



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

**MÉTODO DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE AIRE
COMPRIMIDO PARA POZOS DE EXTRACCIÓN
DE AGUA SUBTERRÁNEA**

Elmer Emilio Aragón Loyo
Asesorado por Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera

Guatemala, febrero de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MÉTODO DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE AIRE COMPRIMIDO
PARA POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ELMER EMILIO ARAGÓN LOYO

ASESORADO POR ING. RONALD ESTUARDO GALINDO CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alberto Lam Lan
EXAMINADOR	Ing. Rodolfo Miranda Pirir
EXAMINADOR	Ing. Francisco Ruiz Cruz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MÉTODO DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE AIRE COMPRIMIDO PARA POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 14 de marzo de 2003.

Elmer Emilio Aragón Loyo

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Ronald Galindo.

Por dedicarme su valioso tiempo y su asesoría profesional en el desarrollo del presente trabajo de graduación.

Al INFOM.

Por ser la institución por medio de la cual las autoridades me brindaron la oportunidad de continuar mis estudios y culminarlos.

Al Departamento de O y M de INFOM en especial a Cornelio Sosa.

Por el apoyo incondicional transmitiéndome conocimientos técnicos a lo largo del desarrollo del proyecto.

Al Departamento de Topografía INFOM en especial a mis paisanos.

Por los buenos momentos compartidos y su valiosa colaboración para que el presente trabajo se realizara.

ACTO QUE DEDICO

A Dios

Por brindarme la sabiduría e iluminar mi camino para lograr los éxitos alcanzados.

A mis Abuelos, Enrique, Victoria, Maria (Q.E.P.D.) y Emilio

Por ser los mejores consejeros, porque me ayudaron y me apoyaron en la adolescencia convirtiéndose en mis mejores amigos. Dedico este trabajo a su memoria.

A mis padres, Fila y Yolanda

Por los esfuerzos que realizaron, inculcándome valores morales para hacer de mí un hombre de bien.

A mi Esposa

Por su comprensión en los momentos difíciles, por apoyarme en todo momento con amor, e impulsarme a seguir adelante.

A mis hijos, Elmer y Alex

Para ellos va dedicado con todo mi amor, por ser ellos lo más valioso que Dios me ha proveído.

A mis hermanos, Quique, Edgar, Tita, Toño, María José y Ana (Q.E.P.D.)

Por los momentos buenos y malos que compartimos, lo que nos hizo estar cada vez mas unidos.

A Flavio Chacón Zacarías (Q.E.P.D.)

Por los sabios consejos que me brindó, los que me sirvieron a lo largo de la carrera para alcanzar la meta deseada, que este trabajo sea un regalo a su memoria.

A mis amigos y compañeros de trabajo de INFOM Fredy, David, Marvin, Julio, Daniel, Luis, Walter, Chivis, Oscar, Llemo, Tono, Paty, Maco, Mario, Calvillo, Manuel, Armando, Cyntia y Majo.

Por compartir el mismo anhelo de superación y por brindarme con su amistad el apoyo incondicional para salir adelante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTADO DE SIMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV

1. GENERALIDADES..... 1

1.1	Tipos de pozos	1
1.1.1	Pozos superficiales	1
1.1.2	Pozos profundos	2
1.1.3	Pozos artesianos.....	2
1.2	Aguas subterráneas.....	2
1.3	Exploración del agua subterránea	3
1.3.1	Lineamientos para la exploración del agua subterránea	4
1.4	Ciencias auxiliares que evalúan las condiciones geológicas del agua subterránea.....	4
1.4.1	Estudios hidrogeológicos	5
1.4.2	Estudios geológicos	8
1.4.3	Estudios geofísicos	8
1.5	Características de las aguas subterráneas.....	9

1.6	Acuíferos	10
1.7	Tipos de acuíferos.....	11
1.7.1	Acuífero libre.....	11
1.7.2	Acuífero confinado	11
1.7.3	Acuífero semiconfinado	12
1.7.4	Acuífero colgado	12
1.8	Razones de baja producción en los pozos.....	13
1.9	Vida útil económica de un pozo.....	14
1.10	Diferentes métodos de mantenimiento.....	14
1.10.1	Método del pistoneo.....	14
1.10.2	Método mixto	15
1.11	Diferentes usos de aire comprimido	15
1.12	Equipo de operación	16
2.	PROCEDIMIENTO TÉCNICO	17
2.1	Métodos para medir la profundidad de los pozos.....	17
2.1.1	Método de la cinta eléctrica	17
2.1.2	Método de la cinta mojada.....	17
2.1.3	Método de la línea de aire	18
2.2	Limpieza del pozo con aire comprimido	19
2.2.1	Equipo a utilizarse.....	21
2.2.2	Equipo de seguridad durante la limpieza	23
2.3	Seguridad de abastecimiento durante la prueba.....	24
2.4	Preparación de la prueba de bombeo	25
2.5	Prueba de bombeo.....	26

2.5.1	Primera etapa.....	26
2.5.2	Segunda etapa.....	27
2.5.3	Tercera etapa.....	28
2.6	Recuperación.....	28
3.	PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA PRODUCCIÓN DEL POZO.....	29
3.1	Objetivo de la prueba de bombeo.....	29
3.2	Duración del tiempo de bombeo	30
3.2.1	En áreas de recursos comprobados	30
3.2.2	En áreas de recursos no comprobados.....	30
3.3	Pasos para la prueba de bombeo.....	31
3.4	Duración de las etapas de bombeo	32
3.5	Seguimiento de la recuperación	33
3.6	Determinación de la capacidad del pozo	34
3.6.1	Grafico específico del rendimiento	35
3.7	Selección de la bomba	35
3.8	Profundidad de la instalación de la bomba	36
3.8.1	Equipo utilizado en unidad de bombeo	37
3.9	Control del contenido y color de la arena	39
3.10	Temperatura	39
3.11	Muestras de agua.....	40
3.11.1	Muestras de agua para análisis físico	40
3.11.2	Muestras de agua para análisis químico	41
3.11.3	Muestras de agua para análisis bacteriológico	42

4.	MONITOREO DE POZO APLICANDO EL MÉTODO EN EL MUNICIPIO DE MIXCO GUATEMALA	45
4.1	Nivel del agua en el pozo	46
4.2	Calidad del agua en el pozo	47
4.3	Limpieza del pozo	49
4.4	Pruebas de bombeo y desarrollo del pozo	51
4.5	Recuperación del pozo.....	57
4.6	Resultados de las pruebas de bombeo	59
4.7	Costo de mantenimiento del pozo	61
4.8	Cronograma de mantenimiento del pozo	62
4.9	Resultados del monitoreo.....	63
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA.....	71
	APÉNDICE	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Boleta con datos iniciales del pozo.....	46
2	Boleta con datos de la calidad del agua	47
3	Boleta con datos de la temperatura del agua.....	49
4	Boleta con datos de la prueba de bombeo.....	51
5	Boleta con datos de la recuperación del pozo.....	57
6	Boleta con resultados de la prueba de bombeo.....	59
7	Grafico del caudal específico.....	60
8	Camión para transporte de grúa.....	87
9	Limpieza de pozo.....	89
10	Compresor de 17 metros cúbicos por minuto.....	91
11	Tanque de distribución.....	93
12	Camión para transportar equipo de limpieza.....	95
13	Camión para transportar equipo de bombeo.....	97
14	Método de la línea de aire.....	99
15	Sonda eléctrica	101
16	Manejo de equipo de limpieza.....	103
17	Plano de localización.....	105

TABLAS

I	Costo de mantenimiento del pozo.....	61
II	Cronograma de mantenimiento del pozo.....	62

LISTADO DE SIMBOLOS

Símbolo	Significado
P.R.	Punto de referencia.
B.P.R	Bajo punto de referencia.
Fe	Cantidad de hierro en el agua.
Ph	Concentración de iones en el agua.
SO4-	Cantidad de sulfatos en el agua.
No3-	Cantidad de nitratos en al agua.
C.E.	Conductividad eléctrica.

GLOSARIO

Abatimiento	Es la diferencia entre el nivel estático y dinámico en el pozo. El nivel del agua al bombear varía según el rendimiento del mismo.
Acidez	Exceso de iones de hidrógeno en el agua para el consumo humano.
Camisa	Tubería metálica que sirve para proteger las paredes de los pozos de extracción de agua subterránea.
Caudal específico	Es el caudal recomendable que debe explotarse del acuífero sin peligro de agotarlo.
Cinta eléctrica	Cinta métrica que sirve para medir la profundidad y el nivel del agua dentro de un pozo.
Cono Imhoff	Utensilio en forma de cono que sirve para medir el contenido de arena en el agua.
Corrosión	Es un fenómeno que afecta en gran parte el funcionamiento y la durabilidad de un pozo, disminuyendo la vida útil de los componentes del mismo, tales como rejillas y equipo de bombeo.
In- situ	Realizar cualquier actividad en el sitio de trabajo.

Incrustación	Fenómeno químico presente en el agua debido a la presencia de algunos minerales que afectan y disminuyen el rendimiento y eficiencia de la estructura de un pozo.
Medidor tipo Thomson	Utensilio que sirve para controlar el caudal y regular la válvula al rendimiento deseado.
Nivel estático	Es el punto máximo al que llega el nivel del agua en un pozo.
Nivel dinámico	Es el nivel del agua hasta donde se puede explotar el caudal máximo que rinde el pozo.
Pérdida de carga	Es la pérdida de la presión en la tubería afectada principalmente por la rugosidad, velocidad de descarga y diámetro de la tubería.
Sedimento	Materia que se deposita en el fondo debido a que tiene mayor peso específico que el del agua.
Sello sanitario	Es el relleno de concreto hidráulico que se aplica en las paredes del pozo para evitar la infiltración de aguas contaminadas.

RESUMEN

A toda obra que suministre un servicio básico, como el agua para consumo humano, debe aplicársele mantenimiento periódico con el objetivo de prolongar su vida útil.

Los pozos para la extracción de agua subterránea se han convertido en un medio de abastecimiento de agua potable debido a la escasez de fuentes superficiales; Por ello se propone un método de mantenimiento el cual consiste en limpieza por medio de aire comprimido, desarrollo y recuperación del pozo.

En el documento se describe todo el procedimiento a seguir para el proceso de limpieza y desarrollo del pozo. Se elaboraron boletas con el propósito de llevar un control preciso de las diferentes etapas de bombeo. En los resultados se determinó el rendimiento óptimo del pozo, así como la calidad del agua.

Para la mejor interpretación del método propuesto se realizó el mantenimiento completo de un pozo en el municipio de Mixco, Guatemala. En éste se puede observar los resultados obtenidos en cuanto al rendimiento del pozo, la calidad del agua, el cronograma de ejecución y el costo de mantenimiento.

OBJETIVOS

General

Proporcionar a la población elementos necesarios para el mantenimiento de pozos mecánicos de extracción de agua subterránea, por medio de los cuales se podrá recuperar el rendimiento y los niveles iniciales del mismo.

Específicos

1. Que la investigación sirva de consulta a estudiantes, técnicos y profesionales que se interesen en el mantenimiento de pozos.
2. Describir en orden lógico los distintos pasos a seguir así como el equipo utilizado, para que el método propuesto sea efectivo al momento de su aplicación.
3. Establecer, para luego describir, los parámetros y recomendaciones que deben cumplirse durante el proceso de mantenimiento de acuerdo a este método.

INTRODUCCIÓN

En nuestro medio el conocimiento de la explotación de las aguas subterráneas se hace cada vez más importante debido a la escasez de fuentes superficiales, por consiguiente es necesario su estudio desde la explotación hasta su mantenimiento. En Guatemala se aplican algunos métodos para el mantenimiento de pozos de extracción de agua subterránea entre los que se puede mencionar: de cubeteado, pistoneo, inyección de aire etc.

Por lo anteriormente descrito y con los avances de la tecnología es posible proponer el **MÉTODO DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE AIRE COMPRIMIDO PARA POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA**, por medio del cual se pretende el mantenimiento eficaz debido a que es la combinación de los métodos antes mencionados con el uso de nuevas tecnologías.

El presente documento comprende las especificaciones técnicas y condiciones generales para ejecutar los trabajos de limpieza, desarrollo de pozos y para la realización de las pruebas de bombeo como parte de desarrollo de los mismos.

Para el mantenimiento de los pozos es necesario llevar un control preciso de los resultados del monitoreo, por lo que en el apéndice se presentan una serie de boletas para facilitar el control de estos.

1. GENERALIDADES

1.1 Tipos de pozos

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

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

1.1.1 Pozos superficiales

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

1.1.2 Pozos profundos

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

1.1.3 Pozos artesianos

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

1.2 Aguas subterráneas

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

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

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

1.3 Exploración del agua subterránea

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

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

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

1.3.1 Lineamientos para la exploración de agua subterránea

Se procede a realizar las actividades que a continuación se describen:

1. Se elabora un plano geológico que muestre los diferentes tipos de rocas que afloran en la superficie, además de secciones transversales que permitan ver su distribución en el suelo.
2. Se reúne toda la información sobre localización, profundidad del nivel de agua, caudal promedio y el tipo de rocas que se hayan encontrado al perforar.

1.4 Ciencias auxiliares que evalúan las condiciones geológicas del agua subterránea

Para evidenciar la evaluación de agua subterránea se necesita la aplicación práctica de las siguientes ciencias auxiliares de la hidrología:

- Hidrogeología
- Geología
- Geofísica

El reconocimiento de cada una de estas ciencias aportan información importante, en especial la geología que ayuda a obtener datos sobre la producción y almacenamiento del agua subterránea.

1.4.1 Estudios hidrogeológicos

El propósito de un estudio hidrogeológico es determinar la distribución de los diferentes tipos de roca, que se encuentren saturadas de agua, por medio de un modelo tridimensional del subsuelo, horizontal y vertical. Además se pueden obtener la geometrías de las superficies de las zonas saturadas o su potencial equivalente, de acuerdo a las deducciones que en cuanto a dirección y cantidad de flujo se puedan inferir.

Los estudios hidrogeológicos son representados por medio de mapas estructurales que explican la distribución y espesor de los acuíferos; estos son:

- Perfiles hidrogeológicos.
- Localización de puntos de muestreo para el análisis químico.
- Condiciones hidrogeológicas generales de pozos perforados.
- Condiciones hidrogeológicas generales.
- Variación puntual de parámetros hidrogeológicos.
- Estaciones y anomalías gravimétricas.
- Isorresistividad real.
- Isopacas.
- Estructurales.
- Geología general.
- Caudales específicos año hidrogeológico.

Mapa de perfiles hidrogeológicos.

Indica el nivel del agua subterránea determinado a través de sondeos de resistividad eléctrica y de refracción sísmica.

Estos perfiles son representados por medio de gráficas en donde la escala vertical (1: 5,000) representa la altitud y la escala horizontal (1: 50,000) representa la distancia en kilómetros o metros.

Mapa de localización de puntos de muestreo para análisis químico.

Estos mapas dan los valores puntuales de los parámetros químicos de interés, a través de las isocurvas de dichos parámetros y la conductividad eléctrica.

Mapa de condiciones hidrogeológicas generales de pozos perforados.

Proporciona información sobre las condiciones de los pozos, clasificándolos a través de número de orden, nivel estático, profundidad, transmisibilidad, diámetro y caudal.

Mapa de condiciones hidrogeológicas generales.

Determina las condiciones hidrogeológicas del agua subterránea a través de curvas isopiezas, diámetro de flujo y valores hidrogeológicos puntuales.

Mapa de variación puntual de parámetros hidrogeológicos.

Por medio de este tipo de mapa se puede determinar la precipitación, temperatura, niveles freáticos y conductividad eléctrica.

Mapa de estaciones y anomalías gravimétricas.

Sirve para determinar la presencia de grava en las estaciones en que se realiza el estudio.

Mapa de isorresistividad real.

Son indicadores de la profundidad de prospección, aproximadamente de 10, 30 y 50 metros.

Mapa de isopacas.

Son indicadores del espesor en el acuífero.

Mapa estructural.

Indica la altitud absoluta de la base del acuífero.

Mapa de geología general.

Sirve para determinar la geología del terreno, tale como aluviones, lava, perfiles geológicos ,etc.

Mapa de caudales específicos del año hidrológico.

Indica las mediciones de aforos realizados en el transcurso del año; estas mediciones se hacen a través de aforos limnimétricos y limnigráficos.

1.4.2 Estudios Geológicos

Mediante los reconocimientos geológicos es posible obtener conclusiones hidrogeológicas de una región. En la exploración el geólogo se sirve de la petrografía, de la estratigrafía, de la geología estructural y de la geomorfología.

1.4.3 Estudios Geofísicos

Son los que proporcionan una evidencia indirecta de las formaciones subterráneas, detectan algunas propiedades de los materiales, ya que estos pueden ser porosos o permeables.

Los principales métodos geofísicos son:

- Magnético
- Gravimétrico
- Radioactivo
- Geotérmico
- Eléctrico
- Sísmico

Cada uno de ellos se basa en que las diferentes rocas y formaciones minerales tienen reacciones distintas y medibles a los campos de fuerza utilizados.

1.5 Características de las aguas subterráneas

La calidad de las aguas subterráneas es, generalmente, mejor para el abastecimiento de poblaciones, comparándola con el agua que proviene de cursos superficiales. Normalmente contiene normalmente menos bacterias, menor cantidad de materia orgánica y mayor cantidad de minerales como el hierro, manganeso y calcio. Estas aguas sufren un proceso de clarificación durante la filtración a través de las capas superiores; ese movimiento de percolación del agua a través del suelo, le permite mantener un contacto prolongado y estrecho con los minerales que forman los diferentes estratos que constituyen la corteza terrestre, de tal manera que aumenta su contenido mineral conforme se desplaza y en función de la salubridad de los minerales.

La utilidad del agua se ve limitada cuándo uno o más minerales exceden la cantidad tolerable para un uso determinado, por lo que debe aplicársele algún tipo de tratamiento que elimine el material en exceso y la torne apta para su destino.

Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, son más difíciles de sanear. Esto sucede porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento; mientras el tiempo de permanencia medio en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años.

Se suelen distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los puntuales, que afectan a zonas muy localizadas y los difusos que provocan contaminaciones dispersas en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal.

Las actividades que suelen provocar la contaminación puntual son:

- Lixiviados de residuos urbanos.
- Lixiviados de residuos industriales.
- Pozos sépticos en rastros y granjas.
- Gasolineras con fugas en sus depósitos de combustibles.

Las actividades que suelen provocar contaminación difusa son:

- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas.
- Sobreexplotación forestal.
- Explotación excesiva de los acuíferos que facilita que el agua salina invada el agua dulce.

1.6 Acuíferos

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

La propiedad de los acuíferos de contener y conducir agua esta gobernada por varios factores como la porosidad, permeabilidad, transmisibilidad, producción específica, coeficiente de almacenamiento, etc. El conocimiento de estas características permite hacer una evaluación de la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro de agotarlo.

1.7 Tipos de Acuíferos

La clasificación de los acuíferos puede variar según determinados factores. De ese modo pueden clasificarse según los materiales litológicos que los constituyan o el factor de la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos, lo que se traduce en circunstancias prácticas de gran utilidad para establecer la captación de esas aguas.

1.7.1 Acuífero libre

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

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

1.7.2 Acuífero confinado

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

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

Al perforar pozos que atraviesen el límite superior del material que constituye el acuífero, se observará que el nivel del agua asciende muy rápido hasta que se estabiliza en el nivel piezométrico. Podrán darse pozos surgentes si el nivel del agua queda por encima del nivel topográfico y pozos artesianos si el nivel se estabiliza por debajo de la cota de terreno. En este tipo de acuífero los cambios de elevación dependen primordialmente de las presiones, más que de cambios en volúmenes almacenados.

1.7.3 Acuífero semiconfinado

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

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

1.7.4 Acuífero colgado

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

Los acuíferos colgados son más comunes de lo que se pueda suponer, aunque quizá solo ocupan unos pocos centímetros de espesor, o sólo se alimentan después de una recarga muy excepcional. No suponen un recurso muy fiable, ya que a veces se puede perforar del todo y el pozo construido facilita el drenaje del agua en el lentejón hacia la zona saturada.

1.8 Razones de baja producción en los pozos

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

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

1.9 Vida útil económica de un pozo

El concepto de vida útil es relativo y dependerá del período calculado para amortizar el capital invertido en la construcción del pozo. Es importante conocer el comportamiento de un pozo, periódicamente debe de revisarse los caudales bombeados, potencia consumida de la bomba y el régimen de bombeo. La observación del pozo servirá para garantizar su funcionamiento, siempre y cuando los registros realizados sean bien interpretados, ya que de ello dependerá conocer su comportamiento y por ende su durabilidad.

1.10 Diferentes métodos de mantenimiento

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

1.10.1 Método del pistoneo

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

Al bajar el pistón, el efecto de empuje se amortigua, el agua escapa hacia la parte superior a través de éste; cuando el pistón asciende, la lamina de goma asienta sobre su cara superior y la succión es más intensa que el empuje, evacuándose de manera continua el material fino en vez de forzarlo hacia el exterior en cada descenso.

1.10.2 Método mixto

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

1.11 Diferentes usos de aire comprimido

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

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

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

1.12 Equipo de operación

Para la realización de los trabajos de mantenimiento de pozos, es necesario utilizar equipo y herramienta con algunos requerimientos y especificaciones que deben cumplirse para obtener los resultados esperados. Entre este tipo de equipo puede mencionarse al compresor, generador de energía, sistema de bombeo, herramienta de pesca o tubería (ver figuras en apéndice).

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

2. PROCEDIMIENTO TÉCNICO

2.1 Métodos para medir la profundidad de los pozos

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

2.1.1 Método de la cinta eléctrica

Este método consiste en colocar una sonda eléctrica, es decir electrodo que al introducirse en el agua genera conductividad eléctrica que se traduce a una señal, ya sea de luz o de sonido e indica el contacto con el agua y permite medir variaciones del nivel de agua dentro del pozo (ver figura No 8 en apéndice).

2.1.2 Método de la cinta mojada

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

2.1.3 Método de la línea de aire

Consiste en un conducto o tubería de pequeño diámetro y longitud suficiente, que permanezca verticalmente dentro del pozo, el tubo no debe permitir la entrada de aire, en el extremo superior se coloca una tee a la que se le coloca un manómetro que permite medir la presión del aire dentro del tubo (ver figura No 8 en apéndice).

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

La profundidad del agua se calcula mediante la expresión:

$$PA = PLA - P$$

En donde:

PA = Profundidad del agua en pies o metros.

PLA = Profundidad de la línea de aire en pies o metros.

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

2.2 Limpieza del pozo con aire comprimido

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

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

- Se mide la profundidad del pozo por medio de uno de los métodos anteriormente descritos y se compara esta profundidad con los registros existentes del pozo.
- Se registra en la boleta de limpieza el valor de la profundidad que se encontró, (ver boleta No 1 en apéndice).
- Se mide el nivel estático del agua y registra en la boleta de limpieza de pozos, (ver boleta No 1 en apéndice).
- Se establece un método apropiado para medir el rendimiento al vaciar el pozo, estos se pueden combinar según las circunstancias encontradas in-situ, es recomendable hacerlo con el medidor triangular tipo Thomson.

- Se aplica el tratamiento químico que debe de permanecer 24 horas para que reaccione y remueva las partículas que se encuentran suspendidas en las paredes de la camisa y obstruyendo las aberturas de la rejilla del pozo.
- Se cepilla de abajo hacia arriba del pozo para remover las partículas que no fueron removidas con el tratamiento químico, el cepillo a utilizar deberá ser de dientes de metal y el diámetro igual al del pozo. Después de cepillado el pozo es necesario extraer los sedimentos depositados en le fondo por medio de la cubeta.
- Se inyecta aire por medio del compresor con el objetivo de crear turbulencia dentro del pozo y remover las partículas y sedimentos mezclados con el químico aplicado.
- Se inicia el vaciado de arriba hacia abajo a lo largo de la sección del filtro del pozo, en etapas de 10 pies.
- Debe medirse periódicamente el contenido de sedimentos del agua vaciada con el cono Imhoff y registrarlo en la boleta de limpieza de pozo, (ver boleta No 3 en apéndice).
- Se mide como máximo cada 30 minutos el rendimiento del pozo al vaciar y se registra en la boleta de limpieza, (ver boleta No 4 en apéndice).
- Se baja el tubo de aire y la manguera de la presión a la etapa siguiente de la limpieza, cuándo el agua esté libre de sedimentos, significa un círculo de sedimentación sobre el fondo del cono Imhoff con diámetro no menor de 3 milímetros.

- Se inicia el vaciado inversamente al anterior de abajo hacia arriba a lo largo de la sección del filtro del pozo, en etapas de 10 pies.
- Después de haber limpiado la totalidad de las secciones del filtro, se baja el tubo de aire a 3 pies sobre el fondo del pozo para limpiar el estancamiento del mismo.
- La profundidad del pozo se mide después de limpiar, se registra y compara con la profundidad inicialmente medida en la boleta.
- Si la profundidad inicial del pozo, resultase menor a la obtenida después de la limpieza, el procedimiento quitó los sedimentos depositados en el fondo del pozo.
- Si la profundidad después de la limpieza sigue siendo mayor que la indicada en registros existentes, el procedimiento de limpieza no quitó los sedimentos depositados en el fondo.
- Los resultados de la limpieza pueden verificarse por medio de la cinta de sonido, si el contacto con el fondo es espontáneo y fuerte el contacto es con el fondo del pozo, si es todo lo contrario, significa que hay sedimentos remanentes en el pozo, y éste debe vaciarse nuevamente.

2.2.1 Equipo a utilizarse

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

- Un compresor de aire de 17 metros cúbicos por minuto,(para la limpieza y el desarrollo del pozo ver figura No 3 en apéndice).
- Tubo galvanizado roscado de alta resistencia el cual deberá ser recto para evitar desviaciones, debe llevar una especie de agujeros a lo largo como los de una flauta para regular la presión del aire al ingresar y así evitar rotura en el queising.
- Manguera flexible de aire de alta presión que permita levantar y bajar la línea de aire dentro del pozo.
- Manguera flexible de alta presión de 3 pulgadas para inyectar agua al vertedero triangular tipo Thomson.
- Un manómetro para medir la presión del aire que se inyectara al pozo por medio de la manguera.
- Una válvula de alivio como precaución contra una sobrecarga accidental.
- Una válvula de abertura rápida a la salida del tanque, para regular el flujo de aire.
- Un generador de energía adecuado para la bomba en la prueba de bombeo y para la iluminación durante la prueba.

2.2.2 Equipo de seguridad durante la limpieza

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

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

2.3 Seguridad de abastecimiento de agua durante la prueba

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

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

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

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

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

2.4 Preparación de la prueba de bombeo

Se anota en la hoja de cubierta los datos de la prueba de bombeo al inicio del trabajo. Seguidamente se determina el tipo de bomba a utilizar y la profundidad de instalación de acuerdo a los datos de nivel estático del agua, profundidad total del pozo, rendimiento registrado de pruebas previas y rebajamiento en la prueba de bombeo. El siguiente paso es medir el nivel estático del agua y registrarlo, chequear el funcionamiento de la válvula de retención de la bomba de prueba. Para chequear la válvula de retención deben adaptarse una o más tuberías de salida a la bomba y llenarse con agua; si el nivel de agua en la tubería de salida permanece constante, puede decirse que la válvula está funcionando correctamente.

Se procede entonces a bajar la bomba junto con la tubería del piezómetro a la profundidad de abastecimiento. El fondo de la tubería del piezómetro no puede estar a más de seis pies de profundidad sobre la bomba. La tubería del piezómetro y el cable se adjuntan completamente a la tubería de salida.

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

2.5 Prueba de bombeo

2.5.1 Primera etapa

- Esperar hasta alcanzar el nivel estático del agua en caso que haya sido bombeada del pozo por cualquier razón en las ultimas horas.
- Determinar el rendimiento para la primera etapa que se correrá en ese momento.
- Leer el caudalímetro y registrar la lectura en la boleta de prueba de bombeo (ver boleta No 4 del apéndice).
- Cerrar completamente la válvula.
- Chequear que todos los miembros del equipo de trabajo tienen la misma hora en sus relojes.
- Encender la bomba y el cronómetro al mismo tiempo en hora exacta, registrar el tiempo utilizando el esquema de 24 horas al día.
- Leer el nivel del agua en el piezómetro cada minuto durante los primeros 10 minutos y proceder de acuerdo a la boleta de la prueba de bombeo (ver boleta No 4 en apéndice).
- Observar el medidor triangular tipo Thomson y regular la válvula al rendimiento deseado, una desviación de 10% del rendimiento no necesita otra regulación de la válvula.

- Tan pronto como se alcance el intervalo de 5 minutos de la lectura del nivel de agua, controlar con cada lectura, la lectura del medidor triangular tipo Thomson y regular la válvula en caso de necesidad es necesario tener siempre presente que el rendimiento disminuye con el abatimiento del nivel de agua, por lo que la válvula debe ser abierta para ajustar el rendimiento.
- Controlar el rendimiento bombeado por medio del caudalímetro, como máximo cada 30 minutos en las primeras 3 horas y cada hora en adelante. Este procedimiento se hace midiendo el tiempo con el cronómetro para 1 metro cúbico de flujo de agua que atraviesa el caudalímetro. En caso de que el equilibrio entre el rebajamiento y el rendimiento no se alcance durante las 3 horas de las 16 que dura la etapa de bombeo, hay que prolongar el tiempo de bombeo hasta que la condición de 3 horas de flujo de estado estable sea satisfactoria.
- Determinar el rendimiento deseado para la segunda etapa de bombeo, leer el caudalímetro y registrar la lectura en la boleta de la prueba de bombeo, luego pasar a la siguiente etapa buscando la hora completa.

2.5.2 Segunda etapa

- No parar la bomba, proceder a la segunda etapa abriendo la válvula hasta el punto requerido.
- Leer el nivel de agua en el piezómetro cada minuto durante los primeros 10 minutos, observar el medidor triangular tipo Thomson y regular la válvula al rendimiento deseado.

- Proceder con los pasos descritos en la primera etapa luego pasar a la siguiente, siempre buscando la hora completa.

2.5.3 Tercera etapa

- No parar la bomba, proceder a la tercera etapa abriendo la válvula hasta el punto requerido.
- Proceder con los pasos descritos para la segunda etapa y así determinar la tercera etapa en una hora completa.

2.6 Recuperación

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

3. Procedimiento para determinar la producción del pozo

3.1 Objetivo de la prueba de bombeo

El objetivo de la prueba de bombeo es determinar los parámetros hidráulicos de un pozo, estos parámetros son:

- Rendimiento del pozo.
- La transmisividad del acuífero

En caso de la existencia de un piezómetro cercano, que se puede controlar durante la prueba de bombeo, el coeficiente del almacenaje puede ser determinado. La aplicación de tres etapas de bombeo escalonado, es la medida apropiada para controlar un pozo. En caso de un rendimiento bajo del pozo, los intervalos de bombeo escalonado se hacen tan pequeños, que el funcionamiento de una prueba de bombeo de 2 etapas es suficiente. Para ahorrar tiempo y dinero, las pruebas escalonadas deben hacerse sin interrupción ya que tiene la ventaja de crear un cono de depresión más real que el que se crea con interrupción.

3.2 Duración del tiempo de bombeo

3.2.1 En áreas de recursos comprobados

En regiones con áreas de recarga del agua subterránea restringidas, la duración de 72 horas puede no ser suficientes para asegurar que el pozo rendirá la misma cantidad de agua a lo largo de todo el año.

En regiones con áreas de grandes recargas, buenas capas permeables del acuífero y suficiente precipitación anual, el tiempo de la prueba de bombeo se puede acortar según las condiciones encontradas al realizarla o según experiencias anteriores.

Las áreas de fuentes comprobadas con sedimentos aluviales en las pruebas de bombeo se estiman solamente con una duración de tiempo de bombeo, de 48 horas y 3 etapas de 16 horas cada una. Una prolongación del tiempo de bombeo será necesaria en caso de que el equilibrio de flujo estable entre el rendimiento y rebajamiento no se alcance en 3 horas para cada etapa.

3.2.2 En áreas de recursos no comprobados

El agua subterránea se almacena en grietas, fisuras y cavidades además no existen acuíferos isotrópicos de extensión considerable. Las capas de soporte del agua subterránea pueden ser el resultado de acontecimientos localmente aislados como grandes fallas o cavidades.

Las ocurrencias aisladas del agua subterránea, son lentes de agua que se llenan durante el tiempo de recarga y se consumen completamente con un cierto tiempo de bombeo, dependiendo de la cantidad de agua almacenada en el lente y el bombeo de la misma.

Las pruebas de bombeo escalonadas con 3 etapas, en áreas de recursos no comprobados exigen una duración del tiempo de bombeo de 72 horas, la primera y segunda de 16 horas cada una, la tercera de 40 horas. La prolongación del tiempo será necesaria, cuando no se alcance el equilibrio de flujo estable en 3 horas de cada etapa. Cuando el equilibrio de flujo estable no se alcance, hay dos resultados posibles:

- La permeabilidad de las grietas y fisuras es demasiado baja comparada con el retiro de agua subterránea.
- El lente de agua subterránea se está vaciando constantemente.

En los dos casos, la válvula a la salida de la bomba debe ser estrangulada para reducir la descarga e intentar conseguir un flujo de estado estable. En los casos de lentes de agua subterránea, un flujo de estado estable nunca será alcanzado, aunque el rebajamiento se mantenga continuo o se estrangule continuamente la válvula de salida de la bomba.

3.3 Pasos para las pruebas de bombeo

Se recomienda hacer una prueba de bombeo escalonada de 3 etapas, para cada pozo en prueba.

Las etapas deben hacerse de acuerdo a los siguientes rendimientos:

- 1era etapa: 1/3 del rendimiento máximo esperado
- 2da etapa: 2/3 del rendimiento máximo esperado
- 3era etapa: 3/3 del rendimiento máximo esperado

El rendimiento máximo permisible será estimado de acuerdo a los datos disponibles de la construcción del pozo, también de la prueba rápida de bombeo y prueba de inyección de aire comprimido, los que deben de ser tomados conservadoramente.

El rendimiento máximo será aproximadamente del 60% - 70% de los datos registrados por el operador de la prueba rápida realizada. En caso de que el rendimiento así estimado resulte subestimado substancialmente, el flujo estable durante la primera etapa se alcanzará rápidamente. En este caso para la segunda etapa, debe elegirse un rendimiento mayor.

Es importante graficar en papel milimetrado los resultados de cada etapa de la prueba de bombeo escalonado, rebajamiento vrs rendimiento para determinar el rendimiento requerido para la siguiente etapa.

3.4 Duración de las etapas de bombeo

La duración de cada etapa del bombeo escalonado depende de cuanto se tarde en alcanzar el flujo de estado estable. Es necesario mantener 3 horas de bombeo a flujo estable antes de iniciar la siguiente etapa del bombeo.

Puede suceder que el rendimiento para la segunda o tercera etapa se haya elegido por encima de la capacidad del pozo. En este caso la válvula tiene que ser estrangulada tanto como sea necesario hasta alcanzar el flujo de estado estable. La última etapa de la prueba es la más importante, debido a que en ella se determina la explotación máxima permisible del pozo. Se recomienda que para las áreas de fuentes comprobadas cada etapa de la prueba escalonada de bombeo se corra durante un mínimo de 16 horas. Si el estado de flujo estable, no fuera alcanzado durante tres horas en este periodo de 16 horas de cada etapa, la duración de la etapa debe extenderse hasta lograr el flujo estable durante 3 horas.

3.5 Seguimiento de la recuperación

Es recomendable un seguimiento durante 12 horas de la recuperación de cada pozo, comprobándolo con bombeo. Durante estas horas, la bomba debe permanecer en el pozo en su posición y no debe ser movida o retirada.

Si el estado del nivel estático del agua, no es alcanzado dentro de las 12 horas de tiempo, la recuperación debe ser observada tanto como sea posible durante el tiempo de desmovilización de los equipos de bombeo, por lo menos tres veces al día y antes de salir del sitio de la prueba.

El nivel de agua en el pozo, disminuye momentáneamente cuando el equipo de bombeo es removido del pozo, mientras que el agua reemplaza el volumen de la bomba y de las tuberías. La recuperación del nivel de agua subterránea es un indicador para la recarga del acuífero del pozo. Cuanto mayor sea el tiempo de recuperación del nivel de agua, menor será la recarga del acuífero.

Si el estado de nivel estático del agua no se alcanza con la recuperación, lo que puede tomar algunos días, significa que la cantidad explotable de agua subterránea del pozo, ha cedido a un plano de agua más profundo en el área de influencia del mismo.

Se debe tener presente que la recarga de un acuífero puede ocurrir solamente por dos fuentes o la combinación de ambas, infiltración de la precipitación durante los pocos meses del periodo de recarga o infiltración de la salida de un recurso del agua permanente o temporal. La recarga de un acuífero por un río es restringida por la permeabilidad del lecho del río y del acuífero. En general puede decirse que la influencia de la infiltración del río en la capacidad del pozo disminuye con la distancia del pozo al río.

3.6 Determinación de la capacidad del pozo

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

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

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

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

3.6.1 Gráfico específico del rendimiento

Sobre el eje “y” el rebajamiento “s” está indicado en pies, sobre el eje “x” el rendimiento “Q” está indicado en l/s.

El rebajamiento de cada etapa de la prueba de bombeo para el equilibrio del flujo de estado estable se grafica con el rendimiento correspondiente. Si los resultados de las primeras dos etapas caen en una curva suave y el resultado de la tercera etapa no se ajustan a la curva inicial, el flujo del acuífero más bajo del pozo se movilizó.

3.7 Selección de la bomba

El procedimiento para la selección de la bomba se describe a continuación.

- La profundidad del pozo—el nivel estático del agua = columna total del agua del pozo

- La altura manométrica de la bomba usada para la prueba de bombeo = $\frac{1}{3}$ del rebajamiento de la columna de agua + el nivel estático del agua bajo tierra + 30 pies de seguridad.
- La bomba a utilizar dependerá del diámetro interior del ensamble del pozo.

3.8 Profundidad de la instalación de la bomba

La bomba de la prueba debe instalarse a una profundidad no menor de la fórmula que a continuación se describe:

- Profundidad de la bomba = $\frac{1}{3}$ de la columna de agua en el pozo + profundidad del nivel estático de agua bajo el cabezal del pozo + 45 pies de seguridad.

La bomba de la prueba se puede instalar a mayor profundidad si es necesario. Es recomendable mantener 12 pies de distancia al fondo del pozo, para prevenir la succión de posibles depósitos de arena existentes. El hecho de que la bomba se instale en la sección del filtro, no presenta un problema, para propósitos de la prueba de bombeo. En caso de que haya gran cantidad de arena durante la prueba de bombeo, la prueba debe ser interrumpida y la bomba se debe instalar en una sección de la camisa de tubería ciega para evitar el daño a la bomba.

No siempre es posible tener la bomba en una posición que se ajuste al rendimiento requerido y a la altura manométrica. Si éste fuese el caso se debe utilizar una bomba de capacidad más alta.

Cualquier bomba sumergible se puede estrangular con una válvula a la salida aproximadamente 20 % de su capacidad prevista, sin destrucción de la bomba.

3.8.1 Equipo utilizado en unidad de bombeo

Para montar la unidad de bombeo se necesita del siguiente equipo:

- Camión con equipo montado (ver figura 1, 5 y 6 en apéndice)
- Picop de servicio
- Tanques para combustible
- Generador con panel
- Panel eléctrico para conexión de bomba
- Batería para el generador
- Iluminación para el lugar de trabajo
- Cable para luz
- Acoples
- *Sockets*
- Tubo galvanizado con gancho para fijación de la iluminación
- Bombillas de 100 a 200 watts
- Tomacorrientes
- Bombas
- Cable para bombas
- Codos galvanizados
- Niples galvanizados
- Válvulas de estrangulamiento y regulación de caudal
- Tubo con brida
- Caudalímetro tipo turbina Woltman o vertedero triangular tipo Thomson
- Tubo con brida para conexión de manguera

- Manguera para grifo
- Abrazaderas para las bridas
- Tubos PVC
- Cinta adhesiva
- Trípode con cadena para halar
- Sondas para lectura de nivel de agua
- Cronómetro
- Cono Imhoff
- Calculadora con baterías de repuesto
- Palas
- Hacha
- Tenazas
- Cubetas de 20 litros
- Botellas plásticas de 1 litro
- Botellas plásticas de ½ litro
- Ácido concentrado
- Equipo para acampar
- Carpa a prueba de agua
- Camas plegables
- Sillas plegables
- Linternas
- Botas de goma
- Botiquín de primeros auxilios
- Candados
- Estufa eléctrica
- Cascos de protección

3.9 Control del contenido y color de la arena

Al comenzar la prueba de bombeo y al principio de cada etapa, el contenido de la arena debe ser observado y periódicamente medido con el cono Imhoff, hasta que el contenido de la arena no pase de un círculo de 3 milímetros de diámetro a partir de 1 litro de agua bombeada. La cantidad del contenido de arena debe ser registrada en la boleta de la prueba de bombeo en su respectiva columna con el registro del tiempo de la medición (ver boleta No 3 del apéndice). Debe indicarse el tamaño del grano que contiene el depósito debido a que estos son indicadores de la condición del pozo como lo son:

- Arcilla
- Légano
- Arena
- Grava fina
- Grava media
- Grava gruesa

El color del agua junto con el tiempo de observación, también debe ser registrado en las boletas.

3.10 Temperatura

Es muy importante conocer la temperatura del agua subterránea, de ello dependerá la selección de la bomba a ser instalada. La temperatura del agua bombeada será medida y registrada en la boleta de la prueba de bombeo (ver boleta No 3 en apéndice). Es suficiente medir la temperatura cerca del final de la prueba de bombeo.

3.11 Muestras de agua

La calidad del agua de un pozo es de vital importancia por lo que requiere que el agua sea clara, libre de bacterias patógenas, libre de sabores, olores, y que no sea corrosiva ni produzca incrustaciones. Son muchos los fenómenos del medio ambiente que afectan los procesos químicos del agua subterránea. La utilidad del agua subterránea se ve afectada por contenido de minerales disueltos, si alguno de estos minerales excede de la cantidad que puede tolerarse el agua debe de ser tratada. Los materiales disueltos en el agua se determinan mediante análisis de laboratorio bien definidos. Es necesario tomar muestras de agua del pozo, para el análisis químico físico y bacteriológico las que deberán hacerse periódicamente a medida que avanza el monitoreo del pozo en cada etapa. Es importante anotar en la boleta correspondiente la fecha y hora de comienzo de la limpieza del pozo, prueba de bombeo y fecha de la toma de muestras de agua.

A continuación se presentan los análisis que debe de hacerse en el monitoreo de aguas subterráneas.

3.11.1 Muestras de agua para análisis físico

Entre los análisis físicos se debe evaluar color, turbidez, sabor y olor entre otros. El color se debe a los materiales minerales u orgánicos que contiene en disolución el agua y se clasifica en partes por millón o miligramo por litro en comparación de las soluciones estándar. La turbiedad se mide como las materias en suspensión colonial que hay en el agua, tales como arcillas, silicatos, materia orgánica y organismos microscopios. El gusto y el olor pueden

provenir de bacterias, gases disueltos, material mineral o ácidos férricos, estas características se pueden determinar a través de la experiencia.

3.11.2 Muestras de agua para análisis Químico

El análisis químico sirve para evaluar las concentraciones de hidrógeno presentes en el agua determinan los sólidos y gases totales disueltos en ella.

Entre los análisis químicos se debe evaluar dureza, alcalinidad, acidez conductividad eléctrica y hierro entre otros. La dureza no afecta la calidad sanitaria del agua, pero es importante en el uso doméstico, especialmente cuando se utiliza para lavado de ropa. Al ser producida por el calcio y magnesio combinadas con iones de sulfato, cloruro o nitrato origina incrustaciones en los sistemas de tubería.

El agua satisfactoria para uso doméstico y lavado de ropa deberá contener alrededor de 50 miligramos por litro de dureza.

La alcalinidad del agua se manifiesta en su habilidad para neutralizar el ácido, contribuyen para ello los carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio y potasio. Ésta no tiene importancia sanitaria pero es muy importante con relación a procesos de coagulación y correctivos del poder corrosivo de la misma. Para medir la alcalinidad del agua se utilizan indicadores químicos como la fenolftaleína y el anaranjado de metilo, para el consumo humano la alcalinidad debe ser menor de 10 miligramos por litro.

En la mayoría de aguas subterráneas no es muy común la presencia de ácidos minerales libres, ocurre únicamente cuando el Ph se encuentra por debajo de 4.5 y se expresa generalmente en términos de una cantidad equivalente de ácido sulfúrico. Para consumo humano el valor de la acidez debe oscilar entre 7 y 8 miligramos por litro.

El agua químicamente pura posee muy baja conductividad eléctrica, pero con la adición de pequeñas cantidades de minerales disueltos, el agua se vuelve conductiva. El agua que contiene menos de 500 miligramos por litro es por lo general aceptable para uso doméstico e industrial.

El contenido de hierro en el agua es de considerable importancia, ya que aun los pequeños contenidos afectan seriamente la utilidad del agua para ciertos propósitos domésticos e industriales. Se recomienda que el contenido de hierro del agua para beber no sea mayor de 0.3 miligramos por litro, en base de que el ser humano necesita alrededor de 5 a 6 miligramos de hierro por día.

Se necesita del siguiente equipo para el análisis químico:

- Una botella de polietileno de 1 litro
- Una botella de polietileno de 0.5 litros, se le agregará, un mililitro de ácido H_2SO_4 para la conservación contra la oxidación de NH_4^- , NO_2^- , FE^{2+} .

3.11.3 Muestras de agua para el análisis bacteriológico

El análisis bacteriológico consiste en tomar una serie de muestras con el fin de ser analizadas y verificar la porción de organismos coliformes que se hayan presentes en ellas. Se necesita del siguiente equipo para trasladar el agua al laboratorio para los análisis correspondientes:

- Una botella esterilizada de 1 litro
- Una cubeta de metal con hielo
- Un marcador permanente

Debe llenarse la botella con agua subterránea del bombeo, rotularse indicando la localización, el número del pozo y la hora de la toma de muestra, luego colocarla en la cubeta con hielo y ser transportada inmediatamente al laboratorio para el análisis de bacterias y gérmenes fecales.

4. MONITOREO DE POZO APLICANDO EL MÉTODO EN EL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA.

Con el objetivo de ilustrar el método de mantenimiento de pozos por medio de aire comprimido, se realizó el monitoreo de un pozo en la colonia **Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco, Guatemala** (ver plano de localización de pozo en figura No 10 de apéndice).

Con el propósito de recopilar la mayor información posible y con la finalidad de simplificar el monitoreo de los pozos se elaboraron boletas con los datos precisos para la aplicación del **MÉTODO DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE AIRE COMPRIMIDO PARA POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA** dando como resultados los datos que a continuación se presentan.

Con los resultados obtenidos en las diferentes etapas de bombeo se pudo determinar el caudal específico o caudal máximo que rinde el pozo, así como el costo de mantenimiento y su respectivo cronograma, ver resultados a continuación. En el apéndice se muestran algunas fotografías que fueron tomadas durante el proceso de mantenimiento del pozo (ver figuras No 2 y No 9).

4.1 Nivel del agua

Figura 1. Boleta con datos iniciales del pozo

Localidad:	Bosques de San Nicolás, Zona 4 de Mixco.
Pozo No:	1
Hoja No:	1/1
Fecha:	22/04/03
Profundidad del pozo:	915 pies bajo el terreno
Nivel superior de la camisa:	1 pies sobre el terreno
Diámetro de la camisa:	8" de 0 pies hasta 915 pies bajo terreno
Diámetro del filtro:	8" de 0 pies hasta 915 pies bajo terreno
Nivel punto de referencia (PR):	2 pies sobre el terreno
Nivel estático del agua:	715 pies bajo PR
Nivel estático del agua:	713 pies sobre el terreno
Nivel instalación de la bomba:	900 pies sobre el terreno

4.2 Calidad del agua

Figura 2. Boleta con datos de la calidad del agua

MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DURANTE LA LIMPIEZA										
Localidad:		Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco		Pozo No: 1		Hoja No: 1/2				
Fecha	Hora	Sección filtro		color	Turbidez	Ph	SO4- mg/l	NO3- mg/l	Fe mg/l	Obser- vaciones
		De.pies	A.pies							
24/04/03	9.00	885	870	Negro	Obscura					
	9:30	870	855	Negro	Obscura	7.10	210	40	0.25	La calidad
	10:00	855	840	Negro	Obscura					del agua
	10:30	840	825	Negro	Obscura					está dentro
	11:00	825	810	Negro	Obscura					del rango
	11:30	810	795	Negro	Obscura					permisible
	12.00	795	780	Negro	Obscura					
	12:30	780	765	Negro	Obscura					El color y
	13.00	765	750	Negro	Obscura					la turbidez
	13.30	750	735	Negro	Obscura					están fuera
	14:00	735	720	Marrón	Clara					del rango
	14.30	720	705	Marrón	Clara					permisible
	15.00	705	690	Marrón	Clara	7.15	208	42	0.28	
25/04/03	9.00	885	870	Marrón	Clara					
	9:30	870	855	Marrón	Clara					
	10:00	855	840	Marrón	Clara					
	10:30	840	825	Marrón	Clara					
	11:00	825	810	Marrón	Clara					
	11:30	810	795	Marrón	Clara					
	12.00	795	780	Marrón	Clara					
	12:30	780	765	Marrón	Clara					
	13.00	765	750	Gris	Clara					
	13.30	750	735	Gris	Clara	7.08	200	43	0.3	La calidad
	14:00	735	720	Gris	Clara					del agua
	14.30	720	705	Gris	Clara					está dentro
	15.00	705	690	Gris	Clara					del rango
26/04/03	9.00	885	870	Gris	Clara					permisible
	9:30	870	855	Gris	Clara					

Figura 2. Boleta con datos de la calidad del agua

MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DURANTE LA LIMPIEZA											
Localidad:		Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco			Pozo No:		1		Hoja No:		2/2
Fecha	Hora	Sección filtro		color	Turbidez	Ph	SO4- mg/l	NO3- mg/l	Fe mg/l	Observaciones	
		De.pies	A.pies								
	10:00	855	840	Gris	Clara						
	10:30	840	825	Gris	Clara						
	11:00	825	810	Claro	Muy clara	7.05	200	45	0.28	La calidad del agua	
	11:30	810	795	Claro	Muy clara						
	12:00	795	780	Claro	Muy clara					está dentro	
	12:30	780	765	Claro	Muy clara					del rango	
	13:00	765	750	Claro	Muy clara					permisible	
	13:30	750	735	Claro	Muy clara						
	14:00	735	720	Claro	Muy clara						
	14:30	720	705	Claro	Muy clara						
	15:00	705	690	Claro	Muy clara	7.00	200	43	0.29	El color y	
										la turbidez	
										Están dentro	
										del rango	
										permisible	

4.3 Limpieza del pozo

Figura 3. Boleta con datos de la temperatura del agua

MONITOREO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DURANTE LA LIMPIEZA								
Localidad: Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco				Pozo No: 1	Hoja No: 1/2			
Fecha	Hora	Sección filtro		Temperatura °C	C.E. $\mu\text{s}/\text{cm}$, 20 °C	Sedimento ml/l	Observaciones	
		De.pies	A .pies					
24/04/03	9.00	885	870	20	660	0.45	En el fondo del pozo	
	9:30	870	855				existe mucho lodo	
	10:00	855	840					
	10:30	840	825					
	11:00	825	810					
	11:30	810	795					
	12.00	795	780	22	640	0.40	Hay mucho lodo y	
	12:30	780	765				sedimento	
	13.00	765	750					
	13.30	750	735					
	14:00	735	720					
	14.30	720	705					
	15.00	705	690	22	658	0.15	Hay mucho lodo y	
	25/04/03	9.00	885	870				sedimento
		9:30	870	855				
10:00		855	840					
10:30		840	825					
11:00		825	810					
11:30		810	795	21	640	0.1	Hay poco sedimento	
12.00		795	780					
12:30		780	765					
13.00		765	750					
13.30		750	735					
26/04/03	14:00	735	720					
	14.30	720	705	22	645	0.05	Hay poco sedimento	
	15.00	705	690					
	9.00	885	870					
	9:30	870	855					

Figura 3. Boleta con datos de la temperatura del agua

MONITOREO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DURANTE LA LIMPIEZA							
Localidad: Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco			Pozo No: 1	Hoja No: 2/2			
Fecha	Hora	Sección filtro		Temperatura °C	C.E. $\mu\text{s}/\text{cm}$, 20 °C	Sedimento ml/l	Observaciones
		De...m	a...m				
	10:00	855	840				
	10:30	840	825				
	11:00	825	810	21	651	<0.05	El sedimento está dentro del rango permisible
	11:30	810	795				
	12:00	795	780				
	12:30	780	765				
	13:00	765	750				
	13:30	750	735				
	14:00	735	720				
	14:30	720	705				
	15:00	705	690	22	650	<0.01	El sedimento está dentro del rango permisible

4.4 Pruebas de bombeo y desarrollo del pozo

Figura 4. Boleta con datos de la prueba de bombeo

MONITOREO DE LAS PRUEBAS DE BOMBEO									
Localidad:		Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco			Pozo No: 1		Hoja: 1/6		
Fecha	Tiempo en Horas	Etapa	Nivel Dinámico B.P.R (pies)	Abatimiento (pies)	Caudal		Ph	Fe (mg/l)	Observaciones
					l/s	m³/h			
27/04/03	0.00	1	705	0	12.40	44.64	7.1	0.35	El inicio
	0.02	1	708	3	12.40	44.64			en cada
	0.03	1	709	4	12.40	44.64			etapa es
	0.05	1	710	5	12.40	44.64			a la hora
	0.07	1	711	6	12.40	44.64			en punto
	0.08	1	712	7	12.40	44.64			
	0.10	1	713	8	12.40	44.64			
	0.12	1	714	9	12.40	44.64			
	0.13	1	715	10	12.40	44.64			
	0.15	1	716	11	12.40	44.64			
	0.17	1	717	12	12.40	44.64			
	0.20	1	718	13	12.40	44.64			
	0.23	1	719	14	12.40	44.64			
	0.27	1	720	15	12.40	44.64			
	0.30	1	721	16	12.40	44.64			
	0.33	1	722	17	12.40	44.64			
	0.42	1	723	18	12.40	44.64			
	0.50	1	724	19	12.40	44.64			
	0.67	1	724	19	12.40	44.64			
	0.83	1	725	20	12.40	44.64			
	1.00	1	725	20	12.40	44.64	7.15	0.33	
	1.25	1	725	20	12.40	44.64			
	1.50	1	726	21	12.40	44.64			
	1.75	1	726	21	12.40	44.64			
	2.00	1	726	21	12.40	44.64			
	2.25	1	726	21	12.40	44.64			
	2.50	1	726	21	12.40	44.64			

Figura 4. Boleta con datos de la prueba de bombeo

MONITOREO DE LAS PRUEBAS DE BOMBEO									
Localidad: Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco			Pozo No: 1		Hoja No: 2/6				
Fecha	Tiempo en Horas	Etapa	Nivel Dinámico B.P.R (pies)	Abatimiento (pies)	Caudal		Ph	Fe (mg/l)	Observaciones
					l/s	m³/h			
	2.75	1	726	21	12.40	44.64			
	2.95	1	726	21	12.40	44.64	7.12	0.38	
	3.00	2	728	23	18.90	68.04			
	3.03	2	730	25	18.90	68.04			
	3.05	2	732	27	18.90	68.04			
	3.07	2	734	29	18.90	68.04			
	3.08	2	736	31	18.90	68.04			
	3.10	2	738	33	18.90	68.04			
	3.12	2	740	35	18.90	68.04			
	3.13	2	741	36	18.90	68.04			
	3.15	2	742	37	18.90	68.04			
	3.17	2	743	38	18.90	68.04			
	3.25	2	744	39	18.90	68.04			
	3.33	2	745	40	18.90	68.04			
	3.58	2	746	41	18.90	68.04			
	3.83	2	747	42	18.90	68.04			
	4.50	2	748	43	18.90	68.04			
	5.00	2	748	43	18.90	68.04			
	5.50	2	749	44	18.90	68.04			
	6.00	2	749	44	18.90	68.04	7.05	0.31	La calidad
	6.50	2	750	45	18.90	68.04			del agua
	7.00	2	750	45	18.90	68.04			es aceptable
	7.50	2	750	45	18.90	68.04			
	8.00	2	750	45	18.90	68.04			
	8.50	2	750	45	18.90	68.04			
	8.85	2	750	45	18.90	68.04			
	9.00	3	752	47	25.20	90.72			

Figura 4. Boleta con datos de la prueba de bombeo

MONITOREO DE LAS PRUEBAS DE BOMBEO									
Localidad:		Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco			Pozo No: 1		Hoja: 3/6		
Fecha	Tiempo en Horas	Etapa	Nivel Dinámico B.P.R (pies)	Abatimiento (pies)	Caudal		Ph	Fe (mg/l)	Observaciones
					l/s	m³/h			
	9.03	3	754	49	25.20	90.72			
	9.05	3	756	51	25.20	90.72			
	9.07	3	758	53	25.20	90.72			
	9.08	3	760	55	25.20	90.72			
	9.10	3	762	57	25.20	90.72			
	9.12	3	764	59	25.20	90.72			
	9.13	3	766	61	25.20	90.72			
	9.15	3	767	62	25.20	90.72			
	9.17	3	768	63	25.20	90.72			
	9.25	3	769	64	25.20	90.72			
	9.33	3	770	65	25.20	90.72			
	9.50	3	771	66	25.20	90.72			
	9.67	3	772	67	25.20	90.72			
	9.83	3	773	68	25.20	90.72			
	10.00	3	774	69	25.20	90.72	7.02	0.3	
	10.50	3	775	70	25.20	90.72			
	11.00	3	776	71	25.20	90.72			
	11.50	3	777	72	25.20	90.72			
	12.00	3	778	73	25.20	90.72			
	12.50	3	779	74	25.20	90.72			
	13.00	3	779	74	25.20	90.72			
	13.50	3	780	75	25.20	90.72			
	14.00	3	780	75	25.20	90.72			
	14.50	3	780	75	25.20	90.72			
	15.00	3	780	75	25.20	90.72			
	15.50	3	780	75	25.20	90.72			
	16.00	3	780	75	25.20	90.72			

Figura 4. Boleta con datos de la prueba de bombeo

MONITOREO DE LAS PRUEBAS DE BOMBEO									
Localidad:		Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco			Pozo No: 1		Hoja: 4/6		
Fecha	Tiempo en Horas	Etapa	Nivel Dinámico B.P.R (pies)	Abatimiento (pies)	Caudal		Ph	Fe (mg/l)	Observaciones
					l/s	m ³ /h			
28 / 04 / 03	16.50	3	780	75	25.20	90.72			
	17.00	3	780	75	25.20	90.72			
	17.50	3	780	75	25.20	90.72			
	17.75	3	780	75	25.20	90.72	7.05	0.32	
	18.00	4	782	77	32.10	115.56			Se monitoréo
	18.03	4	784	79	32.10	115.56			una cuarta
	18.05	4	786	81	32.10	115.56			etapa
	18.07	4	788	83	32.10	115.56			
	18.08	4	790	85	32.10	115.56			
	18.10	4	792	87	32.10	115.56			
	18.12	4	794	89	32.10	115.56			
	18.13	4	796	91	32.10	115.56			
	18.15	4	798	93	32.10	115.56			
	18.17	4	800	95	32.10	115.56			
	18.25	4	801	96	32.10	115.56			
	18.42	4	802	97	32.10	115.56			
	18.50	4	803	98	32.10	115.56			
	18.67	4	804	99	32.10	115.56			
	18.83	4	805	100	32.10	115.56			
	19.00	4	806	101	32.10	115.56			
	19.50	4	807	102	32.10	115.56			
	20.00	4	808	103	32.10	115.56			
	20.50	4	809	104	32.10	115.56			
	21.00	4	810	105	32.10	115.56			
	21.50	4	810	105	32.10	115.56			
	22.00	4	811	106	32.10	115.56	7	0.3	
	22.50	4	811	106	32.10	115.56			

Figura 4. Boleta con datos de la prueba de bombeo

MONITOREO DE LAS PRUEBAS DE BOMBEO									
Localidad:			Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco		Pozo No: 1		Hoja: 5/6		
Fecha	Tiempo en Horas	Etapa	Nivel Dinámico B.P.R (pies)	Abatimiento (pies)	Caudal		Ph	Fe (mg/l)	Observaciones
					l/s	m ³ /h			
	23.00	4	812	107	32.10	115.56			
	23.50	4	812	107	32.10	115.56			
	24.00	4	812	107	32.10	115.56			
	24.50	4	813	108	32.10	115.56			
	25.00	4	813	108	32.10	115.56			
	25.50	4	813	108	32.10	115.56			
	26.00	4	814	109	32.10	115.56			
	26.50	4	814	109	32.10	115.56			
	27.00	4	814	109	32.10	115.56			
	27.50	4	815	110	32.10	115.56			
	28.00	4	815	110	32.10	115.56	7.06	0.32	
	28.50	4	815	110	32.10	115.56			
	29.00	4	816	111	32.10	115.56			
	29.50	4	816	111	32.10	115.56			
	30.00	4	816	111	32.10	115.56			
	30.50	4	816	111	32.10	115.56			
	31.00	4	817	112	32.10	115.56			
	31.50	4	817	112	32.10	115.56			
	32.00	4	817	112	32.10	115.56			
	32.50	4	817	112	32.10	115.56			
	32.50	4	817	112	32.10	115.56			
	33.00	4	817	112	32.10	115.56			
	33.50	4	818	113	32.10	115.56			
	34.00	4	818	113	32.10	115.56			
	34.50	4	818	113	32.10	115.56			
	35.00	4	818	113	32.10	115.56			
	35.50	4	818	113	32.10	115.56			

4.5 Recuperación del pozo

Figura 5. Boleta con datos de la recuperación del pozo

MONITOREO DE LA RECUPERACIÓN DEL POZO				
Localidad: Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco		Pozo No: 1		Hoja No: 1/2
Fecha	Tiempo de recuperación (min)	Nivel Dinámico (pies)	Abatimiento (pies)	Observaciones
30/04/03	1	819	114	Se observó la recuperación del pozo minuto a minuto hasta alcanzar el nivel estático del agua
	2	816	111	
	3	813	108	
	4	810	105	
	5	807	102	
	6	804	99	
	7	801	96	
	8	798	93	
	9	795	90	
	10	793	87	
	15	790	84	
	20	788	82	
	25	786	80	
	30	784	78	
	35	782	76	
	40	780	74	
	45	778	72	
	50	776	70	
	55	774	68	
	60	772	66	
	70	770	64	
	80	768	62	
	90	766	60	
	100	764	58	
	110	762	56	
	120	760	54	

Figura 5. Boleta con datos de la recuperación del pozo

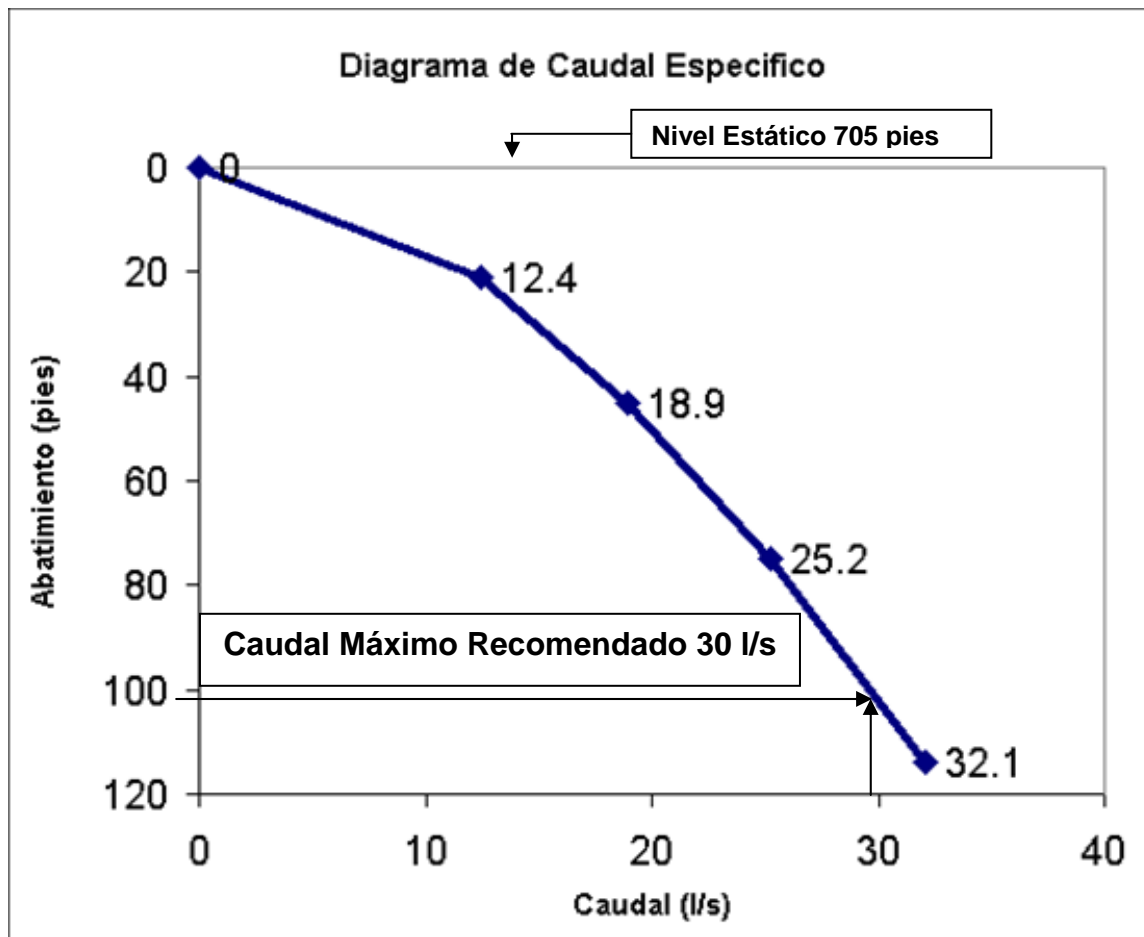
MONITOREO DE LA RECUPERACIÓN DEL POZO				
Localidad: Bosques de San Nicolás Zona 4 de Mixco		Pozo No: 1		Hoja No: 2/2
Fecha	Tiempo de recuperación (min)	Nivel Dinámico (pies)	Abatimiento (pies)	Observaciones
	130	759	53	
	140	758	52	
	150	757	51	
	160	756	50	
	175	755	49	
	190	752	46	
	205	749	43	
	220	746	40	
	235	743	37	
	255	740	34	
	275	736	30	
	295	732	26	
	315	728	22	
	335	725	19	
	360	720	14	
	385	717	11	
	410	714	8	
	435	712	6	
	460	710	4	
	490	708	2	
	520	707	1	
	550	705	0	
	580	705	0	
	610	705	0	En 12 horas se alcanzó el
	640	705	0	nivel estático del agua
	675	705	0	
	720	705	0	

Figura 7. Gráfico de caudal específico

Localidad: **Bosques de San Nicolás, Zona 4 de Mixco**
 Pozo No: **1**
 Hoja No: **1**
 Fecha: **29/04/2003**
 Nivel Estático: **705 pies**

Resultados	
Q (l/s)	S (pies)
0	0
12.4	21
18.9	45
25.2	75
32.1	114

Caudal máximo recomendado: 30 l/s



4.7 Costo de mantenimiento del pozo

Tabla I Costos unitarios

PRESUPUESTO	
Localidad	Bosques de San Nicolas, Zona 4 de Mixco
Pozo No.	1 Con profundidad de 915 pies
Fecha:	Abril - 2003

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO REGLÓN	PRECIO TOTAL
MANTENIMIENTO DE POZO	Unidad	1			Q 38,950.00
<i>LIMPIEZA, DESARROLLO Y BOMBEO</i>					
1	TRASLADO DE EQUIPO Y HERRAMIENTA	UNIDAD	1.00	Q 2,000.00	Q 2,000.00
2	MONTAJE DE EQUIPO	UNIDAD	1.00	Q 1,500.00	Q 1,500.00
3	DESARROLLO Y LIMPIEZA DEL POZO	HORA	18.00	Q 250.00	Q 4,500.00
4	PRUEBA DE BOMBEO	HORA	42.00	Q 600.00	Q 25,200.00
5	CONTROL DE MUESTRAS	UNIDAD	10.00	Q 225.00	Q 2,250.00
6	DES-MONTAJE DE EQUIPO	UNIDAD	1.00	Q 1,500.00	Q 1,500.00
7	RETIRO DE EQUIPO Y HERRAMIENTA	UNIDAD	1.00	Q 2,000.00	Q 2,000.00
					Q 38,950.00

4.8 Cronograma de mantenimiento del pozo

Tabla II Cronograma de ejecución

		DIAS	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
MANTENIMIENTO DE POZOS												
1	TRASLADO DE EQUIPO Y HERRAMIENTA		■									
2	MONTAJE DE MAQUINARIA			■								
3	DESARROLLO Y LIMPIEZA DEL POZO				■	■						
4	PRUEBA DE BOMBEO						■	■	■	■		
5	CONTROL DE MUESTRAS							■		■		
6	DESMONTAJE DE EQUIPO										■	
7	RETIRO DE EQUIPO Y HERRAMIENTA											■

4.9 Resultados del Monitoreo

Debido a que se le da mantenimiento periódico al pozo que se monitoreó, los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios, a continuación se describen los datos registrados en las boletas.

Limpieza del pozo

Inicialmente se realizó la limpieza del pozo cepillando desde el inicio hasta el fondo, con el objetivo de eliminar sedimentos y sarro que se acumula en las paredes y rejilla de la camisa del pozo debido a sustancias químicas y minerales que se encuentran dentro del agua. Luego se extrajeron los sedimentos depositados en el fondo por medio de cubeta.

Se inyectó aire por medio de un compresor con capacidad de 17 metros cúbicos por minuto para limpiar las rejillas de la camisa y las cavernas de los acuíferos, seguidamente se instaló una bomba de mayor potencia que la existente con el objetivo de succionar toda el agua del pozo.

Calidad del agua

Como puede observarse en las boletas las características físicas del agua al inicio de la limpieza fue de color obscuro y con mucho sedimento esto cambió a medida que se avanzaba, el sedimento fue menor hasta alcanzar el valor recomendable que es de 0.01 miligramo por cada litro de agua.

Debido a las características químicas del agua es inevitable detectar ciertos minerales, aunque algunos son nocivos para la salud otros cumplen con los rangos establecidos por el ministerio de salud como: Acidez, nitratos, sulfatos y hierro entre otros. Los que se encontraron con rangos permisibles para consumo humano.

Se recolectó una serie de muestras con el fin de ser analizadas en el laboratorio y verificar la porción de organismos coliformes que se hayaban presentes en el agua, dando como resultado que el agua es apta para consumo humano aunque siempre se le debe aplicar de 0.5 a 1.5 miligramo de cloro por litro.

Temperatura del agua

La temperatura es definitiva en aguas subterráneas de ello dependerá el punto de colocación de la bomba y se encuentra en rangos de 20 a 22 grados centígrados lo que es aceptable para el consumo humano y se puede colocar la bomba en cualquier punto sin peligro de que se dañe su funcionamiento.

Prueba de bombeo

Se realizaron cuatro etapas debido a que en la tercera no se encontró el flujo de estado estable. En cada etapa se sacaron muestras para determinar la calidad del agua después de la limpieza, dando como resultado el agua clara libre de sedimentos y apta para el consumo humano como puede observarse en las respectivas boletas.

Resultados de la prueba de bombeo

En registros anteriores del pozo el nivel estático se encontraba a una profundidad de 690 pies bajo el punto de referencia y la producción era de 34.5 litros por segundo.

La recuperación del pozo se realizó en 12 horas como puede observarse en el boleta No 5 y el nivel estático se encuentra a 705 pies bajo el punto de referencia. Lo que indica que en 10 años el nivel estático bajó 15 pies.

En los resultados de la prueba de bombeo en boleta No 6 puede observarse que en la cuarta etapa se monitoreó 24 horas para encontrar el flujo de estado estable y que el rebajamiento total fue de 114 pies.

Caudal específico

En el gráfico de caudal específico se puede observar que el caudal máximo que se puede extraer del pozo sin peligro de agotarlo es de 30 litros por segundo. En datos registrados en el año 1993 el pozo producía un caudal de 34.5 litros por segundo lo que indica que en 10 años, aproximadamente, el pozo ha dejado de producir 4.5 litros por segundo debido a una diversidad de factores.

Costo de mantenimiento

La determinación del costo de mantenimiento se realizó por medio de costos unitarios de cada renglón, el cual incluye materiales, mano de obra, maquinaria, equipo, herramienta y transporte de materiales (ver figura de camiones que transportaron los materiales al lugar de trabajo) ello dio como resultado un costo unitario de Q42.50 por pie de limpieza y desarrollo del pozo.

Cronograma

El cronograma de ejecución se realizó sobre la base de todos los renglones de trabajo ejecutados, el que da como resultado de 5 días de trabajo incluyendo traslado y colocación de equipo y maquinaria.

CONCLUSIONES

1. El agua subterránea como fuente de abastecimiento puede ser prácticamente infinita, pero como todo recurso natural, debe ser explotado en forma racional y dentro de los límites establecidos por la naturaleza para su renovación y purificación.
2. Con el mantenimiento periódico que se aplique a los pozos de agua subterránea, se podrá solucionar los problemas de sedimentación de materiales finos y lodos en el fondo, así como la corrosión en la rejilla de la camisa, que impida la libre circulación del agua en el pozo.
3. Los registros de la profundidad, hora y fecha de la toma de muestras para los análisis físico-químicos son importantes ya que de ello depende que se coloque la bomba en un lugar donde el agua tenga la menor cantidad de minerales que dañe el funcionamiento de la misma.
4. La duración de cada etapa del bombeo escalonado depende de cuánto se tarde en alcanzar el flujo de estado estable. La última etapa de la prueba es la más importante, debido a que en ella se determina la explotación máxima permisible del pozo.
5. Con las boletas propuestas en el apéndice, se puede obtener un mejor control al momento de la toma de muestras en el monitoreo de pozos de agua subterránea.

RECOMENDACIONES

1. La limpieza de los pozos debe realizarse una vez por año, debido a que algunos minerales que se encuentran en el agua tienden a desarrollar incrustaciones en las rejillas de la camisa del pozo, lo que obstaculiza la producción del acuífero.
2. El desarrollo de los pozos y las pruebas de bombeo se debe realizar cada 5 años debido a que la eficiencia de la bomba dura aproximadamente ese mismo tiempo.
3. Se debe colocar el sello sanitario a cien pies debajo del punto de referencia para evitar infiltración de aguas contaminadas y que con ello se contamine el acuífero.
4. La bomba debe ser instalada en una sección de la camisa de tubería ciega y no en la sección del filtro para evitar la absorción de sólidos que puedan dañar su funcionamiento.
5. Antes de iniciar la limpieza del pozo con aire comprimido, es necesario cepillar para remover el sarro de las rejillas y paredes de la camisa, el cepillo deberá ser de dientes de metal y el diámetro igual al del pozo.

6. Antes de extraer agua o sedimentos del pozo, debe de introducirse aire a presión durante 5 minutos, para comprobar que la rejilla está parcialmente abierta y que el agua del acuífero está entrando al pozo, esto con el objetivo de evitar que se produzcan excesivas diferencias de presiones, durante la agitación o las operaciones de oleada o vaivén.
7. La última es la más importante de las etapas de bombeo, para determinar la capacidad del pozo. El estado de flujo estable se debe de alcanzar durante 3 horas.
8. Para dar por concluido el proceso de limpieza se debe verificar que la profundidad del pozo al inicio de la limpieza, sea menor a la obtenida durante el proceso.
9. La bomba debe instalarse en la sección de la camisa y no en la sección del filtro con el objetivo de evitar la absorción de arena que dañe la misma.

BIBLIOGRAFÍA

1. Beber, María Rebeca. **Características del agua subterránea y su utilización.** Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2001. 135 pp.
2. Figueroa Caballeros, Mario Rene. **Explotación de aguas subterráneas su operación control y mantenimiento.** Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1990. 120 pp.
3. <http://www.cepis.ops.oms.org>. **Guía para el diseño, construcción y operación de desechos sólidos.**
4. Pedro Manuel, Valentín. **Descripción de los métodos más comunes de perforación de pozos para abastecimiento de agua.** Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2001. 130 pp.
5. Vélez Mathurin, Juan Carlos. **Óptimo Equipamiento de pozos mecánicos para la explotación de agua subterránea de acuerdo a su requerimiento.** Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2000. 126 pp.
6. Kreditanstalt Fur, Wiederaufbau. **Limpieza, desarrollo y aforo de pozos,** Manual (KFW, INFOM) Agosto del 2,001. 50 pp.

APÉNDICE

Boleta No 1

BOLETA CON DATOS INICIALES DEL POZO

Localidad: _____

Pozo No: _____

Hoja No: _____

Fecha: _____

Profundidad del pozo: _____

Nivel superior de la camisa: _____

Diámetro de la camisa: _____

Diámetro del filtro: _____

Nivel del punto de referencia (PR): _____

Nivel estático del agua: _____

Nivel estático del agua: _____

Nivel de la instalación de la bomba: _____

Boleta No 6

MONITOREO DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE BOMBEO

Localidad:

Pozo No:

Hoja No:

Etapa	Caudal (m ³ /h)	Nivel dinámico debajo del terreno (pies)	Rebajamiento (pies)	Duración de la etapa (h)	Contenido de arena en ml/litro			Observaciones
					10 (min)	15 (min)	20 (min)	

Figura 8. Camión para transportar la grúa hacia el lugar de trabajo



Figura 9. Limpieza del pozo por medio de aire comprimido en área de trabajo



Figura 10. Compresor de 17 metros cúbicos por minuto



Figura 11. Tanque de distribución hacia donde se bombea el agua del pozo monitoreado



Figura 12. Camión para transportar equipo de limpieza de pozos hacia el lugar de trabajo



Figura 13. Camión para transportar equipo de bombeo hacia el lugar de trabajo



Figura 14. Instalación típica del método de la línea de aire para medir los niveles de agua en el pozo

ELEMENTOS PRINCIPALES

1. Manómetro
2. Inyección de aire
3. Tubo línea de aire
4. Motor
5. Ademe del pozo
6. Nivel de agua
7. Tubería de bomba
8. Tazones de succión
9. Succión

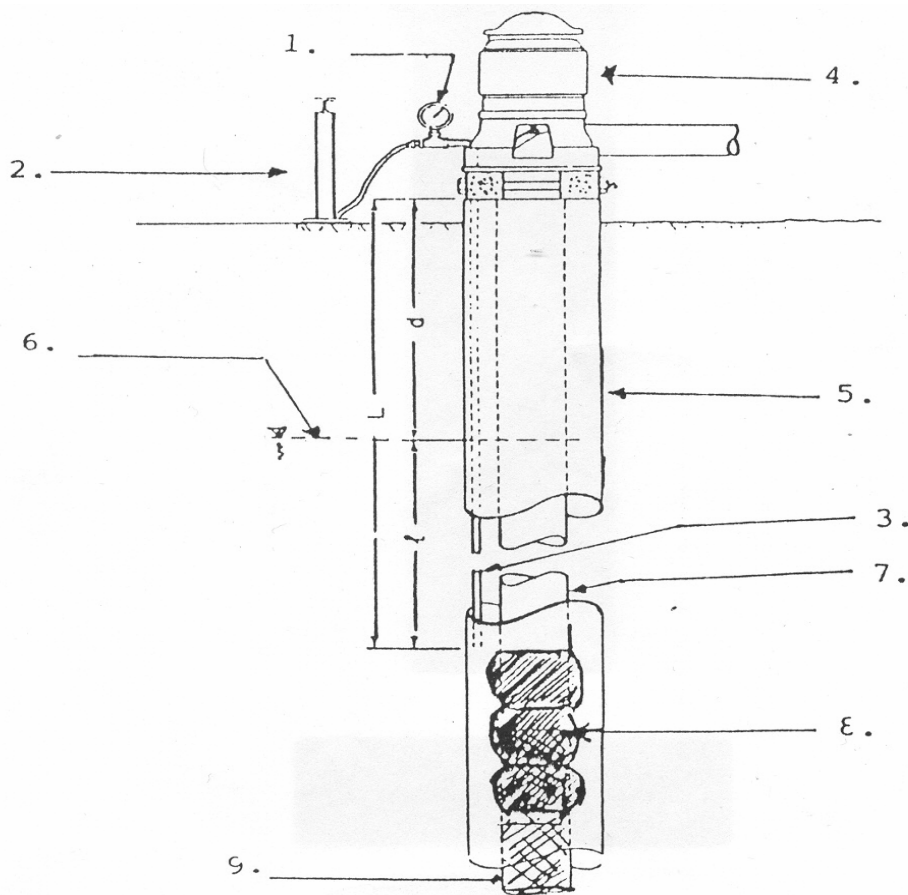


Figura 15. Sonda eléctrica que sirve para medir el nivel estático del agua

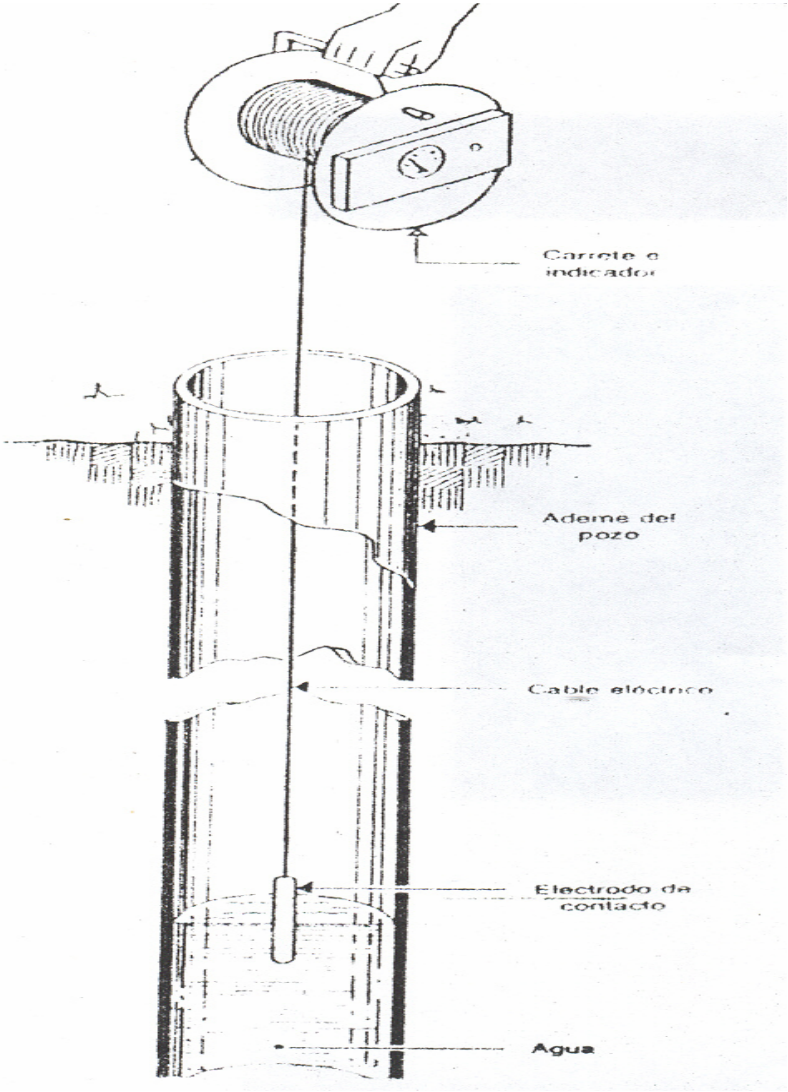


Figura 16. Manejo de equipo para limpieza de pozos en el área de trabajo



Figura 17. Plano de localización del pozo que se monitoreo

