismo, fue necesario considerar las áreas que reúnan las mejores condiciones hidrogeológicas para la perforación de dicho pozo.

Así mismo, cabe indicar que a través del estudio que se describe a continuación, nos permite minimizar el riesgo en la búsqueda de un caudal que satisfaga los requerimientos de la comunidad, sin embargo no garantiza el éxito total del proyecto.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Descripción de la zona de estudio. El sector I de la aldea Las Nubes, se localiza aproximadamente a 5 km. Al suroeste de San Martín Sacatepéquez y se llega por la carretera Nacional No.3, que va ésta a San Juan Ostuncalco.

La aldea Las Nubes se encuentra situada en las coordenadas UTM's siguientes: X: 643,500 m. Y: 1636,700 m; a una elevación promedio de 2300 m.s.n.m.

Con base en la información climatológica de INSIVUMEH, se efectuó la relación de altura vrs. Precipitación (ver gráfica 1) del perfil costero comprendido desde Retaluelo y Quetzaltenango, utilizando para el efecto las estaciones meteorológicas Retaluelo, El Asintal, Catarina, San Marcos y Olinstepeque (información proporcionada por INSIVUMEH). En base a dicha relación se estima que la precipitación media en la finca San José Altamira es alrededor de los 1200 mm/año

En el Mapa No.1, se muestra la localización de la finca San José Altamira y sus alrededores.

2.2 Demanda de agua. Con base en la información proporcionada por la "Asociación de Desarrollo y Productividad de las Nubes"; los requerimientos de riego del proyecto es alrededor de los 11 lts/seg. (175 gpm).

3. Geología de la zona de estudio

El análisis foto geológico fue realizado utilizando seis fotografías aéreas a escala aproximada 1:40,000 tomadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) en 1991.

Con base en la fotointerpretación y reconocimiento de campo se determinaron en la zona de estudio, dos unidades litológicas fueron identificadas (ver figura 2). A continuación se exponen estas unidades.

- **Detritus Lahárico y Fluvial de Origen Volcánico**, la cual está constituida materiales volcánicos variados en forma de abanicos, de depósito lodoso o fluvial, lo cual es muy común en zonas que forman las faldas de la cadena volcánica del pacífico de Guatemala. A esta unidad subyacen rocas volcánicas de edad terciaria, conformadas por coladas de lavas.

- **Rocas piroclásticas recientes**, la cual está constituida por pómez subárea y pómez de origen diverso lavas volcánicas las cuales incluyen andesitas, basaltos, riolitas, tobas y conglomerados laháricos.

3.4 Estructura geológica

Del análisis fotogeológico de la zona se puede observar claramente los alineamientos fotogeológicos en dirección NE-SW en las inmediaciones de las nubes. Así mismo, se establece que los sitios propuestos se encuentran ubicados en las faldas del volcán Chicabal, el cual al parecer es un volcán que se encuentra dentro de una caldera volcánica antigua colapsada, cuyos muros representan hidrogeológicamente barreras negativas, para la circulación de las aguas subterráneas.

Figura No. 1: Mapa de localización de la aldea Las Nubes y sus alrededores

Fuente: Mapa Cartográfico "Colomba" 1:50.000 IGN, Dic.1985.

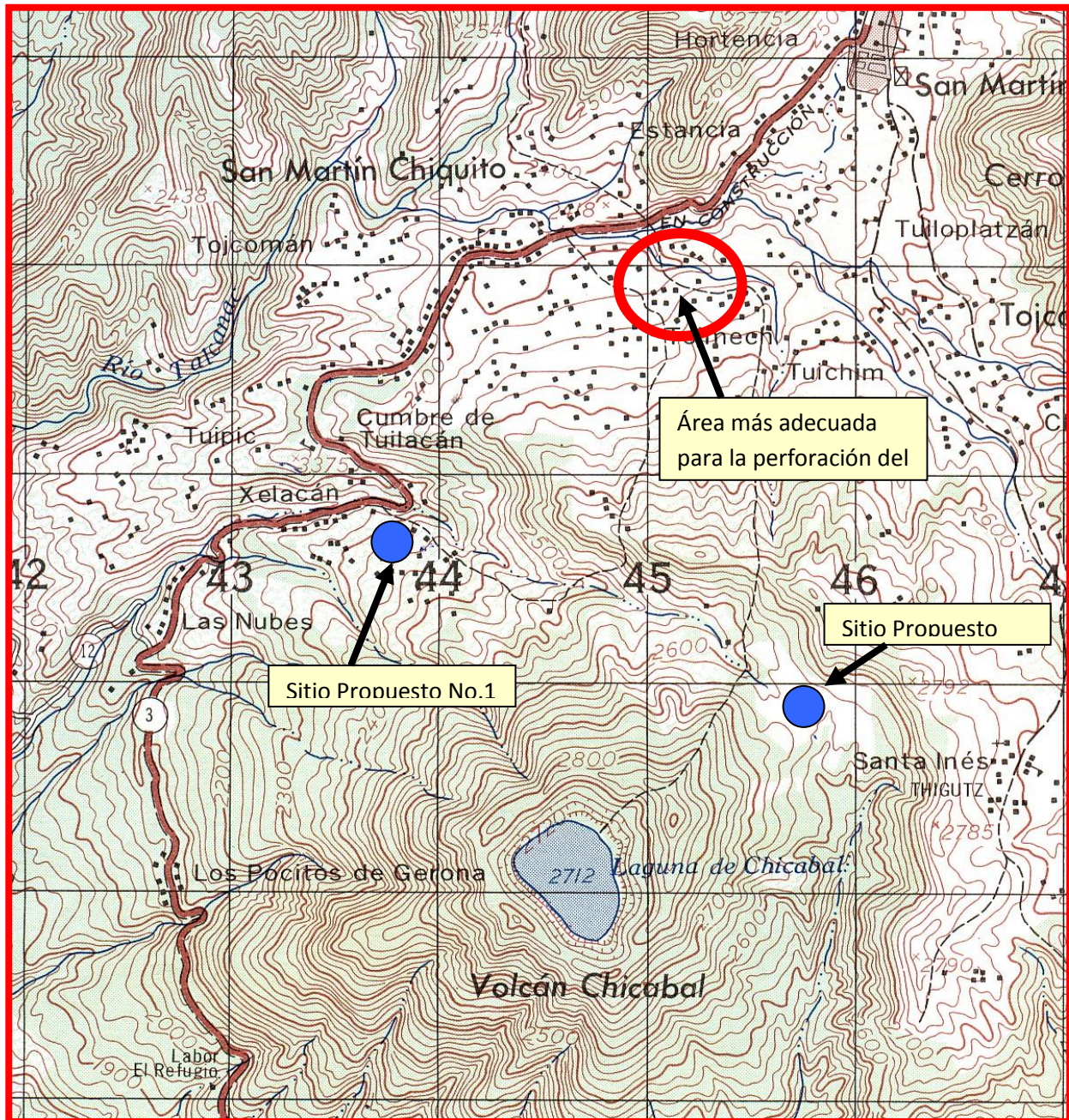
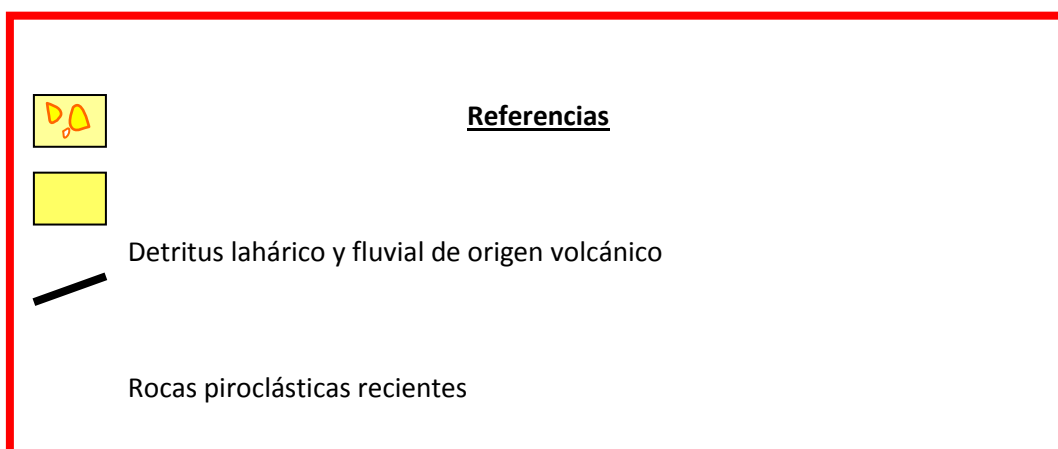
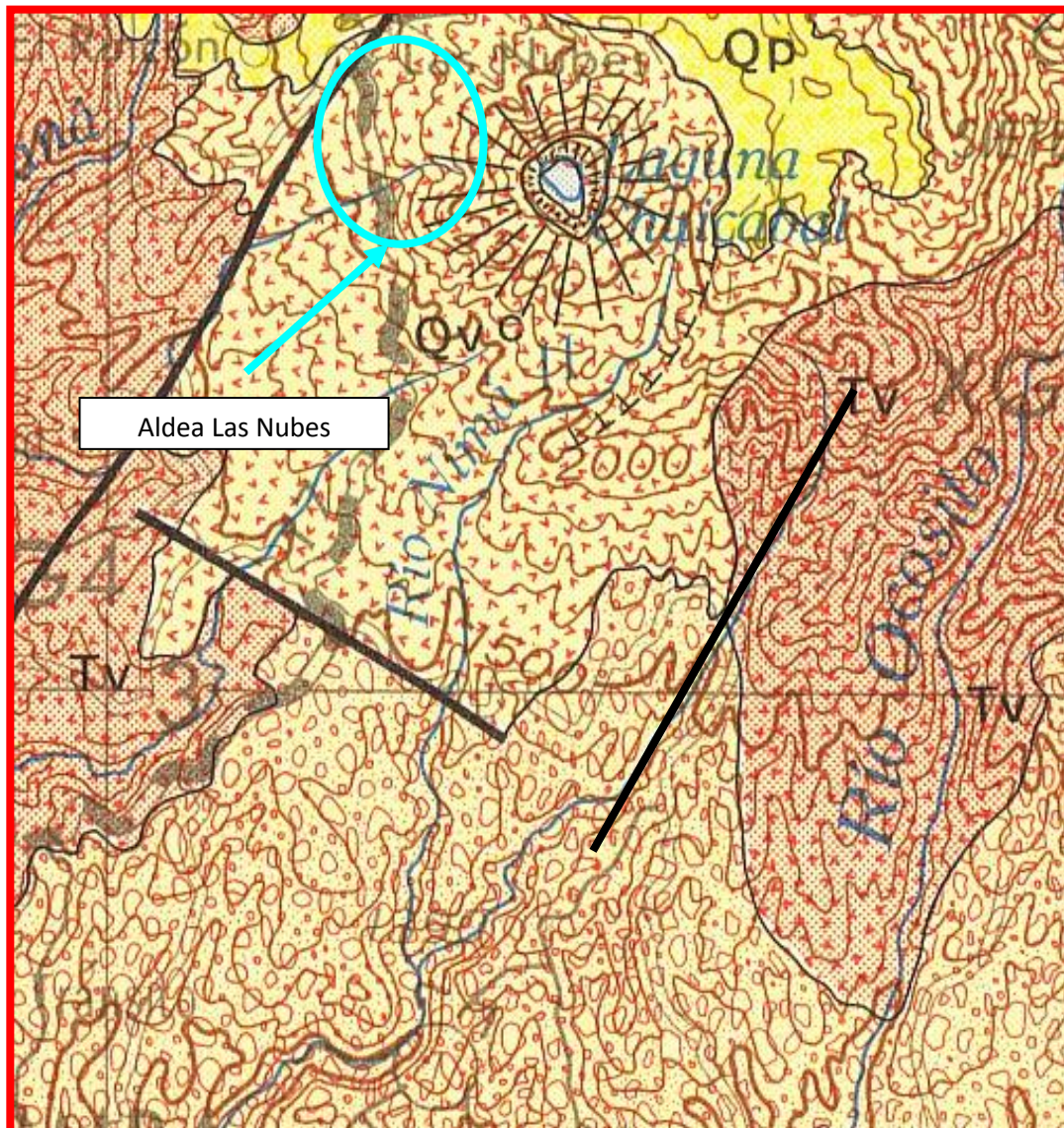


Figura No. 1: Mapa de localización de la aldea Las Nubes y sus alrededores

Figura No. 2: Mapa geológico de la zona de estudio y sus alrededores



4. Condiciones hidrogeológicas de la zona de estudio

Las rocas que están constituyendo el acuífero potencial en la zona de estudio las constituyen las rocas piroclásticas recientes a las cuales se considera subyacen rocas volcánicas constituidas por basaltos, andesitas, riolitas, tobas y lahares, las cuales poseen buena porosidad secundaria donde se almacena el agua y que permiten su libre circulación al poseer permeabilidad también secundaria (fracturas). De tal hecho, se recomienda que la perforación se realice a inmediaciones de la localidad denominada San Martín Chiquito. Sin embargo, por problemas jurisdiccionales y derechos de paso para la línea de conducción, la comunidad propuso dos sitios para la perforación del pozo, los cuales en su orden de importancia se identifican en la figura 1, como “sitios propuestos 1 y 2”, los cuales se asientan en rocas identificadas como detritus lahárico y fluvial cuyo origen proviene de la formación del volcán Chicabal y la caldera antigua que se localiza en las inmediaciones de éste, la cual constituye el límite de la microcuenca que sirve de zona de recarga de los puntos propuestos por la comunidad, constituyendo consecuentemente un acuífero de bajo potencial por tener muy poca zona de recarga.

En virtud de lo anterior y dado que presentan condiciones de porosidad, permeabilidad y transmisividad de las rocas volcánicas antes mencionadas, son bastante variables y lo cual está en función del grado de fracturación y porosidad, se asumirá una transmisividad media de la zona alrededor de **10 m³/día/m**.

5. Localización del sitio para la construcción del pozo mecánico propuesto

De los sitios propuestos por la comunidad, se recomienda el sitio No.1, es decir a inmediaciones de la comunidad Las Nubes, debido a que ésta presenta mejores condiciones hidrogeológicas para la explotación de las aguas subterráneas, sin

embargo, es importante mencionar, que dadas las características hidrogeológicas mencionadas anteriormente, no se garantiza el caudal requerido.

El sitio 2, se localiza en el límite de cuenca en donde las condiciones hidrogeológicas no son muy favorables para la explotación del agua subterránea, tomando en consideración la zona de recarga para la alimentación del acuífero es muy limitada. Los flujos de la laguna Chicabal, se estima que se presentan preferentemente al sur de la misma y no al norte en donde se encuentra el sitio antes mencionado (ver figura 1).

6. Aspectos constructivos de pozo mecánico propuesto.

Tomando en consideración las condiciones geológicas e hidrogeológicas anteriormente expuestas, se recomienda las siguientes características constructivas del pozo mecánicos a perforar:

- Método de perforación: Rotación
- Lodos de Perforación: BENTONITA SODICA (no lodos orgánicos)
- Diámetro de perforación: No menor de 14 1/2" (pulgadas)
- Profundidad: No menor de 1000 pies (304 metros)
- Diámetro de Ademe y Filtros: No menor de 8 pulgadas
- Rejilla: de fábrica (Importada: con un área de paso no menor del 15%)

Así mismo, se hacen las siguientes recomendaciones para la construcción, evaluación, operación y mantenimiento del pozo:

- Sello sanitario no menor de 75 pies.
- Prueba de bombeo no menor de 24 horas

- De ser posible una prueba de bombeo escalonada (5 escalones de 2 horas cada escalón)
- Medición de niveles con sonda eléctrica y no con línea de aire.
- Instalar al momento de la introducción de la bomba, un tubo de PVC de 1", adosada a la tubería de impulsión, con el objeto de llevar un control de niveles de aguas subterráneas.
- Efectuar el análisis físico-químico y bacteriológico del agua explotada del pozo, preferentemente, tomando la muestra una hora antes de finalizar la prueba de bombeo de larga duración, para determinar la necesidad de la aplicación de cloro para la purificación del agua o en su caso si es apta para riego.

Cabe mencionar que la profundidad recomendada no significa que sea disminuida o incrementada. Esta profundidad deberá ser definida con mayor claridad de acuerdo a las formaciones geológicas encontradas y a las anomalías geológicas e hidrogeológicas in situ. Estas decisiones deberán efectuarse durante la perforación.

Así mismo, al terminar la perforación a la profundidad deseada, o la que defina el supervisor, se recomienda se efectúe el REGISTRO ELÉCTRICO DEL POZO para determinar las resistividades de los diferentes estratos penetrados, lo cual es un auxiliar para determinar las bondades hidrogeológicas para la explotación de las aguas subterráneas y un mejor diseño de la zona de admisión del pozo (colocación de rejillas).

ANEXO 2

**RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA LA SELECCIÓN
DE UN SITIO PARA LA PERFORACIÓN DE UN POZO
MECÁNICO EN EL ALDEA PARRAXCHAJ, SAN BARTOLO A.G.,
TOTONICAPÁN**

(Fuente: PERFORAGUA, S.A.)

1. INTRODUCCIÓN

A solicitud de la empresa XXXXXXX; se hizo el presente reconocimiento hidrogeológico, el cual tiene como principal objetivo la investigación de las condiciones geológicas e hidrogeológicas del área para la selección de un sitio adecuado para la perforación de un pozo mecánico en jurisdicción de la aldea Parraxchaj, municipio de San Bartólo A.G., Entura Pán, el cual se utilizará como fuente de abastecimiento de un sistema de riego a dicha comunidad.

Para realizar el estudio antes mencionado, fue necesario efectuar una serie de actividades de campo y gabinete tendientes a definir la factibilidad de construir el pozo mecánico. Así mismo, fue necesario considerar las áreas que reúnan las mejores condiciones hidrogeológicas para la perforación de dicho pozo.

Además, cabe indicar que a través del estudio que se describe a continuación, se minimiza el riesgo en la búsqueda de un caudal que satisfaga los requerimientos de la comunidad, sin embargo no garantiza el éxito total del proyecto.

En virtud de lo antes expuesto, se describe a continuación el estudio detallado, conteniendo todas las actividades necesarias para el desarrollo del mismo.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Descripción de la zona de estudio. La comunidad de Parraxchaj se localiza aproximadamente a 224 km de la Ciudad de Guatemala. El acceso a dicha comunidad se encuentra en la aldea Tierra Blanca, a 221.5 Km. De la carretera CA-1, que conduce de Guatemala a Huehuetenango. De Tierra Blanca se desvía hacia el este en carretera de terracería, aproximadamente 4 km.

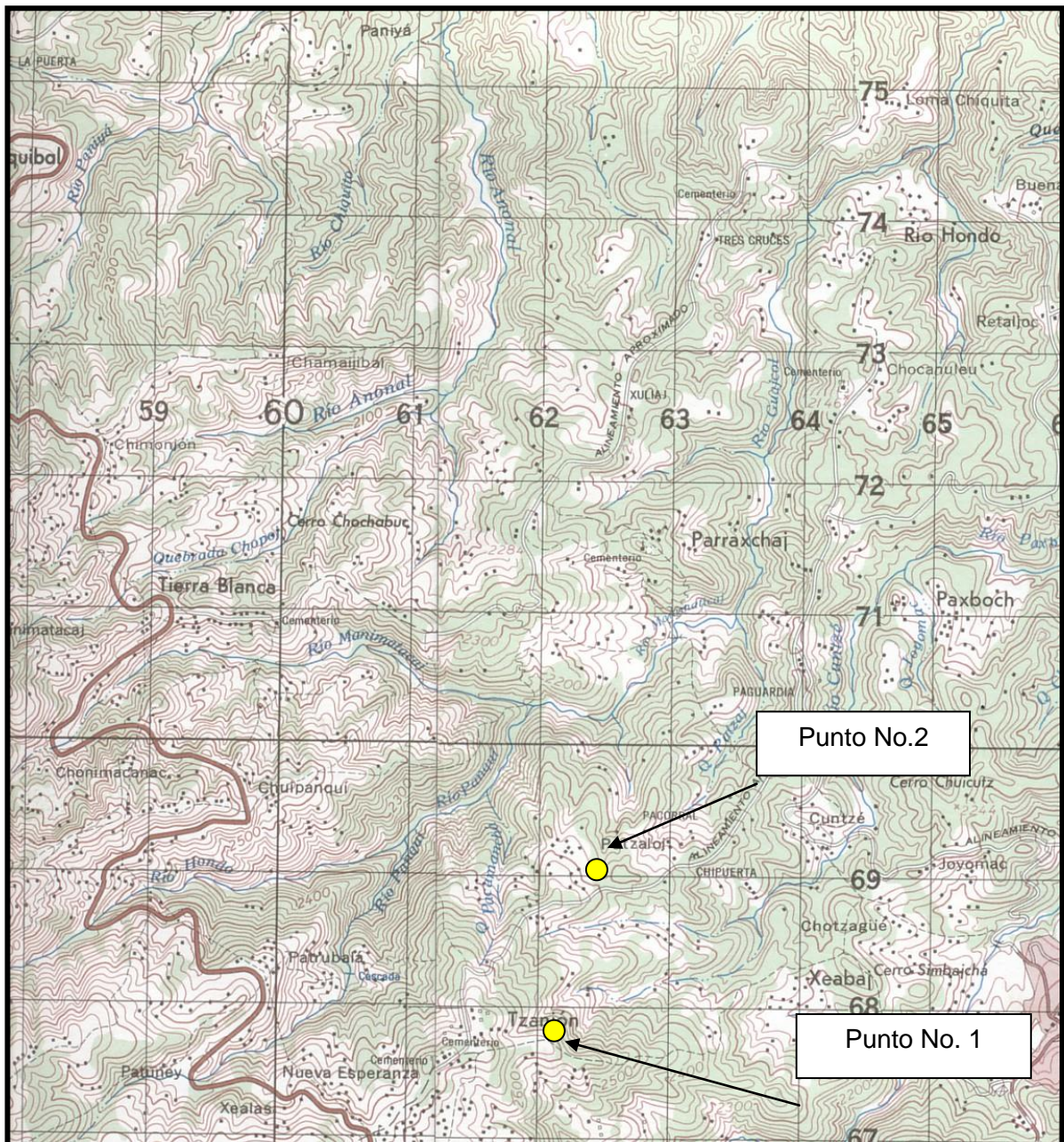
El área de estudio se localiza en las coordenadas UTM siguientes:

X: 662,000 - 666,000 metros

Y: 1,670,000 - 1,674,000 metros

La elevación media de la población de Parraxchaj es de 2,320 metros sobre el nivel del mar. En el Mapa No.1, se muestra la localización de la comunidad de Parraxchaj y sus alrededores. Así mismo, se indican los sitios propuestos para la perforación del pozo, priorizando su ubicación en el punto No.2, por considerar que reúne mejores condiciones hidrogeológicas para su construcción.

Mapa No. 1: Localización de la comunidad de Parraxchaj y sus alrededores y la ubicación de los sitios de perforación propuestos para la perforación del pozo mecánico.



Fuente: Mapa Cartográfico 1:50.000 IGN, Junio 1980.

2.2 Demanda de agua. De acuerdo a información proporcionada por personeros de la Asociación Coordinadora General de Servicios Esenciales de la Aldea Parraxchaj, los requerimientos de agua para el sistema de riego propuesto para la comunidad es de 14.95 lts/seg., es decir 237 galones por minuto.

3. Geología de la zona de estudio

Con la finalidad de definir la geología del área de estudio, se efectuó un reconocimiento de campo por medio del cual se constató que la geología de la zona está conformada principalmente por unidades volcánicas, las cuales se identifican las siguientes unidades geológicas:



Depósitos piroclásticos (Qp) :

Esta unidad está constituida por fragmentos de rocas piroclásticas en una matriz de arena volcánica y cenizas del mismo tipo. Este material es producto de las erupciones recientes. Esta unidad se encuentra sus depósitos rellenando una antigua topografía y se caracteriza por formar una topografía de escaso relieve



Lavas volcánicas (TQv):

Esta unidad está constituida por lavas de tipo andesítico-basáltico, la cual subyace a las unidades de depósitos piroclásticos.

Estas lavas tienen una gran importancia hidrogeológica debido a que estas se encuentran fuertemente fracturadas, permitiendo una buena circulación y almacenamiento de agua subterránea, constituyendo uno de los acuíferos principales de la zona.

Hidrogeológicamente, dichas lavas fracturadas son receptoras de las unidades piroclásticas, que en la zona de estudio, su potencia es bastante limitada, es decir las lavas se encuentran a pocos metros de la superficie del terreno.

4. Condiciones hidrogeológicas de la zona de estudio

Desafortunadamente, en la zona de estudio, no existen pozos perforados, por medio de los cuales se pudiera efectuar una evaluación de la profundidad o espesor de las unidades estratigráficas. Así mismo, por no contar con dicha información, no se puede establecer con certeza, las características hidrogeológicas de las formaciones de la zona, tales como transmisividad, coeficiente de almacenamiento, permeabilidad y niveles de las aguas subterráneas de la zona de estudio.

No obstante, con base a experiencias en unidades similares en otras regiones de Guatemala, se estima que la transmisividad de las lavas se encuentran en un rango de **10 – 15 m³/día/m.**

Con base a la evaluación de los manantiales de la zona, se estima que ***los niveles de aguas subterráneas se encuentran muy someros, es decir a menos de 50 metros de profundidad.***

Ahora bien, de acuerdo a las consideraciones hidrogeológicas establecidas anteriormente y en función de la demanda de agua del sistema de riego de Parraxchaj, se considera que la profundidad requerida para la perforación del pozo de dicha finca, en función del caudal que se desea explotar, se concluyen que se requiere de un pozo con las características siguientes:

- Diámetro de perforación: 12-1/2"
- Profundidad del pozo: 800 pies (243.9 mts)
- Encamisado y filtros con un diámetro de: 8" (mínimo)

6. Localización del sitio para la construcción del pozo mecánico propuesto

Según a las unidades geológicas e hidrogeológicas de la zona, y por experiencias en otros lugares con unidades similares, se considera que las zonas más propicias para la perforación del pozo, se localiza en la zona en donde afloran las lavas volcánicas, a inmediaciones del nacimiento que se encuentra al noreste de la población, el cual se puede observar a inmediaciones del punto No. 2. Así mismo, en

el mapa No. 1, se indica el sitio para la perforación No. 2, el cual en orden de prioridad, es más recordable para la construcción del pozo, por reunir mejores condiciones hidrogeológicas de la zona.

El sitio propuesto No. 1: se localiza a inmediaciones de la sede de la Asociación antes mencionada y se ubica en las coordenadas UTM siguientes:

X: 662,000 metros

Y: 1,671,100 metros

Altura: 2,365 m.s.n.m.

Cabe mencionar, que el punto anterior se encuentra bastante alto, y se localiza en la parte de aguas de una subcuenca del sistema montañoso de la zona, por consiguiente, es un punto poco recomendado.

El sitio propuesto No. 2: se localiza aproximadamente en la parte baja del lugar en donde se localiza el cementerio de la localidad y a inmediaciones del nacimiento perenne de la comunidad (ver mapa No.1) y tiene las coordenadas UTM siguientes:

X: 662,300 metros

Y: 1,671,700 metros

Altura: 2,241 m.s.n.m.

Es importante mencionar que la diferencia de nivel topográfico que existe entre el punto 1 y 2, es de aproximadamente 125 metros, es decir el punto 2, está mas bajo que el punto 1, por consiguiente el punto 2, es el recomendable desde el punto de vista hidrogeológico, geológico y adicionalmente, se requiere de una menor cantidad

de pies de perforación para alcanzar el nivel freático, disminuyendo los costos de inversión de la perforación.

Así mismo, se considera que para la perforación del pozo en el punto No. 2, se requiere de la construcción de una plataforma de 10 x 15 metros como mínimo, para facilitar la perforación del pozo, debido a que el acceso más favorable para ello, se encuentra a inmediaciones del camino que va del cementerio a la aldea Tres Cruces o aldea Parraxchaj, tal como le fue indicado a la comunidad en el reconocimiento de campo, el cual se realizara en conjunto con los miembros del comité respectivo.

6. Aspectos constructivos del pozo mecánico propuesto.

Tomando en consideración las condiciones geológicas e hidrogeológicas anteriormente expuestas, se recomienda las siguientes características constructivas del pozo mecánico a perforar:

- Método de perforación: Rotación
- Lodos de Perforación: BENTONITA (no lodos orgánicos)
- Diámetro de perforación: No menor de 12 ½" (pulgadas)
- Profundidad: No menor de 800 pies (243.90 metros)
- Diámetro de Ademe y Filtros: No menor de 8 pulgadas
- Rejilla: Importada (con un área de paso no menor del 15%)

Así mismo, se hacen las siguientes recomendaciones para la construcción, evaluación, operación y mantenimiento del pozo:

- Sello sanitario no menor de 75 pies.
- Prueba de bombeo no menor de 24 horas

- De ser posible una prueba de bombeo escalonada (5 escalones de 2 horas cada escalón)
- Medición de niveles con sonda eléctrica y **no con línea de aire**.
- Instalar al momento de la introducción de la bomba, un tubo de PVC de 1", adosada a la tubería de impulsión, con el objeto de llevar un control de niveles de aguas subterráneas.
- Efectuar el análisis físico-químico y bacteriológico del agua explotada del pozo, preferentemente, tomando la muestra una hora antes de finalizar la prueba de bombeo de larga duración, para determinar la necesidad de la aplicación de cloro para la purificación del agua.

Es importante mencionar que la profundidad recomendada no significa que sea disminuida o incrementada. Esta profundidad deberá ser definida con mayor claridad de acuerdo a las formaciones geológicas encontradas y a las anomalías geológicas e hidrogeológicas in situ. Estas decisiones deberán efectuarse durante la perforación.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base a las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona de estudio, durante el reconocimiento de campo, en el mapa No. 1, se localizan dos sitios para la perforación del pozo, sin embargo se seleccionó el punto No.2, para la perforación del pozo, tomando en consideración que éste reúne mejores condiciones geológicas e hidrogeológicas para la explotación de las aguas subterráneas. **El sitio propuesto No. 2:** se localiza aproximadamente en la parte baja del lugar en donde se localiza el cementerio de la localidad y a inmediaciones del nacimiento perenne de la comunidad (ver mapa No.1) y tiene las coordenadas UTM siguientes:

X: 662,300 metros

Y: 1,671,700 metros

Altura: 2,241 m.s.n.m.

Tomando en consideración las condiciones geológicas e hidrogeológicas anteriormente expuestas, se recomienda las siguientes características constructivas del pozo mecánico a perforar:

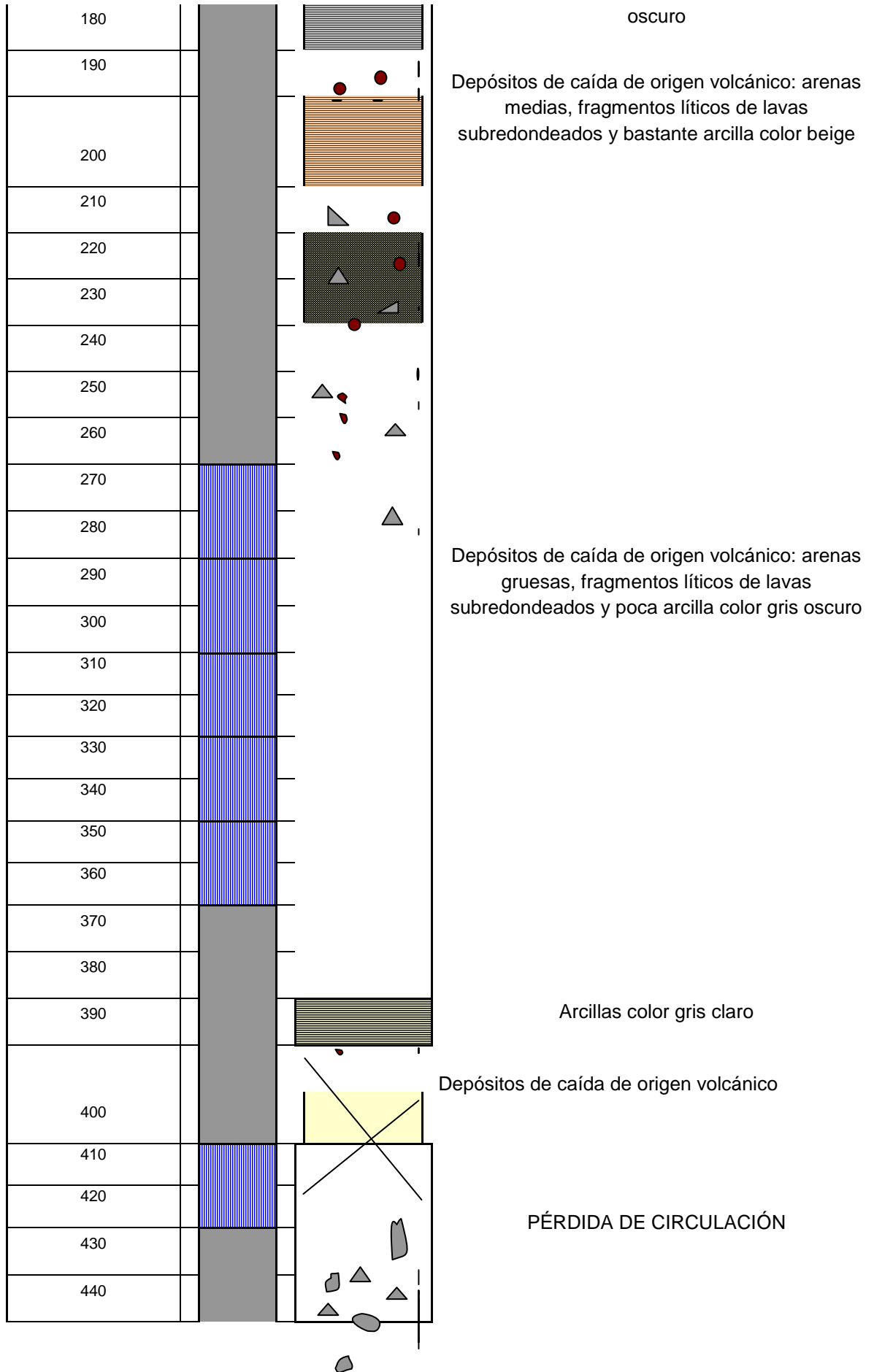
- Método de perforación: Rotación
- Lodos de perforación: BENTONITA
- Diámetro de perforación: No menor de 12 ½" (pulgadas)
- Profundidad: No menor de 800 pies (243.9 metros)
- Diámetro de Ademe y Filtros: No menor de 8 pulgadas ACERO NEGRO
- Rejilla: Importada (con un área de paso no menor del 15%)

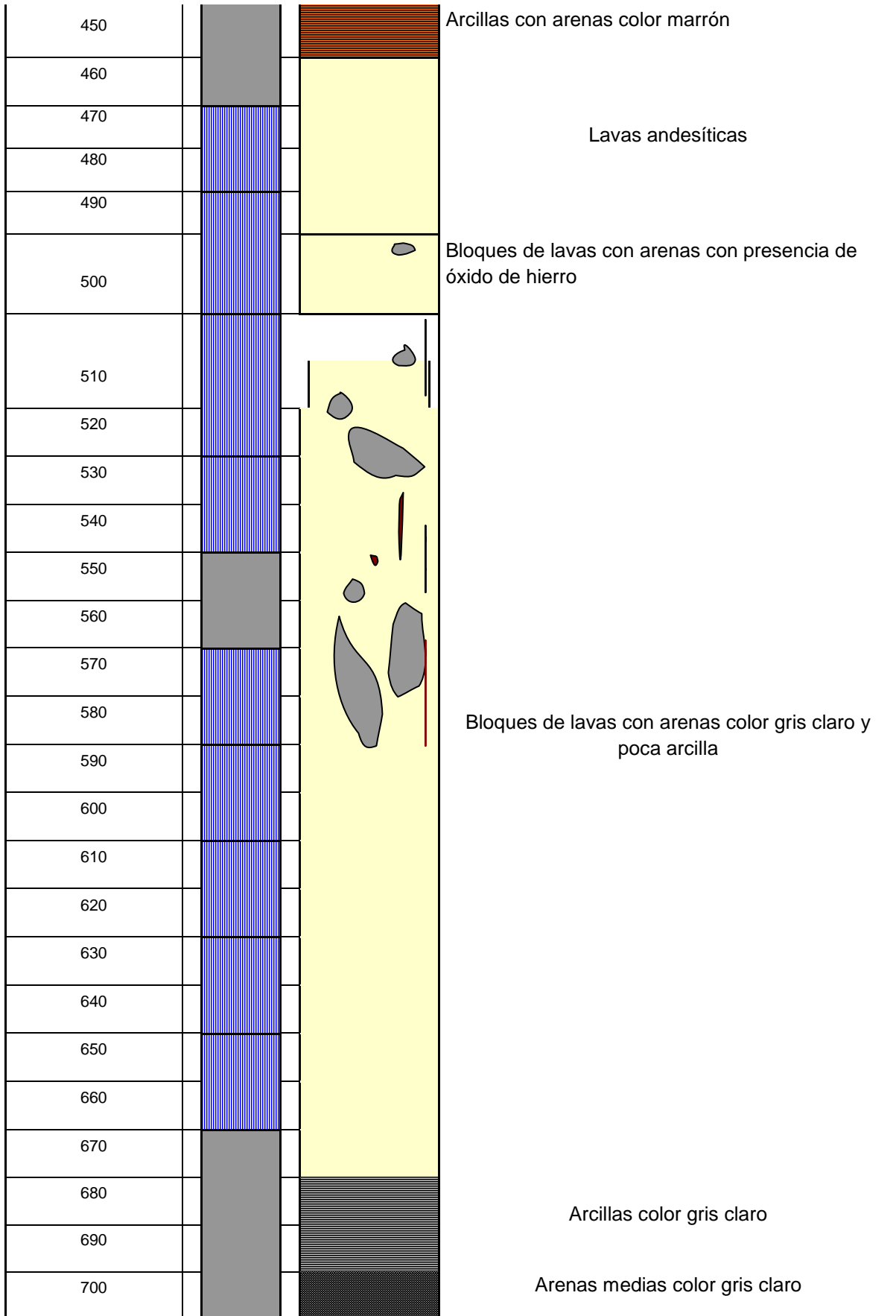
Así mismo, se hacen las siguientes recomendaciones para la construcción, evaluación, operación y mantenimiento del pozo:

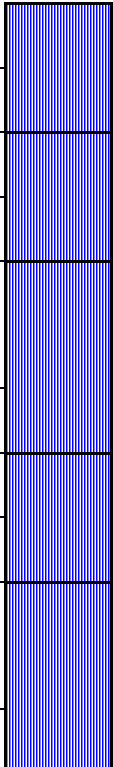
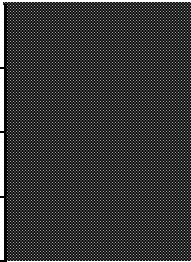
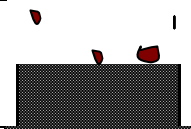





- Sello sanitario no menor de 75 pies.
- Prueba de bombeo no menor de 48 horas
- De ser posible una prueba de bombeo escalonada (5 escalones de 2 horas cada escalón)
- Medición de niveles con sonda eléctrica y no con línea de aire.
- Instalar al momento de la introducción de la bomba, un tubo de PVC de 1", adosada a la tubería de impulsión, con el objeto de llevar un control de niveles de aguas subterráneas.
- Efectuar el análisis físico-químico y bacteriológico del agua explotada del pozo, preferentemente, tomando la muestra una hora antes de finalizar la prueba de

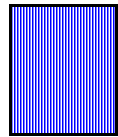
bombeo de larga duración, para determinar la necesidad de la aplicación de cloro para la purificación del agua.

Es importante mencionar que la profundidad recomendada no significa que sea disminuida o incrementada. Esta profundidad deberá ser definida con mayor claridad de acuerdo a las formaciones geológicas encontradas y a las anomalías geológicas e hidrogeológicas in situ. Estas decisiones deberán efectuarse durante la perforación.

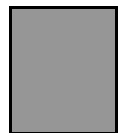




710		
720		
730		
740		
750		
760		
770		
780		
790		
800		



Tubería ranurada de fábrica de acero
al carbón 8"



Tubería lisa de acero al carbón de 8"

		Nombre: Hoja de prueba de bombeo	
MÁQUINA	SS-22-11	FECHA:	03 y 04/07/07
PROYECTO	Aldea Las Nubes, Colomba Costa Cuca	BOMBA:	40 H.P.
OPERADOR	MOTOR	40 H.P.
NIVEL ESTÁTICO:	170'	SEETING:	540 Pies
NIVEL DINÁMICO:	355'		

Tiempo (Minutos) T	Hora	PSI		Amps.	Caudal en galones por minuto	Observaciones
		Psi	Profundidad del agua Pies			
Minutos	Inicio/Final	Psi	Pies	Amps.	G/M	Descarga de 4" X 3
0	14:30	160	-170	51	210	
30	15:00	120	-263	51	108	
90	16:00	80	-355	51	108	
150	17:00	80	-355	51	108	
210	18:00	80	-355	51	108	
270	19:00	80	-355	51	108	
330	20:00	80	-355	51	108	
390	21:00	80	-355	51	108	
450	22:00	80	-355	51	108	
510	23:00	80	-355	51	108	
570	00:00	80	-355	51	108	
630	01:00	80	-355	51	108	
690	02:00	80	-355	51	108	
750	03:00	80	-355	51	111	
810	04:00	80	-355	52	111	
870	05:00	80	-355	52	111	
930	06:00	80	-355	52	111	
990	07:00	80	-355	52	111	
1,050	08:00	80	-355	52	111	
1,110	09:00	80	-355	52	111	
1,170	10:00	80	-355	52	111	
1,230	11:00	80	-355	52	111	
1,290	12:00	80	-355	52	111	
1,350	13:00	80	-355	52	111	
1,410	14:00	80	-355	52	111	
1,440	14:30	80	-355	52	111	
Recuperación:						
0	14:34	85				
1	14:35	92				
6	14:40	115				
10	14:44	130				
12	14:46	136				