



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ARAGON"**

**"MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN  
DE POZOS DE AGUA POTABLE"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE:

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :**

**ESTELA TAPIA MEJIA**

DIRECTOR: M. EN I. PATROCINIO ARROYO HERNANDEZ

San Juan de Aragón, Edo. de México septiembre de 2008





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECCIÓN

ESTELA TAPIA MEJIA  
**Presente**

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Facultad, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO: "MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS DE AGUA POTABLE"

ASESOR: M. en I. PATROCINIO ARROYO HERNÁNDEZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.


Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 6 de junio de 2008.

LA DIRECTORA

  
ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



  
C p Secretaría Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/

*EL LÍMITE DE NUESTRAS REALIZACIONES SON LAS DUDAS DE HOY,  
VÉNCELAS Y LLEGARAS DONDE QUIERAS*

*IN MEMORIA DE MI PADRE (q.e.p.d)*

*Quien gracias a sus consejos he cristalizado un sueño que el deseaba el estudiar la carrera que el quería y con quien me hubiera gustado compartir.*

*A MI MADRE*

*Gracias por darme la mejor herencia que son mis estudios, por tus consejos, la educación, la confianza y sacrificios, depositados en mí.*

*A MIS HERMANOS*

*Gracias por ser el ejemplo a seguir, por siempre alentarme para superarme para llegar a ser lo que ahora soy. Por todo el apoyo que me han brindado en todo momento. Ya que ustedes son los mejores amigos que se encuentran viviendo conmigo. Siendo orgullosamente universitarios.*

*A MIS PROFESORES*

*Que me aportaron sus conocimientos y experiencias para mi formación profesional.*

*AL M. EN I. PATROCINIO ARROYO  
HERNANDEZ*

*Gracias por su apoyo y apertura brindada a las ideas que siempre le manifiesto, su profesionalismo, entrega y dedicación que el día de hoy me ofrece la oportunidad de continuar adelante en mi camino profesional.*

*A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE  
GENERACIÓN 2003-2007*

*Quienes siempre han estado conmigo cuando mas los he necesitado, por su amistad, apoyo y cariño. Por tal motivo deben de tomar en cuenta que si no vivimos plenamente el presente, en un abrir y cerrar de ojos, la vida se nos habrá escapado.*

*EL TRIUNFO NO ES UNA META, SINO EL ESTADO DE AQUEL QUE BUSCA  
HACER ALGO MEJOR CADA DÍA DE SU VIDA.*

*A LA FES "ARAGÓN"*

*La que me cobijo durante los últimos cinco años de mi trayectoria  
estudiantil, tú que nos ha llevado hasta donde cada uno de  
nosotros el día de hoy nos encontramos, por que en ti se han  
realizado y realizaran nuestros más grandes y anheladas metas  
estudiantiles al máximo nivel profesional culminando este día con  
un titulo que nos llena de un inmenso orgullo y satisfacción.*

*Fue en tus aulas donde hallamos la sabiduría del aprendizaje, el  
calor de la amistad, el valor de los verdaderos amigos, el coraje de  
luchar, el carácter para alcanzar nuestros objetivos y donde  
pasamos momentos inolvidables,....*

*A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
MÉXICO*

*Quien nos formo y lleno de conocimientos para ser mejores  
cada día en nuestra vida, pues la educación es el mejor regalo  
o herencia que puede tener un ser humano, "por que saber es  
poder" y juntos podemos transformar el futuro de México.*

*A LA EMPRESA ALLDATA S.A de C.V*

*Gracias por brindarme la oportunidad de adquirir  
experiencia y estimularme en todo momento para la  
realización de esta tesis.*

*A PERFORACIONES Y SERVICIO SAN DIEGO S.A de C.V.*

*Por darme parte de su apremiado tiempo para proporcionarme la  
información requerida para la realización de esta tesis.*

## ÍNDICE

Introducción.

Objetivo.

Alcances.

### **I. CONSIDERACIONES GENERALES.**

1.1 ASPECTO HISTÓRICO.

1.2 ASPECTO HIDROLÓGICO.

1.3 ASPECTO HIDRÁULICO.

1.4 SITUACIÓN ACTUAL EN MÉXICO.

1.5 CALIDAD DEL AGUA.

### **II. PARAMETROS INDICATIVOS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE POZOS.**

2.1 ORIGEN DE LA EFICIENCIA DE LOS POZOS.

2.1.1. Aspectos de diseño.

2.1.2. Aspectos Constructivos.

2.1.3. Aspectos operacionales.

### **III. MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS.**

3.1 EN ADEMES ROTOS, COLAPSADOS O MAL SOLDADOS.

3.1.1. Reparación de ademes colapsados.

3.1.2. Reparación de rotos.

3.2 CEMENTACIONES.

3.2.1. Tapones de fondo.

3.2.2. Cementaciones intermedias.

3.2.3. Composición de la lechada.

3.3 CEPILLADO DE ADEME.

3.4 SONAR JET.

3.5 COLOCACIÓN DE FALSOS ADEMES.

3.5.1. Falsos ademes en pozos con ademes rotos.

3.5.2. Falsos ademes en pozos con productores de arena.

- 3.6 COLOCACIÓN DE CAMISAS.**
- 3.7 DETERMINACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL POZO.**
  - 3.7.1. Bloques impresores.
  - 3.7.2. Calibración de pozos.
  - 3.7.3. Registro de video.
  - 3.7.4. Registro de verticalidad.
- 3.8 REPARACIÓN DE LA BOMBA DEL POZO.**
- 3.9 PESCAS.**
  - 3.9.1. Bloque de impresión.
- 3.10 PRENSA HIDRÁULICA.**
- 3.11 PROFUNDIZACIÓN DEL POZO.**
- 3.12 REPOSICIÓN DE FILTRO GRANULAR.**
- 3.13 VERIFICACIÓN DE LA REHABILITACIÓN.**
  - 3.13.1. Aforo de pozos.
- 3.14 DESARROLLO DE POZOS.**
  - 3.14.1. Métodos de desarrollo químico.
  - 3.14.2. Métodos de desarrollo físico.

#### **IV. METODOLOGÍA PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS.**

- 4.1. METODOLOGÍA.

#### **V. CASO DE ESTUDIO.**

- 5.1. REHABILITACIÓN DEL POZO “SAN BARTOLO”, UBICADO EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

#### **CONCLUSIONES**

**ANEXOS (de aforo).**

**BIBLIOGRAFÍA.**

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua dulce es uno de los grandes problemas que se plantean hoy en el mundo y en algunos aspectos el principal, por lo que las dificultades relacionadas con ello afectan la vida de muchos millones de personas.

Durante los próximos 50 años los problemas relacionados con la falta de agua o la contaminación de masas de agua, afectarán prácticamente a todos los habitantes del planeta.

Las regiones del mundo que sufren escasez de agua siguen creciendo en superficie y cantidad. Lo que preocupa es que esa población exige cada vez más agua y este recurso finito debe satisfacer también las necesidades de todas las demás formas de vida. El resultado podría ser parte de una serie de desastres locales, regionales y de enfrentamientos que introduciría una crisis de trascendencia mundial.

Existen 1000 millones de personas que aún carecen de acceso a agua apta para el consumo humano y 2800 millones que tienen que vivir sin saneamiento adecuado. Pese a que se ha realizado cuantiosas inversiones, con frecuencia la calidad y la fiabilidad de los servicios tienen niveles inaceptablemente bajos.

Con todo lo anterior mencionado se deberá tener mucho cuidado con el agua subterránea, ya que su sobreexplotación mediante pozos ocasiona el abatimiento de los niveles freáticos, el hundimiento del terreno y provoca que se tengan que perforar pozos cada vez más profundos para extraer el agua.

Es importante mencionar, que debe de mantenerse al pozo en condiciones aceptables de operación y cuando por alguna razón, estos pierden eficiencia, es necesario primero pensar en técnicas de rehabilitación modernas y con ello recuperar esta obra en la medida de lo posible. Como caso extrema, si el pozo esta muy dañado, entonces se recurre a perforar una nuevo.



De acuerdo con lo anterior, en esta investigación se tratan las técnicas básicas de rehabilitación y mantenimiento de pozos de agua, debido a que los costos por dichas maniobras son mucho menores comparados con la perforación de un nuevo pozo, sin embargo, en la práctica se ha observado que un buen porcentaje de usuarios opta por su construcción, pero sobre todo por desconocimiento de las técnicas de rehabilitación, además caber preguntarse ¿qué pasaría con el otro pozo?, es obvio que lo dejarían sin tomarlo en cuenta. Este es el principal motivo de este trabajo, es decir, para que se den una idea de que un pozo todavía se puede salvar y darle el mantenimiento adecuado a un bajo costo en poco tiempo.

### **OBJETIVO**

Documentar las técnicas modernas existentes para la rehabilitación de pozos.

### **ALCANCES**

Para dar cumplimiento al objetivo propuesto, este estudio esta compuesto como se indica a continuación:

En el primer capítulo, se inicia con una breve explicación del inicio de los pozos, y se da una definición del ciclo hidrológico del agua y su calidad ya que es un elemento esencial para los procesos de la vida vegetal, animal y sobre todo para el ser humano, también se menciona la situación actual de la que ha incrementado en los últimos años la sobreexplotación de los Acuíferos.

Para que un pozo, tenga una eficiencia dependen de las características de los acuíferos y del sistema de bombeo las cuales se comentan abreviadamente en el segundo capítulo. Pero con ello surgen varios grupos que dejan deficiencias en su construcción no teniendo condiciones óptimas, las cuales son mencionadas con algunas soluciones que se le puede dar, pero que se comentarán en el siguiente capítulo.

El tercer capítulo trata una descripción de los diferentes métodos que podemos seguir para rehabilitar un pozo, debo aclarar que el desarrollo y aforo forman parte de la rehabilitación pero no todos lo hacen, por lo que solo se comentará muy brevemente, desarrollándose mejor cuando es un pozo nuevo. Estos métodos se dieron por las causas que se explicaron en el capítulo anterior.

Se detalla en el cuarto capítulo, el procedimiento que se debe de seguir para realizar una buena rehabilitación de un pozo.

Finalmente en el quinto capítulo se aplica lo expuesto en los capítulos anteriores, analizando un caso de estudio que consiste en todo el procedimiento de la rehabilitación del pozo San Bartolo.

**CAPITULO**

**I**

## **I. CONSIDERACIONES GENERALES.**

### **1.1 Aspecto histórico.**

Desde tiempos antiguos el hombre ha complementado con el uso del agua subterránea, la satisfacción de sus necesidades domésticas, industriales, agrícolas, etc., sin comprender su origen, existencia y movimiento dentro del suelo. Dicho complemento ha sido posible gracias a la extracción del agua del subsuelo, mediante la construcción de pozos, que tienen como orígenes más remotos a los Egipcios alrededor del año 3000 a.c., pero su aplicación estuvo limitada a la explotación de las canteras y alrededor del año 2100 a.c., en la onceava Dinastía, un líder declaró haber perforado 14 pozos con un ejército de 3000 hombres. Cuatro siglos después, empleaban poleas para elevar agua del pozo.

En las regiones secas de Asia, la falta de escasez de agua superficial, el incremento de la población y el predominio de la agricultura; tuvieron como resultado el desarrollo de pozos y galerías de captación. En el cercano Oriente se empleó el trabajo del hombre y animal para la construcción de pozos utilizando grúas primitivas y herramientas de mano, lo que dificultaba las labores constructivas, sin embargo, se construyeron numerosos pozos profundos.

Los Chinos de la Antigüedad, conocidos por sus grandes inventos, desarrollaron pozos de asombrosas profundidades con un sistema de perforación a percusión con principio idéntico al actual, esta máquina primitiva estaba hecha de madera y era movida por el hombre; sin duda, la velocidad de la perforación era muy lenta pero su vida útil era muy larga, aunque estas perforaciones profundas no fueron exactamente para la extracción de agua sino para salmuera y gas. Sus métodos de percusión nunca fueron igualados, en su momento, por las técnicas de la Europa Occidental.

Se tiene como antecedente, que la primer obra realizada en las captaciones de aguas subterráneas de los pueblos antiguos, fue la construcción de largas galerías colectoras poco profundas para el agua de infiltración, la cual drenaba el agua de los conos aluviales y de las rocas sedimentarias blandas, de esta forma empezó a perfeccionarse la construcción de varios pozos con diferentes profundidades y tipos de perforación. Esta práctica se extendió por el mundo y actualmente todavía existen algunas en Irán y Afganistán, además en estos lugares se han aprovechado los conocimientos adquiridos en las perforaciones de gas y petróleo.

El progreso más espectacular en las técnicas de perforación, fue el desarrollo de los métodos de rotación, en los que la estabilidad de las paredes del pozo, se logra mediante el empleo de tuberías de revestimiento. Posteriormente, cobro importancia el uso de lodos para tal efecto.

Actualmente el desarrollo de la ciencia y de los avances tecnológicos en este campo han permitido la aplicación de bombas sumergibles y de tipo turbina vertical, logrando que los pozos sean cada vez más profundos, de mayor diámetro, con mayor vida útil, lo que proporciona la transformación de regiones agrícolas en zonas de regadío muy prosperas, así como la utilización del agua para la actividad humana y como consecuencia, se tiene un incremento en su demanda.

## **1.2. Aspecto Hidrológico.**

### **El Ciclo Hidrológico**

El funcionamiento de un pozo para abastecimiento de agua potable, esta fuertemente influenciado por el **ciclo hidrológico**, razón por la que iniciaremos por su descripción y se resaltara la parte del agua subterránea, la cual es la responsable de dicho rendimiento.

Al proceso continuo que describe la ubicación y el movimiento del agua en nuestro planeta, se le llama ciclo hidrológico, se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua en sus diferentes estados (líquido, gaseoso y

sólido), de un punto del planeta a otro, debido principalmente a la acción de la energía solar y la fuerza de gravedad, de tal manera que una partícula de agua evaporada del océano “vuelve al océano”, después de pasar por una serie de etapas que comprenden la precipitación, el escurrimiento superficial y/o subterráneo. A continuación se expone de manera breve las fases del ciclo hidrológico, de acuerdo con la figura 1, y por ser un ciclo su descripción puede iniciar en cualquier fase.

- ◆ *Evaporación.* Tiene su origen en las grandes superficies líquidas como lagos, mares y océanos, donde la radiación solar favorece la formación continua de vapor de agua, el cual es menos denso que el aire y por lo tanto asciende a capas más altas de la atmósfera, donde se enfría y se condensa formando nubes.

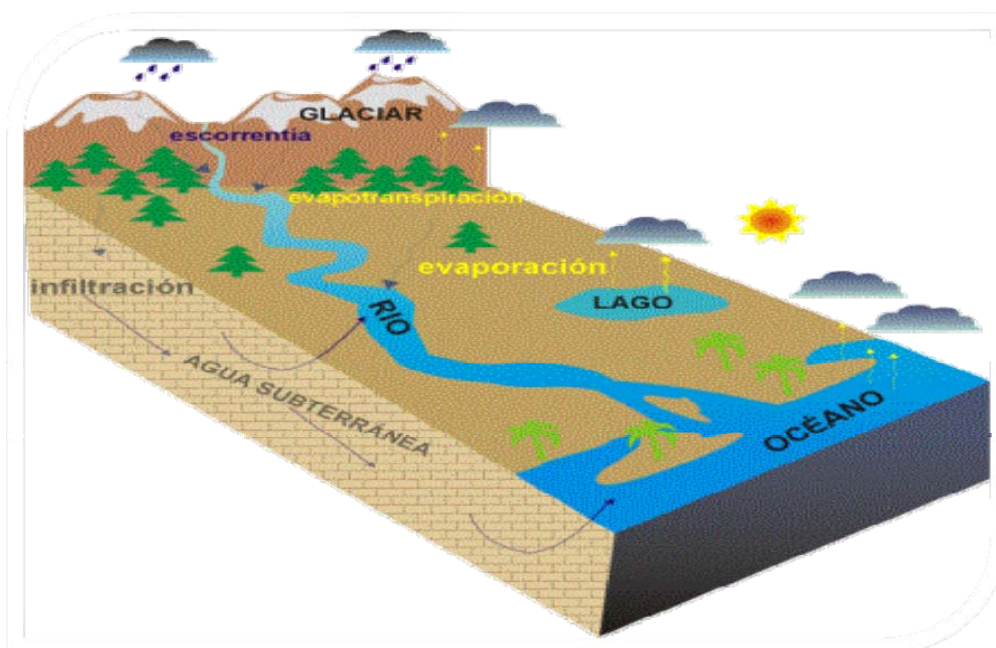


Figura 1.- Fases que componen el ciclo hidrológico

- ◆ *Precipitación.* Se conoce así a la formación de gotas, originadas por la condensación de las partículas de agua que integran las nubes con un tamaño superior a 0,1 mm y que como consecuencia de la acción de la gravedad, comienzan a descender dando lugar a la lluvia, granizo o nieve.

- ◆ *Retención.* Es el agua precipitada y que retorna nuevamente a la atmósfera en forma de vapor, ya que una parte se evapora en su recorrido hacia la superficie terrestre, y otra al ser interceptada por la vegetación, los edificios, las carreteras, entre otros queda retenida en almacenamientos superficiales como charcas.
- ◆ *Escorrentamiento superficial.* Es una parte del agua precipitada que alcanza la superficie terrestre y circula sobre ella concentrada en pequeños cursos de agua, que luego se reúnen en arroyos y más tarde desembocan en los ríos. Esta agua que circula superficialmente irá a parar a lagos o al mar, donde una parte se evaporará y otra se infiltrará en el terreno.
- ◆ *Infiltración.* Es otra parte de la precipitación que logra penetrar la superficie del terreno a través de los poros y fisuras del suelo o las rocas, saturando de agua el medio poroso.
- ◆ *Evapotranspiración.* En las formaciones geológicas existe una parte superficial cuyos poros no están saturados en agua, y se denomina “zona no saturada”, y una parte inferior saturada en agua, denominada “zona saturada”. Una parte del agua infiltrada nunca llega a la zona saturada sino que es interceptada en la zona no saturada en donde parte de esta agua se evapora y vuelve a la atmósfera en forma de vapor, y la otra parte, se consume en la “transpiración” de las plantas. Los fenómenos de evaporación y transpiración en la zona no saturada son difíciles de separar, es por ello que se utiliza el término “evapotranspiración” para englobar ambos términos.
- ◆ *Escorrentamiento subterráneo.* El agua que desciende, por gravedad-percolación y alcanza la zona saturada constituye la “recarga de agua subterránea. El agua subterránea puede volver a la atmósfera por evapotranspiración cuando el nivel saturado queda próximo a la superficie del terreno. Otras veces, se produce la descarga de las aguas subterráneas en los ríos, incrementando su caudal, y surgiendo directamente en el cauce o a través de manantiales, también es probable la descarga directa en el mar, u otras grandes superficies de agua, cerrándose así el ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es un proceso continuo pero irregular en el espacio y en el tiempo, en el que una gota de lluvia puede recorrer todo el ciclo o una parte de él.

Es importante señalar, que la acción del hombre introduciendo cambios en algunas regiones al desecar zonas pantanosas, al modificar el régimen de los ríos, al construir embalses, alterará una parte del ciclo, cambiando el ciclo entero para esa región.

Otros beneficios del ciclo hidrológico a parte de transferir vapor de agua desde la superficie de la Tierra a la atmósfera, es que ayuda a mantener la superficie de la Tierra más fría y la atmósfera más caliente. Además juega un papel de vital importancia: permite dulcificar las temperaturas y precipitaciones de diferentes zonas del planeta, intercambiando calor y humedad entre puntos en ocasiones muy alejados.

Es de observarse que las tasas de renovación del agua, o tiempo de residencia medio, en cada una de las fases del ciclo hidrológico no son iguales. Por ejemplo, el agua de los océanos se renueva lentamente, una vez cada 3,000 años, en cambio el vapor atmosférico lo hace rápidamente, cada 10 días aproximadamente.

De todas las fases descritas anteriormente, la más relevante para el desarrollo de esta investigación es al agua subterránea, que se tratara a detalle a continuación.

### **Agua Subterránea.**

Esta se encuentra en el interior de poros entre partículas sedimentarias y en las fisuras de las rocas más sólidas. En general mantiene una temperatura muy similar al promedio anual en la zona. El agua subterránea más profunda puede permanecer oculta durante miles o millones de años. No obstante, la mayor parte de los yacimientos están a poca profundidad y desempeñan un papel discreto pero constante dentro del ciclo hidrológico.



El proceso mediante el cual se incrementa el volumen de agua subterránea se conoce como recarga, la cual ocurre principalmente en época de lluvias y así puede aparecer en la superficie en forma de manantiales, y puede ser extraída mediante pozos. En tiempos de sequía, puede servir para mantener el flujo de agua superficial, pero incluso cuando no hay escasez.

El agua subterránea muestra en su utilización algunas importantes razones que la hacen más preferible como:

- ➡ Esta completamente libre de organismos patógenos y no necesita purificación para usos domésticos.
- ➡ La temperatura es prácticamente constante, lo cual es una gran ventaja.
- ➡ La turbidez y el color están generalmente ausentes.
- ➡ La composición química es comúnmente constante.

La movilidad del agua subterránea depende del tipo de rocas o litología dominante en cada lugar. Las capas permeables saturadas capaces de aportar un suministro útil de agua son conocidas como acuíferos, estos son formaciones geológicas cuyas estructuras permiten que fluyan por ellas, cantidades apreciables de agua, en las condiciones naturales normales.

El agua que satura los acuíferos y que pueden extraerse por gravedad o mediante dispositivos mecánicos, se denomina almacenamiento subterráneo y se divide en 2 partes:

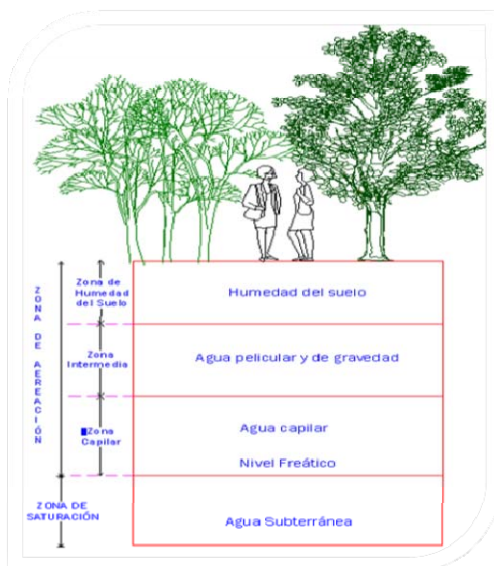
- ⊕ Almacenamiento renovable: Es la porción de almacenamiento utilizada en la explotación de agua subterránea, equivalente a las fluctuaciones en la recarga.
- ⊕ Almacenamiento irrenovable: Es la parte restante de almacenamiento, que solamente debería explotarse temporalmente, en casos especiales.

Suelen estar formados por arenas, gravas, calizas o basaltos. Otras capas, como las arcillas, pizarras, morrenas glaciares y limos tienden a reducir el flujo del agua subterránea.

Las rocas impermeables son llamadas acuífugas, o rocas basamentarias. En zonas permeables, la capa o zona límite de la superficie de saturación de agua se llama nivel freático.

Sobre este nivel se encuentra la zona de aireación, cuya capa más inmediata al nivel freático se denomina franja capilar, ya que en ella el agua se mueve por capilaridad, de forma que existen movimientos ascendentes de agua en sentido contrario a la fuerza de la gravedad. Sobre la franja capilar, en la zona de aireación, se encuentra la zona intermedia o de agua vadosa, donde el movimiento de agua se produce por gravedad, y es descendente.

Evidentemente, en función de la cantidad de agua existente en el acuífero, la zona de saturación y, consecuentemente, la capa freática oscilan en nivel, alcanzando en ocasiones zonas superficiales donde descargan dando lugar a charcas, lagunas o aguas corrientes. En lugares muy poblados o zonas áridas muy irrigadas se extrae agua del subsuelo de forma continuada y en grandes cantidades, el nivel freático puede descender con gran rapidez ya que la velocidad de extracción es mayor que la recarga, haciendo imposible acceder a él, aún recurriendo a pozos muy profundos.



**Figura 2.- Zonas de Aireación y de Saturación.**

### 1.2.3. Regiones hidrológicas.

La unidad básica para el manejo del agua es la cuenca hidrológica, en la cual se considera la forma en la que escurre el agua en la superficie (cuencas hidrográficas) y en el subsuelo (acuíferos). El país se encuentra agrupado en 37 regiones hidrológicas, donde se muestra la ubicación de las regiones hidrológicas, ver figura 3 y en la tabla No. 1 se desglosan dichas regiones hidrológicas.



Figura 3.- Principales regiones hidrológicas.

Tabla No.1 Principales Regiones Hidrológicas		
1.-B. C. Centro Oeste	2.-B. C. Centro-Oeste	3.-B. C. Suroeste
4.-B. C. Noreste	5.-B. C. Centro-Este	6.-B. C. Centro-Este
7.-B. C. Sureste	8.-Río Colorado	9.-Sonora Norte
10.-Sonora Sur	11.-Sinaloa	12.-Presidio-San Pedro
13.-Lerma-Santiago	14.-Río Huicicila	15.-Río Ameca
16.-Costa de Jalisco	17.-Armería-Coahuayana	18.-Costa de Michoacán
19.-Balsas	20.-Costa Grande de Guerrero	21.-Costa Chica de Guerrero
22.-Costa de Oaxaca	23.-Tehuantepec	24.-Costa de Chiapas
25.-Bravo-Conchos	26.-San Fernando-Soto La	27.-Pánuco
28.-Norte de Veracruz (Ríos Tuxpán-Nautla)	29.-Coatzacoalcos	30.-Grijalva-Usumacinta
31.-Yucatán Oeste	32.-Yucatán Norte	33.-Yucatán Este
34.-Cuencas Cerradas del Norte	35.-Mapimí	36.-Nazas-Aguanaval
37.-El Salada		

### **1.3. Aspecto Hidráulico.**

Un pozo es una estructura hidráulica que permite efectuar la extracción económica del agua de una formación acuífera, para conseguir este propósito, debe tomarse en cuenta lo siguiente:

- ◆ Los principios de la hidráulica para el análisis del pozo y el comportamiento del acuífero.
- ◆ Las condiciones geológicas al perforar y construir el pozo.
- ◆ La elección de los materiales que garanticen una larga duración a la estructura.

Es indispensable que quien diseña, construye y rehabilita los pozos, conozca los fundamentos de la hidráulica en los que se basa su comportamiento, por lo que se expondrán a continuación sus parámetros más importantes.

El flujo a través de los acuíferos con una porosidad natural promedio, puede ser estimado utilizando la Ley de Darcy, que junto con la ecuación de continuidad pueden determinar las ecuaciones de flujo subterráneo.

En las ecuaciones de flujo subterráneo la permeabilidad es una constante muy importante que puede ser estimada en el laboratorio o con pruebas de campo. Los principios hidráulicos que gobiernan el comportamiento del agua en su estado natural, que invariablemente esta en movimiento, se explican a continuación.

#### **❖ POROSIDAD**

El agua tiende naturalmente a descender a las profundidades del suelo por acción de gravedad, buscando siempre un equilibrio hacia un nivel de base geohidrológico, pero para que esto se realice, es necesario que exista determinada porosidad en el suelo o en las formaciones geológicas.

El espacio pequeñísimo, invisible a simple vista tienen el poder absoluto de la absorción de agua es una porosidad en un terreno.

La relación entre el volumen de los espacios vacíos y el volumen total del terreno considerado, presenta la capacidad de retención de agua de ese terreno.

Matemáticamente se tiene:  $p = \frac{W}{V} 100$       FORMULA (1)

V= Volumen total de la muestra (L<sup>3</sup>).

W= Volumen de los vacíos (volumen de agua que satura la muestra) (L<sup>3</sup>).

Cuando en una porción de una roca o suelo que no es ocupada por materiales minerales sólidos, puede ser ocupada por aguas subterráneas y a estos espacios que tienen gran importancia se conocen como huecos, intersticios, poros o espacios de poro, debido a que estos pueden actuar como conductos para el agua; físicamente ellos se caracterizan por su medida, forma, irregularidades y distribución.

En una roca se distinguen diferentes tipos de intersticios los primarios que se forman al mismo tiempo que la roca (espacios producidos por la sedimentación y los vacíos) y los secundarios (que aparecen después de la sedimentación y son producidos por fenómenos tectónicos, químicos y físicos). Con respecto a su medida, se clasifican como capilares, supercapilares y subcapilares y de acuerdo a su tipo de conexión pueden ser comunicativos o aislados y es de ahí su habilidad de transmisibilidad.

#### ❖ PERMEABILIDAD

Propiedad que permite el paso del agua a través de la masa de la roca. Si los poros son demasiados finos, el poder de retención resulta superior al de percolación y el terreno es prácticamente impermeable, sus unidades son la velocidad y su medida es la del caudal que pasa por una sección unitaria del acuífero bajo un gradiente unitario. Se pueden distinguir las rocas incoherentes (aquellos materiales de suelos que no presenta compacidad) y las rocas coherentes. Cuantitativamente se evalúa por un coeficiente K el cual depende de la forma del material, de los elementos del suelo y su granulometría, de la constitución petrográfica, de la estructura o acomodo y de la de la temperatura.

En el laboratorio, se determina directamente con los permeámetros (derivados del aparato de Darcy) de carga constante o variable, o bien con fórmulas relacionadas con la granulometría.

En campo con procedimientos de inyección de agua con cargas constantes o variables y con pruebas de bombeo, utilizando los procedimientos Lugeon (es utilizada en rocas aplicando presiones variables ascendentes y descendentes, midiendo los volúmenes que toman la formación en lapsos determinados de tiempo, sus unidades son en Lugeon) y Lefranc (los ensayos son insitu de rocas granulares o alteradas y materiales poco consolidados, con carga variable, midiendo el abatimiento en intervalos de tiempo constante, midiendo el gasto tomado en lapsos iguales de tiempo).

El método mas confiable para estimar la permeabilidad de un acuífero, es el de pruebas de bombeo que esta basado en los abatimientos observados durante el bombeo y la recuperación de los niveles una vez suspendido este, con los datos que se toman se puede obtener la permeabilidad representativa del acuífero atravesado. Debido a que durante las pruebas de bombeo la formación no es alterada, la determinación de los parámetros de los acuíferos a través de esta, es más precisa, que en el caso de las pruebas que se llevan a cabo en el laboratorio resulta más económica.

#### ❖ LEY DE DARCY.

En 1856 demostró que el gasto del agua que pasa a través de una capa de arena de una naturaleza determinada, era directamente proporcional al área A de la superficie normal al escurrimiento y a la diferencia  $H_0 - H$  entre cargas de fluido de las caras de entrada y salida.

El gasto es directamente proporcional a la pérdida de carga ( $hs$ ) o inversamente proporcional a la distancia recorrida ( $s$ ). Incluyendo una constante de proporcionalidad

K, tenemos:  $Q = KA \frac{hs}{s}$       FORMULA (2)

Que expresada en términos generales:  $Q = KA \frac{dh}{ds}$  FORMULA (3)

O en forma más simple:  $Q = K \frac{dh}{ds}$  FORMULA (4)

Donde:  $\frac{dh}{ds}$  es igual al gradiente hidráulico (i), quedando finalmente:  $V = Ki$  FORMULA (5)

La velocidad del flujo es igual al producto de la constante de permeabilidad, por el gradiente hidráulico; la velocidad es definida por el cociente obtenido al dividir el gasto (Q) de descarga entre la sección transversal del área (A) que esta drenando, estas lecturas pueden tener variaciones alrededor de una medida; esta ecuación es muy conocida y aplicada en el caso de flujo en medios porosos considerando flujos laminados.

#### ❖ TRANSMISIBILIDAD

Es el caudal del agua, a la viscosidad que esta se encuentre, que pasa por la unidad de anchura del acuífero bajo un gradiente hidráulico unitario, en todo el espesor saturado, matemáticamente se tiene:

$$T = K * b \quad \text{FORMULA (6)}$$

T= Transmisibilidad en m<sup>2</sup>/día

K= Coeficiente de permeabilidad en m/día.

b= Espesor del acuífero en m.

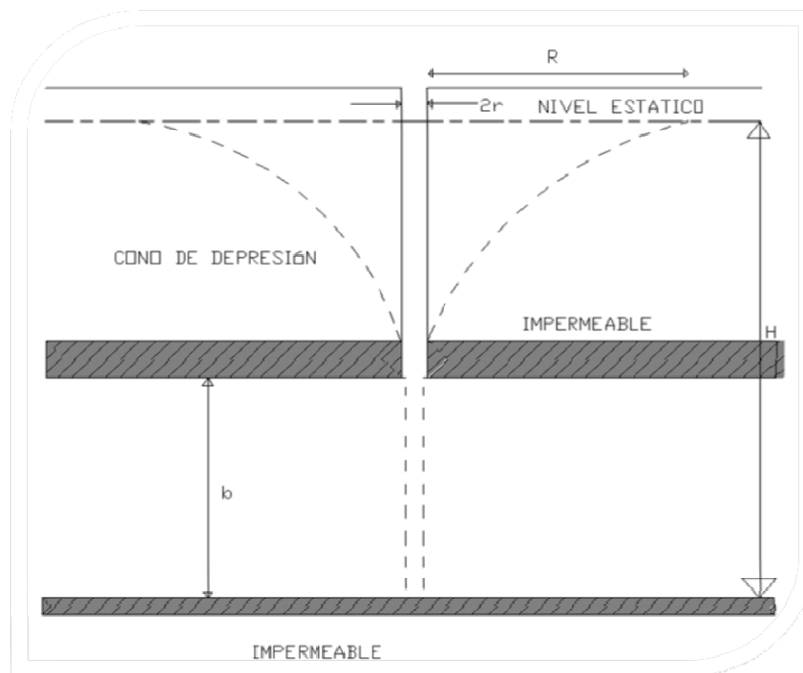
#### ❖ ESTRUCTURA DEL FLUJO HACIA EL POZO.

En un pozo bombeado, la superficie freática (o piezométrica) del acuífero es abatida en sus alrededores, este es inmenso en el pozo de bombeo y decrece conforme aumenta la distancia del pozo, hasta ser nulo.

El abatimiento a cierta distancia del pozo es el mismo en todas direcciones, el área de influencia del bombeo es un círculo, cuyo radio depende de las características hidráulicas y del tiempo del bombeo.

Dado que la presión mínima del pozo, el agua bombeada fluye en todas las direcciones; si es horizontal, conforme se va acercando al pozo se mueve a través de superficies cilíndricas de área cada vez menor; como consecuencia, la velocidad del agua va incrementándose cuando esta se acerca al pozo. Esto se debe a que es proporcional al gradiente hidráulico donde la pendiente de la superficie piezométrica aumenta gradualmente al pozo, dando una formación cónica, (*Ley de Darcy*).

El agua bombeada por el pozo es adquirida del almacenamiento del acuífero, si no hay recarga vertical en el área afectada por el bombeo, la depresión piezométrica se va expandiendo dando un área cada vez mayor. Al crecer el agua afectada, los abatimientos necesarios, para mantener la extracción del pozo son cada vez menores, alcanzándose un momento en que la superficie piezométrica se estabiliza en las proximidades del pozo. En la figura 4, se muestra que el flujo esta establecido.



**Figura 4.- Mecanismos del flujo de un pozo en un acuífero.**



## 1.4. Situación actual en México.

La importancia del agua subterránea queda de manifiesto por la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios; cerca del 37% (28 341 hm<sup>3</sup>/año) del volumen total concesionado para usos consuntivos es de origen subterráneo. El agua subterránea en el país se ha dividido en 653 acuíferos, como se muestra en la figura 5, cuyos nombres oficiales fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de diciembre de 2001. En la tabla No. 2 se presentan las listas de las aguas subterráneas y acuíferos con disponibilidad publicada en el DOF.

Región Hidrológico		Número de Acuíferos			Recarga Media (hm <sup>3</sup> )
		Total	Sobreexplotado	Con Intrusión Marina	
I	Península de B. C.	87	7	9	1 233
II	Noroeste	63	15	5	2 870
III	Pacífico Norte	24	1	0	3 194
IV	Balsas	47	2	0	4 220
V	Pacífico Sur	34	0	0	1 696
VI	Rio Bravo	100	16	0	5 081
VII	Cuencas Centrales del Norte	68	24	0	2 297
VIII	Lerma Santiago-Pacífico	127	33	1	7 566
IX	Golfo Norte	40	2	0	1 392
X	Golfo Centro	22	0	2	3 849
XI	Frontera Sur	23	0	0	18 015
XII	Península de Yucatán	4	0	0	25 316
XIII	Aguas del Valle de México	14	4	0	1 835
Total		653	104	17	78 564



Figura 5.- Delimitación de Acuíferos.

A partir de la década de los setenta, ha venido aumentando sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados, 32 en 1975, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001, 102 en 2003 y 104 en el 2006. De éstos se extrae casi el 60% del agua subterránea para todos los usos. En la figura 6, se observa el mapa de la sobreexplotación de los acuíferos.

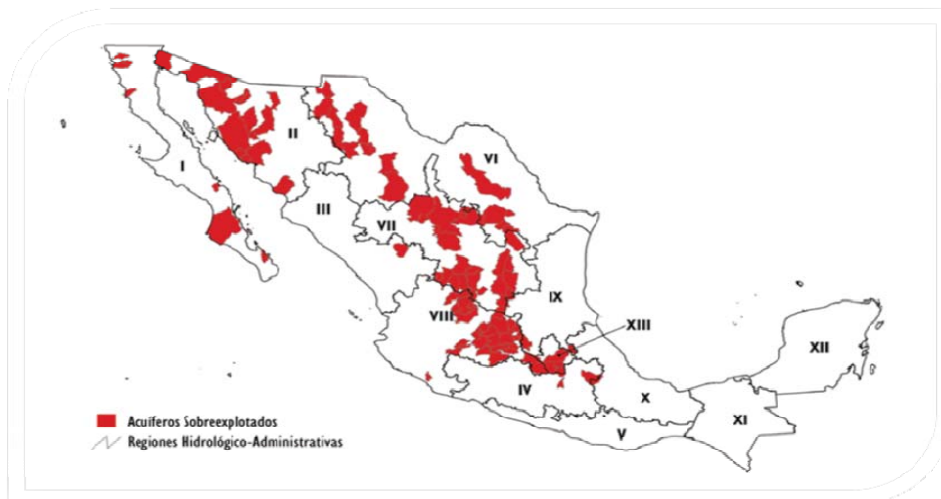


Figura 6.- Sobreexplotación de Acuíferos

## 1.5. Calidad del Agua.

El agua subterránea jamás es químicamente pura; la naturaleza dipolar de las moléculas de agua, le confiere una constante dieléctrica anormalmente elevada, por consecuencia posee una gran actividad como solventes de los compuestos iónicos.

Las sustancias disueltas más comunes en el agua del subsuelo son: sales de los radicales básicos comunes, derivados de la desintegración de las rocas, y ácidos derivados de los gases del aire, gases volcánicos y de las fuentes orgánicas. Las bases más habituales son: el sodio, potasio, calcio, manganeso, hierro y aluminio; los radicales ácidos más frecuentes son el cloro, los sulfatos y los carbonatos.

La composición química del agua subterránea, limita su utilización para propósitos de abastecimiento municipal y agrícola y pueden dividirse en duras y blandas, de acuerdo, con la mayor y menor cantidad de sales de calcio y magnesio que tengan disueltas.

De acuerdo con la bacteriología las aguas se dividen en potables y no potables. En su mayoría las aguas subterráneas son potables, bacteriológicamente hablando, solo pierden esa calidad por la contaminación directa, ya sea por bacterias naturales del suelo o bien por los desechos humanos y animales.

**CAPITULO**

**II**

## II. PARAMETROS INDICATIVOS DE FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE POZOS.

La eficiencia es la capacidad que tiene un sistema para la realización o transmisión de energía, en otras palabras es la relación entre la energía proporcionada al sistema y la que se recupera del mismo, expresado usualmente como un porcentaje, analizando que nunca son totales, ya que existen pérdidas por fricción, calor, ruido, etc.

En los pozos de agua se tienen 2 términos principales de la eficiencia: la de sistema de bombeo y la del pozo. En la práctica a estas 2 eficiencias se le suele llamar “eficiencia del sistema de bombeo”.

*La eficiencia de bombeo:* es el producto de la eficiencia de la bomba (eb) por la eficiencia del motor (em). La eficiencia total de bombeo = (eb)\*(em).

*La eficiencia de un pozo:* es su importancia para la captación del agua en el acuífero, ya que este no necesita de una potencia de entrada para que fluya el agua dentro de él, y no se puede medir con la división de potencia de salida entre la potencia de entrada.

Para comprenderlo mejor, se debe conocer las causas que puede producir ineficiencia en el pozo y son:

### ➤ PERDIDAS POR EFICIENCIA POR LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACUIFERO.

La pérdida se refleja en el descenso del nivel dinámico necesario para que fluya el agua al pozo en régimen laminar y de las características principales (el tamaño, el grado de consolidación, sus límites, permeabilidad, transmisibilidad, composición química de los materiales y del agua) y en menor medida del diámetro del pozo, pero todo estas son incontrolables pues reflejan condiciones naturales a las que se debe de adaptar el proyecto a la mejor forma posible.

➤ PERDIDAS POR EFICIENCIA POR LAS CARACTERÍSTICAS DEL POZO.

Estas se manifiestan en un descenso en el nivel dinámico para un caudal dado, originado por las siguientes causas:

- ◆ Cuando pasa el agua por la ranuras del cedazo al interior del pozo, con esto se da una pérdida de carga, si la velocidad es grande, la pérdida es proporcional al cuadrado del caudal, por lo que resulta ocasionar grandes descensos en el nivel dinámico.
- ◆ La pérdida de carga por la entrada del agua en la bomba la cual tiene importancia en algunas bombas sumergibles, en la que la succión de la bomba esta por encima de ella y este deja poco espacio entre él y las paredes del pozo.
- ◆ Movimiento del agua desde la zona filtrante hasta la bomba, produciendo una pérdida de carga, aunque esta no tiene mayor importancia.

Una forma de medir la eficiencia es por medio de la ecuación de Rorabaugh que analiza el nivel dinámico del pozo:  $S_p = BQ + CQ^n$  ECUACIÓN (7)

Donde:

$S_p$ = Descenso en el pozo (nivel dinámico-nivel estático).

$Q$ = Caudal de bombeo.

$B$ = Coeficiente de perdidas de circulación en la formación.

$C$ = Coeficiente de perdidas de circulación en el pozo.

$n$ = Exponente dependiente de la severidad de la turbulencia.

$B$  y  $Q$ , indican las características del acuífero este descenso es el valor que se tendría en caso hipotético de un pozo perfecto. Mientras  $CQ^n$  sea pequeño, indica un correcto diseño y construcción del pozo o bien a que la eficiencia del pozo sea mejor. Estos valores se obtienen en la prueba de aforo.

Dada la continuidad de la explotación del agua subterránea, es posible determinar el funcionamiento ineficientemente de los pozos, inclusive se sabe que los que son eficientes, no lo son, dado que en la construcción o en la rehabilitación no se aplico toda la tecnología de hoy en día.

Estos parámetros pueden ser evaluados mediante diferentes técnicas, las cuales permiten conocer la operabilidad del sistema y fundamentándose con este resultado definir el grado de rehabilitación del pozo.

De acuerdo con lo anterior, la rehabilitación de pozos esta enfocada a atender los problemas derivados del funcionamiento inadecuado de la bomba o las características del acuífero. A continuación se describen las causas más relevantes encontradas en la práctica.

## **2.1 Origen de la ineficiencia de los pozos.**

Sin considerar la errónea localización del pozo, y asumiendo que está es adecuada; existen numerosas y muchas razones para que un pozo funcione en forma ineficiente, de las que se mencionan las mas comunes, sin considerar ni su importancia relativa, ni la frecuencia con que se presentan, pues estas condiciones varían notablemente de región a región y aun de pozo a pozo en la misma zona.

Para cada una de las causas de ineficiencia se pueden enumerar varias consecuencias del problema y soluciones, sin que esto quiera decir que se den todas ellas en un mismo pozo.

Desde algunos años se ha empleado el registro de video, con el que se obtiene un registro visual a lo largo del pozo, herramienta que se ha vuelto de gran utilidad para la detección de muchos de los problemas que se presentan en los pozos y casi indispensable para planear sus soluciones; por consiguiente en la actualidad es habitual que una rehabilitación lleve implícita la corrida de al menos uno y a veces varios de estos registros.

En la tabla No. 3 se han dividido en cuatro grupos los aspectos indicativos del mal funcionamiento de los pozos; en el primero se agrupan los originados por un mal diseño y que se hubieran evitado con un correcto diseño de pozo.

Existe otro grupo de problemas ocasionados por los errores constructivos, pero serán comentados parcial y brevemente. Los otros dos grupos son las causas debidas a defectos a la operación y problemas regionales en el acuífero.

**Tabla 3.- Origen del mal funcionamiento de los pozos**

De diseño:

- ◆ Pozos incompletos.
- ◆ Cedazo en exceso.
- ◆ Falta de cedazo.
- ◆ Información litológica inadecuada.
- ◆ Aforo mal realizado o interpretado.
- ◆ Selección inadecuada de bomba.
- ◆ Defectuosa protección sanitaria o química.

Constructivas:

- ◆ Fluidos de perforación inadecuados.
- ◆ Falta de desarrollo del pozo.
- ◆ Filtro granular mal colocado.
- ◆ Defectos en la colocación del ademe.
- ◆ Falta de verticalidad del pozo.
- ◆ Materiales defectuosos o inadecuados.

Operacionales:

- ◆ Falta de mantenimiento del pozo.
- ◆ Falta de mantenimiento de la bomba.
- ◆ Falta de reposición de filtro granular.
- ◆ Arranques y paros frecuentes del equipo.

Regionales:

- ◆ Aguas corrosivas.
- ◆ Aguas incrustantes.
- ◆ Bacterias ferruginosas.
- ◆ Abatimientos regionales de los niveles freáticos.



### 2.1.1 Aspectos de diseño.

#### Pozos incompletos

Se llama “pozos incompletos” a aquel que no atraviesa completamente el acuífero, a diferencia del “pozo completo” que si lo hace, ver figura 7. El pozo incompleto concentra el flujo del agua en menor área, lo que resulta en mayores velocidades de entrada para el caudal dado y la posibilidad de arrastre de finos hacia el pozo.

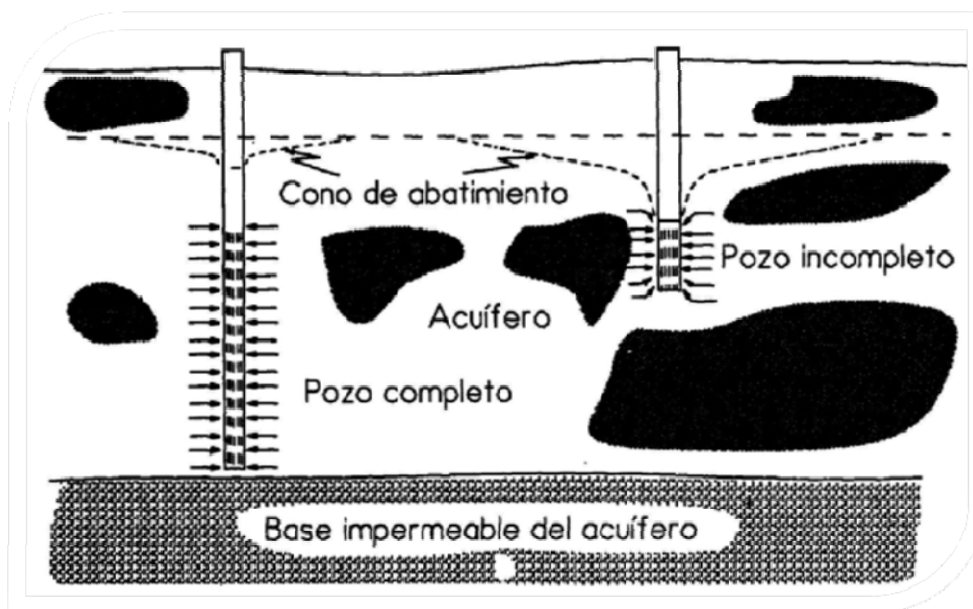


Figura 7.- Pozo Completo e Incompleto.

La condición de pozo incompleto se puede detectar por comparación de su columna estratigráfica con la de otros pozos de la región o porque presentan una menor capacidad específica que la de los pozos vecinos completos.

La comparación del funcionamiento de pozos completos e incompletos en regiones en que se presentan los fenómenos de incrustaciones o de corrosión, ha mostrado que los fenómenos de incrustación sobre los segundos son más fuertes y que en consecuencia, la vida útil del pozo incompleto es mas corta.

La única solución factible a los problemas que pueda ocasionar un pozo incompleto, consiste en volverlo completo, lo que se puede conseguir si el pozo se hubiera terminado con un tapón de fondo de cemento (sin “punta de lápiz”) y contara con ademe de suficiente diámetro (al menos 30.48 cm, 12”), que permitiera profundizarlo, colocándole un nuevo ademe y cedazo con un filtro correspondiente.

#### **Cedazo en exceso**

Es práctica frecuente, aunque errónea, el dejar toda la superficie de contacto pozo-acuífero a partir del nivel estático además con cedazo. Este diseño tiene el inconveniente del innecesario gasto en cedazo relativamente más caro que el tubo ciego.

El exceso de cedazo ofrece la ventaja de favorecer una alta capacidad específica y por lo tanto el bajo consumo de energía por unidad de caudal: en cambio el pozo producirá menos agua que la que sería factible si tuviera un cedazo más reducido, situado en la porción inferior del acuífero.

Si el exceso de cedazo se encuentra en la porción superior del acuífero, y se quiere incrementar la producción, se puede encamisar la porción excedida con un ademe ciego del diámetro nominal inmediato inferior al empleado en el pozo, este encamisado debe apoyarse ligeramente en un anillo de cemento previamente colocado y dejarse suspendido desde la superficie. Una vez colocada la camisa, el pequeño espacio anular entre las dos tuberías se rellena con lechada de cemento. Cuando fragüe esta lechada se rompe el tapón de cemento.

Otra manifestación del problema resulta la producción de sólidos, cuando se adema un cedazo en estratos de limos y arcillas, que son imposibles de detener, aun con un filtro granular muy fino. Cuando se conoce bien la estratigrafía del pozo y por lo tanto la posición de los acuíferos, la observación de un registro de video puede mostrar el exceso de cedazo.

Si el exceso de cedazo dejó abiertas formaciones de materiales finos que no pueden ser detenidos por el filtro granular, el problema que se puede solucionar mediante cuidadosas cementaciones de las zonas problemáticas, esperar el fraguado y posteriormente romper el tapón, quedando así un anillo de cemento en la zona de filtro granular y acuífero inmediato al pozo. Esta solución presenta el inconveniente de que el propio anillo impedirá la reposición de grava debajo de él.

#### **Falta de cedazo**

El defecto de cedazo presenta, como es natural, manifestaciones contradictorias al exceso, pero que también resultan nocivas por el buen funcionamiento del pozo.

La concentración del flujo en un área reducida resulta en altas velocidades de entrada del agua al pozo y consecuentemente un mayor riesgo de arrastre de finos, así como más probabilidades de corrosión e incrustaciones del ademe.

Un pozo con poco cedazo presenta una baja capacidad específica al compararlo con otros de características similares en profundidad en la misma región, lo que se traduce en pozos muy productores pero con altos consumos energéticos unitarios.

Cuando se conoce bien la estratigrafía del pozo y por lo tanto la posición de los acuíferos, la observación de un registro de video puede mostrar el defecto de cedazo. Cuando la falta de cedazo se presenta en un pozo completo no existe solución al problema. Si se trata de un pozo incompleto, existe la posibilidad de perforarlo hasta el fondo del acuífero, de acuerdo a lo descrito en el inciso anterior colocándose cedazo en los tramos adecuados, disminuyendo así el defecto original.

#### **Información litológica adecuada.**

El diseño de un pozo se basa esencialmente en las muestras colectadas durante la perforación exploratoria, apoyadas por la interpretación de los registros geofísicos; de manera que un muestreo inadecuado o una mala interpretación de los mismos, inevitablemente tiene como consecuencia un mal diseño con todos los problemas a él asociados.

El problema se manifiesta en innumerables formas (pozo seco o de baja producción, producción de agua con sólidos, mala calidad del agua, etc.) según cual haya sido la falla del diseño. Consecuentemente, los problemas originados por una inadecuada información exploratoria pueden o no tener solución, dependiendo de cual sea su manifestación.

 **Filtro granular o cedazo mal diseñado.**

Aun cuando la exploración y muestreo se realicen correctamente, el filtro granular o el cedazo puede estar mal diseñado.

El problema se observa en un pozo productor de sólidos, con una disminución gradual de la capacidad específica, hasta un cierto tiempo en que la capacidad específica se estabiliza, lo que coincide con un desgaste excesivo del equipo de bombeo. Esto se debe a que el pozo se va llenando gradualmente de sólidos, hasta el punto en que la bomba los alcanza a succionar, a partir de entonces extrae los sólidos, lo que provoca un desgaste acelerado del equipo.

El defecto en la selección del filtro granular generalmente consiste en el grosor excesivo de sus gránulos y la consiguiente incapacidad de filtrado. La única solución permanente a ese problema, siempre y cuando el diámetro del pozo lo permita, consiste en colocar un nuevo cedazo y un filtro granular correctamente diseñado en el interior del pozo.

Una solución temporal, que por lo general ofrecen buenos resultados, consiste en desazolvar el pozo hasta alcanzar la profundidad de proyecto y a continuación desarrollarlo energéticamente. Como no se ha solucionado el problema de origen, la acumulación de finos se reanuda al cabo de un cierto tiempo, pero el pozo puede funcionar correctamente durante un lapso lo suficientemente largo como para justificar el gasto de la rehabilitación.

 **Aforo mal realizado o interpretado.**

La bomba con que se explota un pozo se debe seleccionar, en primer lugar, de acuerdo a las condiciones impuestas por el pozo y en segunda, a las características hidráulicas y constructivas de la obra de abastecimiento, como longitud de la conducción, carga manométrica a partir de la superficie, válvulas, codos, etc.

A este respecto, se pueden presentar dos condiciones opuestas o igualmente nocivas para la explotación: la bomba instalada no es capaz de provocar un abatimiento de nivel dinámico, suficiente para alcanzar el caudal óptimo de explotación del pozo. En esta condición no se está cumpliendo con el objetivo de la prueba, que es precisamente establecer dicho caudal y el pozo resulta subexplotado.

Si por el contrario el punto óptimo ha sido rebasado y por defecto en la interpretación se selecciona una bomba que exceda la capacidad del pozo, el costo unitario del agua extraída será excesivo y se llega al caso de que el nivel dinámico alcance la succión de la bomba, con el consecuente “boqueo” en la descarga, ocasionando por la extracción de agua mezclada con aire.

La selección de la bomba de aforo depende de la experiencia local en pozos anteriores, de los indicios durante la construcción del pozo y de la geometría de este, condiciones de todas ellas subjetivas por lo que cabe una cierta posibilidad de error en dicha selección. Para minimizar el costo de esta posibilidad se debe establecer como un procedimiento de rutina el ensayo de aforo.

Los datos de aforo se presentan en la gráfica correspondiente, cuyo correcto análisis e interpretación indica si la bomba de aforo fue la adecuada al pozo y permite la selección del equipo de explotación idóneo para el pozo probado. CONSULTAR, INTERPRETACIÓN DEL AFORO.

### Selección inadecuada de la bomba.

Para que una bomba trabaje eficientemente debe ser seleccionada de acuerdo a las condiciones específicas de trabajo que le impone el medio, en este caso el sistema pozo-acuífero. Una mala selección de la bomba podrá ocasionar la subexplotación del pozo con el consiguiente desperdicio de la fuente, o la sobreexplotación que puede llegar al bombeo aire- agua (“boqueo”). Los dos casos se manifiestan una baja eficiencia del sistema.

### Mala protección sanitaria o química del pozo.

El acuífero explotado por un pozo, es susceptible de ser contaminado química o bacteriológicamente, cuando el propio pozo comunica a dicho acuífero con una fuente de contaminación. Para evitarlo, el pozo debe contar con un contrademe bien cementado que aislé el acuífero.

El problema se detecta mediante análisis químico y bacteriológico del agua extraída del pozo. Cuando el pozo se utiliza para extraer agua potable se presenta una alta incidencia de enfermedades relacionadas con bacterias patógenas presentes en aguas contaminadas, o con algún ion nocivo, si se trata de una explotación de aguas agrícolas o industriales, la mala calidad del agua se puede manifestar en defectos en el conducto agrícola o industrial.

El proporcionar a un pozo ya terminado una adecuada protección contra la contaminación, resulta imposible en forma económicamente práctica, por lo que la única solución a este problema consiste en eliminar la contaminación en su fuente.

## **2.1.2. Aspectos constructivos**

Es normal que un pozo bien diseñado resulte malogrado por inadecuados procedimientos constructivos.

Los problemas constructivos son:

### **Fluidos de perforación inadecuados.**

Cuando se construye un pozo con perforadora rotaria directa, es indispensable el uso de un fluido de perforación que mantengan estables sus paredes, enfríen la barrena y levanten hasta la superficie el recorte de la perforación. Este fluido de perforación puede ser aire, agua, lodos fabricados a base de sustancias degradables o el más usual, el lodo bentonítico, ya que tiene un bajo costo de adquisición con respecto a los lodos autodegradables y la menor inversión en equipo necesario, respecto a la perforación neumático o a base de agua sola.

El lodo forma un enjarre periférico a la perforación (“el cake”), que es capaz de mantener estables las paredes, sin que penetre mucho en la formación de lo contrario el lodo impedirá o dificultará la entrada de agua al pozo. Esta situación no es grave si se tiene un buen control de los lodos utilizados.

Si la penetración del lodo no es muy profunda, los restos de la bentonita se eliminan durante el desarrollo, que es una de las últimas etapas constructivas del pozo. Si esto no ocurriera en ese momento, se pueden realizar aunque hayan pasado bastante tiempo.

Si durante la construcción de un pozo, se provoca una penetración del acuífero con bentonita a profundidad y si no se elimina mediante el desarrollo, resultará una captación de menor capacidad específica que pozos similares de la región, pudiendo llegar en casos extremos a ser improductivo.

### **Falta de desarrollo del pozo.**

El desarrollo de un pozo se debe efectuar inmediatamente después de su terminación y antes de su aforo. Consiste esencialmente, en una agitación controlada de agua en el pozo, cuya finalidad es eliminar residuos de bentonita, limpiar el filtro granular, si lo hay, y remover los materiales finos del acuífero en su entorno. La falta de desarrollo provoca una menor capacidad específica que la de pozos similares de la región.

Si el desarrollo no se realizó al terminar el pozo, se puede realizar posteriormente, por lo general, con buenos resultados. En esta situación es común que al aforar el pozo nuevamente, resulte que la antigua bomba con que venía operando es de capacidad inferior a la conveniente, según las nuevas condiciones del pozo.

#### **Filtro granular mal colocado.**

Aun cuando el filtro este bien diseñado, puede ser mal colocado en el pozo, sea por mala práctica de las operaciones de engravado, o bien por las características físicas de algún estrato.

El defecto de colocación puede ser vertido en el pozo demasiado lento, que permite que el filtro se clasifique respecto a tamaños, de modo que el resultado son pequeños estratos alterados de material grueso, medio y fino, ninguno de los cuales cumple con las características del proyecto.

En cambio, si la colocación es demasiado rápida o si el espacio angular es muy reducido, el filtro se puede “puntear” al acuñarse los gránulos entre el ademe y el terreno. Un efecto semejante se tiene cuando formaciones inestables, generalmente arcillosas, se anillan alrededor del ademe, impidiendo la bajada del filtro.

El problema se manifiesta por la entrada de finos al pozo. Si el problema se debe a la estratificación de filtro granular, o a una formación que se “anilla” alrededor del ademe ciego, no existe solución al problema excepto el encamisado y colocación de un nuevo filtro granular. Si el anillo se formara frente al cedazo, se puede romper mediante un energético desarrollo que permita la gradual sustitución del material del anillo por el del filtro.

Si el defecto consiste en el “puenteo” del filtro, existe la posibilidad de romper dicho “puente” mediante un energético desarrollado del pozo.



### **Falla en la colocación del ademe.**

Los problemas comunes se derivan de los defectos de soldadura durante el ademado, sean en la unión entre tubos, o lo que es mas frecuente, al soldar las “orejas” laterales, donde se cruza la flecha para bajar la tubería soldada a tope.

Otra causa de mala entubación, debidas a las condiciones de terrenos inestables, es provocada por derrumbes al interior del pozo durante su ademado, momento en que las condiciones de estabilidad son criticas debido a la falta de circulación de fluidos de perforación. El resultado es que el azolve acumulado en el fondo impide bajar el ademe hasta la profundidad proyectada, con el siguiente desfaseamiento entre los tramos de cedazo y los estratos de los acuíferos, resultando un pozo menos productor y en ocasiones productor de finos.

Esta situación se puede evitar si se elimina la inadecuada, pero frecuente, practica constructiva de colar el tapón en la superficie, en una porción de ademe que constituye la punta del mismo, puesto que si la tubería baja abierta en su parte inferior, se cuenta con la opción de desazolvar lo necesario para permitir bajar el ademe hasta la profundidad del proyecto.

Si se dejan tubos mal soldados o con “orejas” abiertas, es típica la entrada del filtro granular al interior del pozo y posteriormente el arrastre de finos al quedar la formación geológica en contacto con el cedazo.

Cuando el problema se origina por un desfaseamiento en la posición del cedazo, se pueden tener diferentes manifestaciones del ademado incorrecto, las más frecuentes de las cuales son: pozos productores de sólidos o capacidades específicas menores que las normales en la zona.

Los defectos en el ademado del pozo se pueden detectar con facilidad mediante un registro de video.

Si el problema resultante es la baja producción por haber quedado parcialmente tapado con ademe ciego algún acuífero importante, no existe un remedio práctico a este problema.

 **Falta de verticalidad del pozo.**

La falta de verticalidad de un pozo puede afectar la operación de la bomba, sobre todo si esta es de motor en la superficie, pues si el sistema de transmisión de flecha esta diseñada para trabajar suspendida verticalmente. Si el pozo esta inclinado, de modo que la columna de la bomba apoye en el ademe, éste carga el peso de la flecha en forma irregular sobre los concentradores, lo que provoca frecuentes rupturas de flechas y acortándose la vida útil del equipo de bombeo, además, se tienen vibraciones indeseables en la Bomba y en el ademe que afectan a los dos. Por todo lo anterior, el aspecto de la verticalidad es particularmente crítico en la cámara de bombeo.

Se considera que aun cuando un pozo se encuentra dentro de la tolerancia pueden presentarse los convenientes antes mencionados, pues no solo importa la magnitud de la desviación, si no la dirección de esta, pues la situación más crítica se presenta cuando cambios bruscos de dirección del pozo flexionan el tubo de la bomba y por lo consiguiente la flecha.

Debajo de la cámara de bombeo, la desviación del pozo pierde importancia, salvo la posibilidad de que el ademe quede en contacto con el terreno, impidiendo el cubrimiento total del cedazo por el filtro granular.

La falta de verticalidad puede dificultar e incluso imposibilitar la instalación de la bomba en el pozo y cuando este se trabaja con bomba de flecha se presentan frecuentes problemas en estas y sus soportes internos.

La falta de verticalidad del pozo se detectan durante la perforación, sea mediante inclinómetros o por la experiencia del perforista, el defecto puede ser corregido, pero una terminado el pozo y colocado el ademe, no existe solución a este problema, que solo puede atenuarse mediante el empleo de una bomba sumergible, que al carecer de flecha es menos susceptible a la inclinación, si bien lo es mas el manejo de sólidos, puesto que baja a mas altas revoluciones.

### 2.1.3. Aspectos operacionales

#### Defectos operacionales.

La calidad del pozo depende de múltiples factores, que establecen la magnitud y la frecuencia del mantenimiento, preventivo o correctivo que requiera. Aun cuando las causas y magnitud de los problemas puedan ser muy variadas, la falta de mantenimiento provoca los siguientes problemas:

- ✦ Pozos azolvados, con una disminución de la producción proporcional a los metros de cedazo azolvados.
- ✦ Disminución de permeabilidad del acuífero en el entorno del pozo, por comaltación del filtro en materiales finos.
- ✦ Ademes rotos o colapsados, que pueden provocar la inutilización del pozo.
- ✦ Ademes corroídos.
- ✦ Ademes incrustados.
- ✦ Objetos caídos en el pozo.

Para mitigar estos inconvenientes existen diferentes soluciones:

- ◆ Para corroborar lo anterior, consiste en la corrida de un registro de video, una vez extraída la bomba.
- ◆ Si la ineficiencia es causa por pozos azolvados o acuíferos colmatados por materiales finos, la solución, al menos temporal, consiste en desarrollar energéticamente el pozo.
- ◆ Si el problema se origina por ademes colapsados, se debe eliminar el colapso mediante trompo prensa electrohidráulica. Si estuviera roto, es necesario el encamisado en la parte afectada o a la cementación del tramo.
- ◆ En el caso de ademes corroídos, la rehabilitación suele ser difícil y depende en gran medida de la intensidad del fenómeno de corrosión, pero algunos casos de pozos corroídos se han continuado operando mediante el encamisado total o parcial, con la correspondiente colocación de filtro granular.

- ◆ Si el ademe se encuentra incrustado, se puede eliminar las incrustaciones del interior del ademe y de las ranuras del cedazo mediante un cepillado, aunque no alcanza la parte exterior de él, ni del filtro. Por lo tanto si el cepillado no muestra efectividad, al no mejorar la capacidad específica del pozo, será necesario proceder a un tratamiento químico que elimine la incrustación.
- ◆ Los objetos caídos al pozo pueden ser extraídos mediante pescantes.

#### **Falta de mantenimiento en la bomba.**

La bomba, como cualquier equipo electromecánico, requiere de mantenimiento preventivo y correctivo, tema que no es tratado en este trabajo.

#### **Falta de reposición de filtro granular.**

La operación normal de un pozo puede provocar una cierta compactación del filtro granular, por efectos de carga del terreno circundante y su propio peso.

Un pozo productor de sólidos puede originar oquedades que lleguen a ocasionar asentamientos del terreno. En casos muy discretos, estos vacíos dejados por el material extraído se van rellenando con el filtro granular del pozo. Esto se puede observar durante la operación del pozo, cuando ocurre un descenso de filtro granular en el espacio anular; su solución es la reposición desde la superficie, de tal modo que el espacio anular se mantenga siempre lleno de filtro.

#### **Arranques y paros frecuentes del equipo.**

La operación de un pozo es más eficiente cuantos mayores sean los periodos de explotación continuos, pues se obtienen las siguientes ventajas:

- ◆ Reducir el consumo de energía en los arranques.
- ◆ Reducir el desgaste del equipo.
- ◆ Eliminar agitaciones innecesarias en el pozo en cada arranque.

Evidentemente, los frecuentes paros y arranques del equipo provocan efectos contrarios.

### **Causa regionales.**

En muchas ocasiones los problemas de funcionamiento de un pozo no son originados por ninguna de las causas anteriores, si no por condiciones regionales generalmente naturales, aunque algunos también pueden ser originados por el hombre, en forma independiente a las características de la obra, como por ejemplo: los abatimientos regionales de niveles estáticos, provocados por sobrebombeo, algunos de estos problemas son:

### **Aguas corrosivas**

El proceso de corrosión implica el deterioro de ademes metálicos y bombas, con una paulatina desintegración. En el caso del cedazo, se agrandan las ranuras permitiendo la entrada de filtro granular y luego la del material del acuífero al pozo.

Este problema se manifiesta por una producción de sólidos mas o menos repentina, que se inicia cuando el filtro granular empieza a entrar el pozo. Esta situación va acompañada por un descenso brusco de la capacidad específica, debido al azolve acumulado en el pozo, y si este alcanza el nivel de la bomba, puede atascarse.

Un registro de video posterior al cepillado del pozo, muestra con claridad el efecto de la corrosión, que agranda las ranuras del cedazo.

Cuando un pozo es atacado por la corrosión no es susceptible de ser rehabilitado, quedando como única opción la colocación de un nuevo ademe interior, de ser posible de P. V. C., con el filtro granular correspondiente. Esta alternativa solo es factible cuando el diámetro del pozo lo permite.

### Aguas incrustantes.

La incrustación consiste en la precipitación de iones disueltos por las aguas, sobre la parte metálica del pozo que esta en contacto con ellas. Los más frecuentes son el carbonato de calcio y minerales de hierro y manganeso. Estos depósitos pueden obturar cedazo, filtro granular y el acuífero cercano al pozo.

Este problema se manifiesta por la disminución de la capacidad específica del pozo, provocada por la obturación de la rejilla. Ya que en las ranuras del cedazo se pueden observar con claridad en un registro de video.

En la práctica se ha observado que las incrustaciones en la porción exterior del ademe, frecuentemente son más importantes a las observables en el interior.

En ocasiones, el problema se puede atenuar mediante el cepillado del ademe, con lo que se eliminan las incrustaciones de la parte interior del mismo pero sin lograr afectar los depósitos de la parte exterior. Para atacar los depósitos mas profundos, es efectivo el tratamiento del acido, que disuelva el deposito aunque ataca también el ademe metálico, si no se dosifica adecuadamente.

### Bacterias ferruginosas.

Existen bacterias, no perjudiciales a la salud, se requieren de la presencia del hierro y manganeso para su ciclo vital. Son conocidas como bacterias ferruginosas o bacterias de hierro y aparentemente oxidan y precipitan el hierro y manganeso disueltos en el agua. Los minerales, junto con los organismos, forman una masa gelatinosa que obstruyen cedazo y poros del acuífero inmediato al pozo.

Parece evidente que las bacterias no existen en el acuífero antes de que se construya el pozo, ya que viven del hierro del ademe, por consiguiente, se supone que la bacteria llega al pozo durante su construcción o poco después, sea en el fluido de perforación o en herramientas contaminadas.

Este problema se manifiesta por una disminución de la capacidad específica del pozo, provocada por la obturación de la rejilla.

Las bacterias ferrugosas a veces son visibles en registros de video, donde las colonias bacterianas se observa como una masa filamentosas. También pueden manifestarse en el equipo de bombeo o en las tuberías surtidas por el pozo.

Como otros inconvenientes, lo recomendable es evitar la presencia de las bacterias en el pozo, mediante medidas preventivas, como utilizar agua potable o clorinar la que se va utilizar en el fluido de perforación y lavando con periodicidad la herramienta de perforación, con una solución de permanganato de potasio.

Igualmente, toda la herramienta o equipo que se introduzca al pozo en las distintas operaciones de mantenimiento, deberá ser desinfectada en una solución de permanganato de potasio o de cloro.

Para corregir el problema, una vez que se ha presentado, hay que aplicar un tratamiento al pozo a base del ácido clorhídrico o ácido sulfámico, o algún producto comercial que disuelva el Fe y Mn precipitados y posteriormente se aplica el cloro para matar a los organismos o algún bactericida comercial de eficacia probada pues después de un lapso de tiempo variable, el fenómeno se repite y el pozo requerirá de un nuevo tratamiento.

#### **Abatimientos regionales de los niveles freáticos.**

La sobreexplotación regional de un acuífero implica descensos paulatinos del nivel freático. El problema se presenta en una disminución del espesor saturado del acuífero y en consecuencia del caudal explotable, hasta llegar a la situación extrema de que el pozo quede completamente seco (“pozo colgado”).

La única solución a esta situación consiste en regular la explotación regional, hasta permitir la recuperación parcial o total de los niveles. En el caso particular de un pozo incompleto, se puede profundizar, con lo que se prolonga su vida útil.

**CAPITULO**

**III**



### **III. MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS.**

*Rehabilitación*, es el conjunto de operaciones tendientes a mejorar la eficiencia de producción en un pozo.

Las operaciones y métodos de rehabilitación de pozos son tan variados como pueden ser las condiciones geohidrológicas, de proyecto, constructivas y de operación de obra, por lo que no resulta práctico el pretender abarcarlas todas. Por lo tanto, pretender establecer especificaciones precisas de actividades de rehabilitación resulta prácticamente imposible, pues en cada caso en particular se deberá programar las acciones a realizar, que son adecuados a esta situación y en ocasiones, incluso ideadas para un caso en particular, por consiguiente, la relación que sigue, en la que se describen algunos métodos para la rehabilitación de pozos, se debe considerar como enunciativa, pero no limitada.

#### **3.1. En ademes rotos, Colapsados o mal soldado.**

Ademe colapsado: Es aquel que presenta una deformación de su sección circular original, pero sin llegar a la rotura. La presencia de ademes en mal estado es común en pozos viejos. Las causas más frecuentes son:

Aguas corrosivas que adelgazan paulatinamente el ademe, o agrandan las ranuras del cedazo. Esta gradual debilitación puede culminar en el colapso o la ruptura del ademe.

Ademes de mala calidad.

Soldaduras defectuosas en las uniones entre tubos, o lo que es más frecuente, en las orejas que se abren en los tubos para atravesar la flecha que sostiene la tubería al bajarla durante la operación del ademado del pozo, esto se soluciona si se usa la tubería con rosca y cople, en lugar de la usual soldada a tope.

El terreno presiona el ademe en tal forma que puede llegar a colapsarlo. La presión puede ser gradual y creciente o súbita, como se ha manifestado en algunas zonas sísmicas, como el Valle de México, donde el sismo de 1985 seccionó o colapso varios pozos.

Generalmente es posible restituir el diámetro original de un ademe de acero mediante el empleo del trompo, la operación de trompear un pozo implica disponer de una máquina de percusión con una sarta de perforación pesada que le imprima energía a la pesada herramienta de acero solidó, que a base de golpes continuos restituya la geometría del ademe. El trompeo se inicia con una herramienta de diámetro abierto conforme el colapso va cediendo, hasta llegar a su forma original.

Actualmente existe un equipo opcional, “La prensa electro hidráulica” un efecto similar al del trompo, consiste en un gato de gran capacidad que se introduce hasta la zona del colapso, donde se expande para restituir la forma del ademe. La ventaja de este sistema es la rapidez de operación con respecto al trompo, pero su precio unitario horario es bastante mayor, por lo que no siempre es la mejor solución; el mismo equipo se emplea para colocar forros metálicos a presión que obturen la ruptura. Estas camisas están formadas por lámina delgada; y es conveniente considerar que si el origen del problema son aguas corrosivas o derrumbes de la formación, pueden ser de vida bastante efímera (**VER 3.10**).

Muchos ademes colapsados llegan a romperse cuando la ruptura alcanza un cierto tamaño, esto es por la presencia del filtro granular en el interior del pozo y de gran abundancia de azolve. En estas condiciones, la etapa correctiva preliminar consiste, también en restituir el diámetro original de todo el pozo.

### **3.1.1. Reparación de ademes colapsados**

En ademes colapsados o desgarrados de tubería, la rehabilitación comienza por la corrida de calibradores de varios diámetros, para establecer cual es el mayor que deja pasar el colapso o ruptura.

Una vez establecida su longitud del colapso, es necesario restituir el diámetro original del ademe del pozo, mediante la corrida de trompos de diámetros crecientes, o mediante la prensa electrohidráulica, ver figura 8.



Figura 8.- Trompo para rectificación de ademes

### 3.1.2. Reparación de ademes rotos

Cuando el ademe esta desgarrado, una unión de tubos mal soldada o una oreja destapada, es necesario destapar la ruptura. Si la zona afectada no es muy extensa, la solución más rápida consiste en la colocación de la camisa con la prensa electrohidráulica (**VER 3.10**), pero si no cuenta con una, o la zona de ruptura fuera grande, se puede cementar, para lo cual se procede a:

- A. Colocar un tapón perforable alrededor de un metro debajo de la zona de ruptura. Si la ruptura es cerca del fondo del pozo, resulta practico azolver el pozo hasta la rotura y durante este azolve colocar el cemento (**VER 3.2**).
- B. Cubicar el volumen de cemento necesario para llenar el pozo por lo menos un metro arriba de la parte superior de la rotura.

- C. Colocar el volumen de lechada que resulte de la cubicada, con una aceleración de fraguado.
- D. Esperar unas horas y sondear la cima del tapón, que por lo general se encuentra por debajo de la cota teórica, debido a la penetración de la lechada en formación, incluso puede darse el caso de que el cemento se haya perdido totalmente, lo que obliga a repetir la operación de cementado con lechadas mas espesas o incluso un concreto con agregados finos.

De una u otra manera se obtura la zona problemática, se espera hasta el fraguado total y se procede a perforar el tapón con la mayor broca que quepa en el ademe reparado.

## **3.2. Cementaciones.**

La cementación es una operación rutinaria en la construcción y es común en la rehabilitación de pozos.

### **3.2.1. Tapones de fondo.**

El tapón de fondo evita el “flujo de fondo” en los pozos, con la entrada de las aguas de menor calidad, que frecuentemente existen en la parte inferior de los acuíferos, además de la posibilidad de subpresiones en el pozo. Es una parte de cualquier pozo correctamente construido, pero por negligencia, por ignorancia del constructor y/o de la supervisión, es común encontrar pozos ya en operación que no lo posee, por lo que se puede considerar como una operación de rehabilitación.

Puede suceder que exista una rotura en el ademe, lo suficientemente cercana al fondo del pozo como para indicar la conveniencia de extender el tapón de fondo hasta tapar dicha rotura. Cuando se cuenta con una perforadora rotatoria, equipo poco usual en la rehabilitación de pozos, el medio de colocación de un tapón de fondo es la tubería de perforación, desprovista de barrena. En cambio si se trabaja con una máquina de percusión el tapón se coloca con una cuchara de dardo.

Cualquiera de los dos casos mencionados su tarea inicial consiste en la cubicación de la lechada necesaria para el tapón, cuando se coloque con pulseta, se debe cubicar también la capacidad de la cuchara y establecer cuantas cucharadas se requieren para alcanzar el volumen deseado. Si el tapón se desplaza por la tubería de perforación rotatoria, se debe cubicar el interior de la misma y este volumen, como mínimo, se inyecta de agua, después de cemento, para poder desplazarlo hasta el lugar deseado, asegurando, al terminar, la limpieza de la tubería de perforación empleada para la maniobra.

### **3.2.2. Cementaciones intermedias.**

Cuando se tienen roturas de tuberías en zonas amplias o si se requiere clausurar alguna zona indebidamente abierta, por donde penetran al pozo materiales finos, puede resultar más conveniente, desde el punto de vista técnico económico, una cementación que la colocación de una camisa interior.

La operación de colocación es similar a lo antes descrito, pero previamente a la cementación es necesario colocar un tapón perforable que contenga el cemento durante el fraguado. Un tipo de tapón que suele dar buen resultado es el de madera, ajustado al diámetro interior del ademe y lo suficientemente grueso para impedir que gire en él, este se baja suspendido con alambres o cable delgado, empujándolo con la herramienta de perforación. Una vez colocado el tapón en el cemento y después de esperar el fraguado, se verifica la posición del techo de la cementación. Aún cuando el volumen de cemento se cubique correctamente, es posible que éste se encuentre más debajo de lo esperado, ya sea por la mala construcción del tapón de madera que dejó escapar parte del cemento, o por que el cemento, pasando a través de la rotura del ademe, rellenó de huecos más o menos grandes en el exterior del pozo. Si esto ocurre puede ser necesario repetir la cementación una o más veces después de cubicar nuevamente el volumen faltante. En estas nuevas cementaciones ya no se requiere tapón, pues la cementación anterior cumple la función.

Ya fraguado el cemento en la posición indicada, se perfora junto con el tapón provisional, dejando sólo un anillo alrededor del ademe que tapona y consolida la zona problemática. Se debe considerar la posibilidad de que un tapón de cemento como el descrito forme un anillo alrededor del pozo, que en el futuro impida la reposición de filtro granular abajo de esa cota.

### **3.2.3. Composición de la lechada.**

En el empleo de lechadas se recomienda de densidad de  $1.8 \text{ gr/cm}^3$ , lo cual se logra con 27 litros de agua por saco de 50 kg de cemento. Conservando esta misma densidad, la preparación de  $1 \text{ m}^3$  de lechada requiere de 637 litros de agua y 1,169 kg de cemento (aproximadamente 363 litros). La densidad mínima permisible es de 1.6 equivalente a 42.5 litros de agua por saco de 50 kg de cemento, o bien 730 litros de agua y 869 kg de cemento para prepara  $1 \text{ m}^3$  de lechada.

Para evitar el agrietamiento de la lechada al endurecerse, se puede agregar a la mezcla 5% de bentonita, con respecto al cemento. Esto no es recomendable cuando la lechada se bombea, si no cuenta con una bomba de buena potencia, pues la adición de la bentonita eleva la viscosidad del fluido.

En el fraguado se emplean acelerantes, el más usual es el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

Los tapones, tanto de fondo como intermedios, cuando se colocan con cuchara, pueden construirse con concreto de baja proporción de grava, en lugar de lechada de cemento lo cual presenta la ventaja de su mayor solidez. Si se trata de un tapón intermedio, esta característica permite que no se fracture con facilidad a la hora de ser perforado, en cambio tiene el inconveniente de una menor movilidad para rellenar posibles cavidades.

### 3.3. Cepillado de ademes.

Los ademes incrustados con costras de oxidación o colonias de bacterias ferruginosas y que se desarrollan física y químicamente, requieren de cepillado para limpiarlos en su interior, pues permite eliminar con facilidad las costras interiores, total o parcialmente, y se logra aumentar la eficacia del desarrollo.

El cepillo se construye como se muestra en la figura 9, con dos placas de acero, que confinan trozos de cable también de acero, cuyas puntas floreadas sobresalen de las placas. Los cables cubren un diámetro igual al del ademe, y las placas serán de diámetro menor de unos 7.6 cm (3") al interior del ademe a cepillar. Además de estar oprimidos por las placas, los trozos de cable se soldán a una de las placas, para evitar su caída al pozo durante la operación del cepillado. La rutina del cepillado es similar a la del pistoneo, pero el tiempo de operación es generalmente más breve.

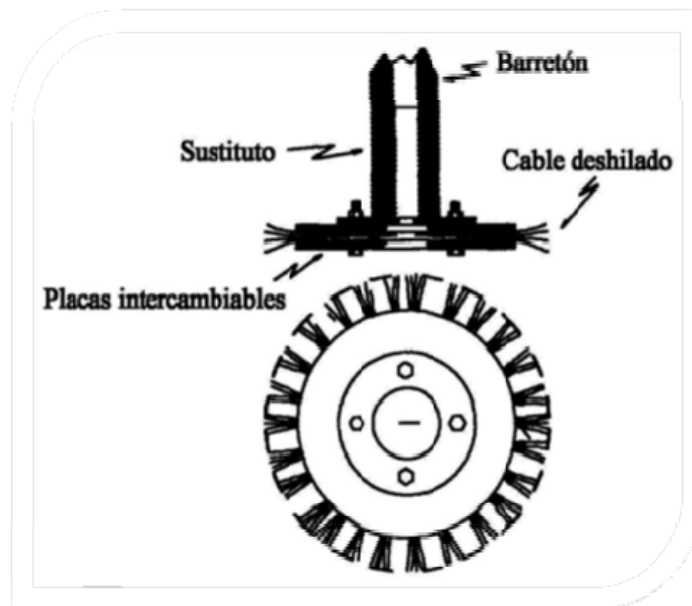


Figura 9.- Cepillo con cerdas intercambiables

### **3.4. Sonar Jet.**

Las microexplosiones (Sonar jet), es un método que hace algunos años tuvo popularidad, se presentaba como una nueva modalidad para el desarrollo de pozos, aunque nunca se dijo como se lograba tal efecto. Se han realizado numerosos registros de video antes y después de aplicar el Sonar Jet, encontrando que sólo elimina parcialmente las incrustaciones, en otro caso se realizo un video en el mismo pozo después de cepillarlo, se observó una notable mejoría respecto al Sonar Jet. Se tiene un costo mucho mayor que para el cepillado, razones que han provocado una disminución rápida de la popularidad del método.

### **3.5. Colocación de Falsos Ademes.**

Se le conoce como falso ademe o “camisa”, aquel cuya función es soportar parcialmente al terreno solo en ciertos tramos problemáticos, o bien en impedir el paso de los sólidos a un pozo que los produce por la razón que fuere.

#### **3.5.1. Falsos ademes en pozos con ademes rotos.**

Si el ademe original de un pozo presenta roturas, es debido a la corrosión, de tal magnitud que no resulta práctico colocar camisas con la prensa electrohidráulica, la única posibilidad de rescatar el pozo afectado es la colocación de un falso ademe colocado en el interior del dañado.

Si el único problema es la rotura y el pozo no es productor de arena, el nuevo ademe puede ser de diámetro inferior al original y la longitud, como mínimo, llegara desde el fondo del pozo, hasta unos 3 o 4 m arriba de la parte superior de la zona problemática, pero en pozos profundos, puede resultar conveniente prolongarlo hasta la superficie. La proporción y posición de los tramos ciegos y de cedazo, se proyecta con base en la información completa que se recabó en el pozo desde su construcción y si ésta no existe, siempre es recomendable la observación de un registro de video.



### **3.5.2. Falsos ademes en pozos productores de arena**

La colocación de nuevos ademes en pozos productores de arena requiere, por una parte, de un diseño de filtro granular, cedazo y velocidades de entrada de agua al pozo, similares a los que se realizan en un pozo nuevo, con la diferencia de que la muestra en que se basa el análisis granulométrico proviene de arena producida por el pozo. El diámetro exterior del nuevo ademe es de preferencia de 15.2 cm (6") y como mínimo 10.2 cm (4") menor que el diámetro inferior del ademe defectuoso. El ademe a colocar debe estar provisto de centradores que aseguran que el filtro lo cubra perimetralmente, esta condición en muchas ocasiones es imposible realizar esta rehabilitación, pues no se cuenta con el diámetro suficiente para dar cabida a la pareja ademe-filtro o bien, el nuevo ademe es de un diámetro tal, que impide la entrada de la bomba.

Para prescindir esta restricción de diámetro es frecuente que los nuevos ademes se coloquen solo en la porción filtrante del pozo debajo de la cámara de bombeo, lo que se conoce comúnmente como un ademe telescópico.

Un falso ademe puede prolongarse hasta la superficie, en cuyo caso su colocación no difiere del ademado de un pozo nuevo o bien dejarse a partir de cierta profundidad, con la que se abarata la operación y se respeta el diámetro de al menos la sección superior del pozo. En este caso la operación resulta un poco más complicada, pues requiere de un dispositivo soltador para dejar en el fondo el falso ademe al llegar a la profundidad deseada. Se debe contar, con un tapón cónico que impida la entrada del filtro granular al interior del falso ademe, pero que no permita su colocación en el espacio anular entre ambos. Durante la colocación del filtro granular se debe sondear constantemente el pozo para verificar que no llegue a cubrir el tapón cónico provisional.

### **3.6. Colocación de Camisas.**

Dentro de las opciones para reparar pozos colapsados o rotos se encuentra la de la prensa electrohidráulica (**VER 3.10**), con la que es posible colocar camisas interiores que tapen las roturas del ademe.

### **3.7. Determinación de la Geometría del Pozo.**

Es necesario en cualquier trabajo de rehabilitación, conocer las condiciones de pozo, para así poder planear las acciones a efectuar. La calidad de los registros que se describen a continuación establece el éxito o fracaso de la rehabilitación.

#### **3.7.1. Bloques impresores.**

En las tareas de rehabilitación, en especial las de la pesca, es necesario conocer las condiciones reales en las que se encuentra el objeto que causa el problema, para tal fin se emplean frecuentemente los bloques impresores que son herramientas, por lo general construidas en campo, que se unen firmemente a la sarta de perforación, o a una cuchara de dardo que en la parte inferior consta de un receptáculo que contenga algún material plástico (asfalto, plastilina, jabón, etc.), que es el que recibe la impresión del objeto desconocido. (**VER 3.9.1.**)

#### **3.7.2. Calibración del pozo.**

La sección transversal de un pozo debe ser perfectamente circular a lo largo de toda su profundidad y libre de bordes o cualquier otro tipo de obstáculos que impidan el descenso de la bomba, no deben existir codos o cambios bruscos de dirección en el ademe. Con objeto de verificar las condiciones enunciadas se corre en los pozos el llamado “registro de calibración”, que consiste en pasar a todo lo largo de pozo un “calibrador” que debe bajar suave y libremente.

El Calibrador se construye con 2 ó 3 tubos del diámetro comercial inmediato inferior al ademe del pozo que se esta probando, por lo tanto resulta en una longitud de 12 a 18 m, es recomendable un calibrador de 18 m con respecto de uno de 12 m, pero cuando se esta trabajando con máquinas pequeñas puede ser imposible el manejo de una tubería de esa longitud. La bajada de la herramienta debe ser suspendida con cable con el objeto de que cualquier obstáculo se pueda detectar con facilidad. Con la calibración se detectan ademes ovalados, soldaduras de tubos que no coinciden, orejas o roturas que doblen hacia el interior del pozo, así como cambios bruscos de la dirección del pozo (codos).

Si se calibra un pozo de más de un diámetro se requiere de varios calibradores de modo que si un tamaño determinado no alcanza a bajar a partir de una profundidad, se pueden correr otros de tamaños inferiores sucesivos, hasta que uno pase.

### **3.7.3. Registro de video**

Es una herramienta de la cual se dispone desde hace algunos años y que resulta invaluable para conocer el estado real de un pozo, por lo que se debe considerar como un requisito de rutina, previo a cualquier rehabilitación. Antes de correr un registro de video, es recomendable dejar el pozo en reposo el tiempo necesario para que se depositen los sólidos en suspensión que pudiera haber. Esta clarificación del agua, permite una imagen nítida, se favorece aplicando al pozo alumbre o hipoclorito de calcio, si bien el efecto de estos productos puede variar notablemente de pozo a pozo.

### **3.7.4. Registro de verticalidad**

En la construcción de pozos profundos, perforados con máquina rotatoria, se pueden tomar lecturas de inclinaciones de la perforación, con inclinómetros que se corren por el interior de la tubería de perforación y reportan el ángulo que se tiene en el punto medido, pero esta técnica requiere de un equipo sofisticado y caro que no resulta práctico ni económico para el rehabilitado de pozos.

La falta de verticalidad de un pozo y el cambio en su dirección, se manifiesta con mayor intensidad en los pozos equipados con bomba de flecha, que los que tienen bomba sumergible, pero en cualquiera de los dos casos si se tiene el problema de contacto entre la bomba y el ademe, que puede favorecer la corrosión de alguno de los dos o de ambos, además de un cierto desgaste originado por la vibración que pudiera ocasionar la bomba. El método más usado para medir la verticalidad de un pozo ya terminado se basa en el principio de los triángulos semejantes, ver figura 10.

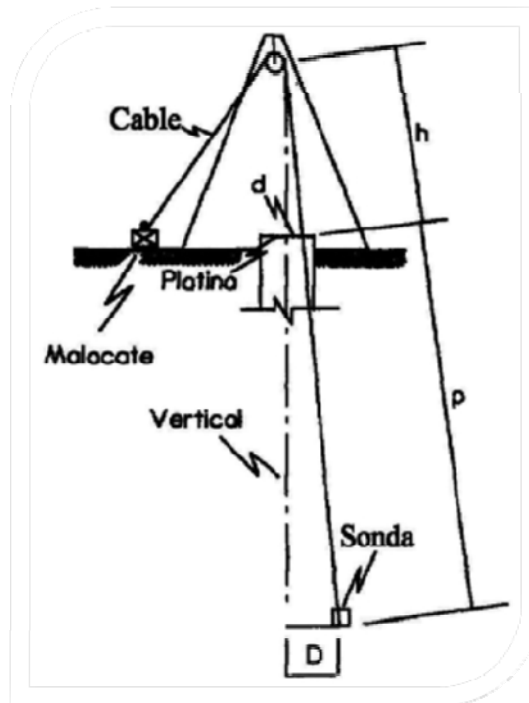


Figura 10.- Relación de triángulos semejantes en registros de verticalidad

Calculo de la desviación:  $\frac{h}{d} = \frac{(h+p)}{D}$  FORMULA (8), Despejando D se

obtiene:  $D = (h+p) \frac{d}{h}$  FORMULA (9)

Donde:

h=Altura eje de polea de donde cuelga la sonda respecto de la platina, en m.

d =Desviación leída en la platina, en mm.

p =Profundidad de la sonda respecto a la platina, en m.

D =Desviación real, en cm.

Para lo cual la formula quedará:  $D = \frac{(h+p)d}{10h}$       FORMULA (10)

Límites permitidos en la desviación de pozos.

Para establecer estos límites puede resultar peligroso, pues fácilmente se puede caer en descalificar prácticamente cualquier pozo al que se le realice la medición, no importa tanto el ángulo de desviación del pozo en el que hace énfasis las normas, sino la forma que esta adopte, lo que resulta malo para la bomba de flecha son los cambios de dirección de pozo (los codos), que obligan a la columna a trabajar arqueada, con rápidos desgastes de las chumaceras y frecuentes roturas.

### **3.8. Reparación de la Bomba del Pozo.**

Es frecuentemente que si existe una bomba en malas condiciones, el encargado de la rehabilitación deba extraerla del pozo y enviarla con el dueño de la obra o bien encargarse él mismo de la reparación electromecánica.

### **3.9. Pescas.**

La pesca de herramientas, cables, objetos caídos dentro del pozo e incluso los objetos a pescar es una labor que requiere de mucho tiempo e ingenio, por ser muy diversos los objetos a pescar. La mejor recomendación consiste en tratar de evitar las pescas en lo posible, revisando y tomando las debidas precauciones, como el estado del cable, revisión periódica de uniones roscadas, y no exigir a los equipos condiciones de trabajo fuera de especificaciones.

Las operaciones de pesca son comúnmente sencillas, inmediatamente después de producirse el pescado, pero cualquier error puede complicarlas e incluso imposibilitarlas. Por lo que es preferible no hacer nada antes que proceder en forma inadecuada.

Para realizar la maniobra de pesca, se tiene que conocer las dimensiones de posición de lo que se tiene que pescar; si el objeto ha quedado pegado, centrado, inclinado hacia algún lado, dentro de una cavidad, cubierto de desprendimientos, o si la herramienta u otro objeto tiene deformaciones. Para conocer esto se puede aplicar varios métodos como, introducir una cámara de video hasta la profundidad de pesca, o correr un bloque de impresión. En prevención de posibles pescas, el operador del sistema de pozos debe siempre anotar las dimensiones de las diferentes herramientas y objetos introducidos al pozo.

### **3.9.1. Bloque de impresión.**

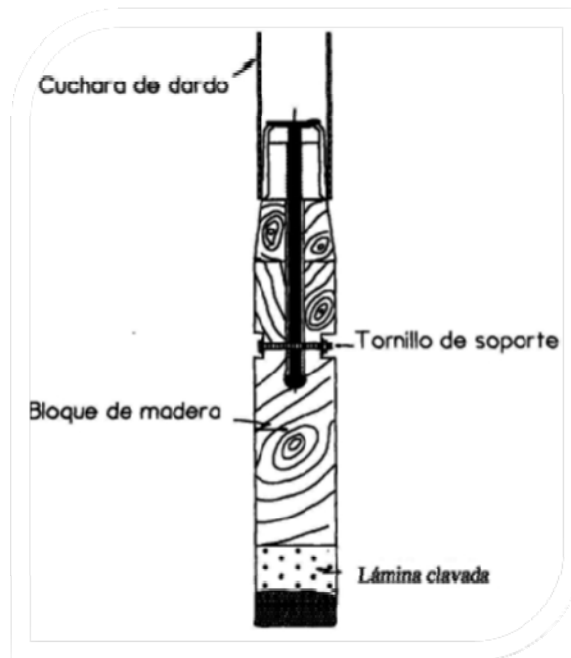
Es una herramienta que tiene por objeto obtener una impresión de algún objetivo extraño al pozo que se detecte en su interior para identificarlo o bien para establecer su posición. Este es de un diámetro cercano al interior del ademe del pozo y se fabrica a base de material plástico, soportado por algún dispositivo. Los materiales plásticos mas empleados son la plastilina, el jabón amasado, el plomo o el chapopote y dependiendo del que se utilice se decide la construcción de la herramienta para que no se desprenda.

Antes de tomar la impresión se debe marcar la profundidad exacta a la que se encuentra el cuerpo problema, de modo que al tomar la impresión, el bloque apenas toque al objeto, de modo que su huella sea nítida y sin deformación. El bloque impresor tiene la ventaja de manifestar la posición del cuerpo dentro del pozo y su forma, aun cuando solo tenga una visión en “planta” de el. Una buena impresión de un “pescado” significa un éxito de la pesca.

Cuando se cuenta con una perforadora de percusión, el bloque impresor puede mejorarse con la sarta de perforación, o lo que es mas recomendable con la línea de la cuchara.

Si se trabaja con una cuchara de dardo, ver figura 11, el bloque de impresión se hace con taco cilíndrico de madera de 1 metro de longitud aproximadamente y de diámetro de 1 a 2.5 cm de inferior al interior de la tubería.

Si el ademe esta colapsado o con roturas, conviene reducir aun mas el diámetro del cilindro. A un extremo del taco se le da forma cónica para igualarlo con el diámetro de la cuchara y se le practica una ranura para que entre la lengüeta de la válvula de dardo. Es necesario pasar un tornillo que fije el taco a la cuchara.



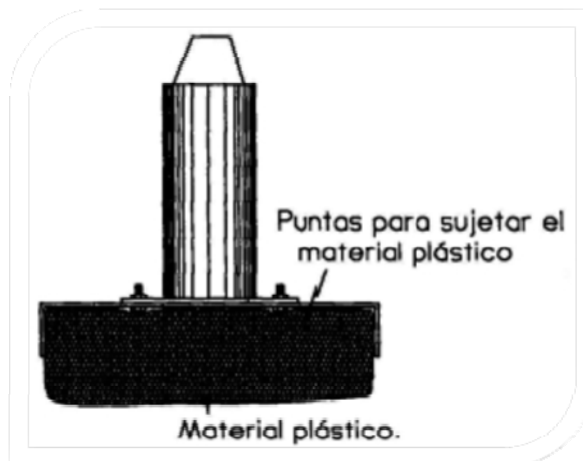
**Figura 11.-Bloque impresor de madera**

El extremo inferior se rodea de una chapa fina de unos 20 cm de ancho y de longitud suficiente para que lo envuelva por completo. Esta chapa se fija procurando que sobresalga unos 10 cm de su extremo. En el interior de la cavidad se clavan, aproximadamente hasta la mitad, algunas puntas, alambre o rejillas sostenidas al taco para ayudar a mantener dentro de la cavidad la sustancia plástica con que se ha de rellenar y que sirve para sacar la impresión o molde de la herramienta.

Para realizar la impresión se baja la cuchara sin el taco, para determinar la profundidad y se marca el cable exactamente. Se coloca el taco y se baja hasta tener contacto con la herramienta. La marca hecha en el cable indica cuando ocurre esto, desde luego restando la altura del taco.

Conviene que la cuchara con el taco se asiente bien sobre el pescado, pero se tiene cuidado de no presionar demasiado. Después se sube el taco despacio y se retira el bloque con el molde deseado.

Si se desea tomar la impresión utilizando la línea de perforar, se debe contar con un sustituto de rosca cónica que se acople al barretón de la sarta. Esta pieza remata en la pieza inferior en un disco de diámetro de unos 7.6 cm (3") mayor que el cuerpo del sustituto, con perforaciones para tornillos con que se fijan los bloques impresores de diferentes diámetros, ver figura 12. El modo de operación es similar al tomado con la cuchara, pero las maniobras que requiere resultan más lentas y complicadas.



**Figura 12.- Bloque impresor metálico**

La gran diversidad de objetos a pescar origina a su vez una gran variedad similar de herramientas de pesca de fabricación de línea, sin que esto excluya que muchas pescas se realicen con pescantes construidos en campo, y que varían notablemente según el ingenio y la experiencia del perforista.

### **3.10 Prensa Hidráulica.**

Es una herramienta que consta de tres gajos que se pueden abrir y cerrar al ser accionados por un pistón al que se le aplica la presión con una bomba hidráulica.



Este conjunto es el que se introduce al pozo y recibe la energía necesaria a través de un cable conductor eléctrico, que a su vez recibe corriente de un generador con motor de combustión interna. Se ejerce una fuerza de hasta 150 toneladas lineales.

La prensa se baja hasta la profundidad donde se presenta la falla, por medio de flechas de bomba o con cable y es capaz de ejercer presiones suficientes para que las deformaciones o las puntas del ademe roto vuelvan a su posición original, esto generalmente se logra después de repetir la maniobra varias veces. Con estas maniobras se logra un efecto similar al que se consigue con un trompo.

Una vez que se enderezo el ademe roto o colapsado, se procede a colocar una camisa de lámina (8 mm) cuyo diámetro exterior corresponde al interior del ademe que se pretende reparar. La camisa lleva unas estrías o canales con el fin de disminuir el diámetro durante el descenso de la herramienta y permitir que sea alcanzada la profundidad requerida. Cuando se aplica presión, los canales se planchan y la camisa alcanza el diámetro definitivo ver figura 13 inciso a). En este caso, se detecta el problema, con un registro de video, b) y c) la prensa se baja hasta la zona de rotura y presiona el ademe hasta recuperar el diámetro original, d) y e). Se baja una camisa corrugada que se presiona contra el ademe y f) La camisa queda coloca.

Las camisas tienen una longitud aproximada de un metro y conviene soldar, en el perímetro superior e inferior de ellas, cuatro tuercas, que al ser incrustadas en el ademe original, por la presión de la prensa, incrementan la adherencia entre la camisa y el ademe.

Para la instalación de una camisa, se monta esta en la prensa hidráulica cerrada, empleando un cable, que en la primera vez que se accione la prensa se rompe, dejando adherida la camisa del ademe, por medio de las tuercas y la fricción; la prensa se vuelve a accionar hasta dejar completamente adherida la camisa.

Se detecta el problema, en este caso con un registro de video T.V. (a) y (c) La prensa se baja hasta la zona de la rotura y presiona el ademe hasta recuperar el diámetro original. (d) y (e) Se baja una camisa corrugada que se presiona contra el ademe. (f) La camisa queda colocada.

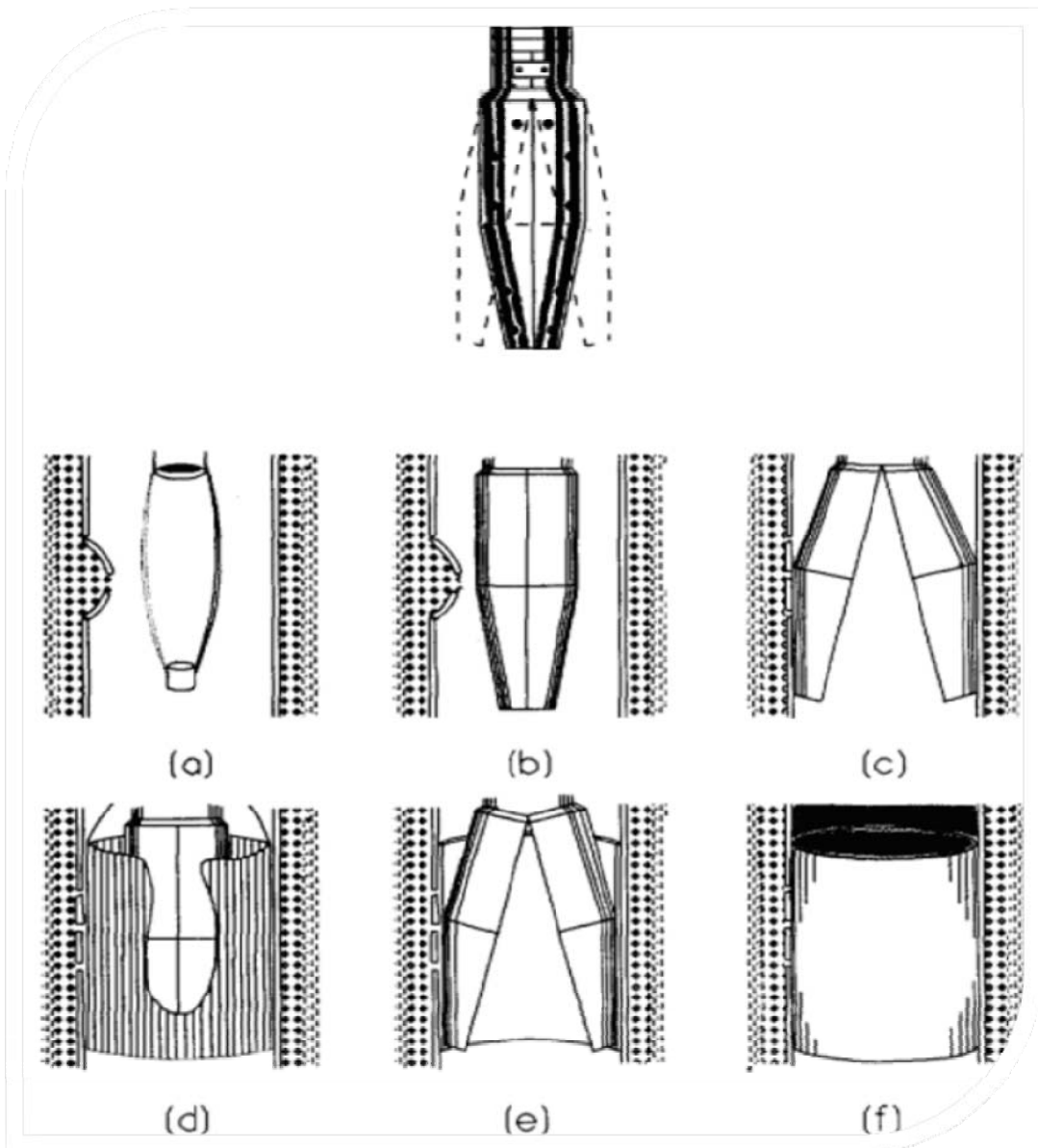


Figura 13.- Prensa Hidráulica.

### **3.11. Profundización del pozo.**

En ocasiones, debido a la sobreexplotación de un acuífero, los niveles de bombeo descienden y el pozo puede resultar corto e ineficiente para las nuevas condiciones. Si sus características geométricas lo permiten, el pozo puede ser perforado por su interior hasta alcanzar las condiciones de explotación actuales. Para que esta operación sea posible se requiere de tres condiciones preliminares:

- ▶ Que el pozo tenga un diámetro suficientemente amplio para permitir la reperfusión por su interior y posteriormente el ademado y colocación del filtro cuando la perforación se efectúa en materiales no coherentes. Por tanto, si se requiere de filtro granular, el diámetro mínimo necesario para efectuar esta operación será el de 32.39 cm (12 ¾”) y si se deja el pozo descubierto en un acuífero en rocas coherentes, de 21.91 cm (8 5/8”).
- ▶ El pozo a profundizar se debe terminar con un tapón de cemento sin modificación del diámetro original del ademe. Nunca con terminación de “punta de lápiz”.
- ▶ El ademe original del pozo debe ser de acero, con cedazo de ranura, de tipo de canastilla o tipo concha, pues ademes menos resistentes, como el de P.V.C. o el cedazo de alambre helicoidal, difícilmente resisten el roce o incluso golpes de la pesada herramienta de perforación durante las operaciones de perforación.

La profundización de pozo se puede realizar con una perforadora de cualquiera de los sistemas usuales, pero excluyendo, el sistema de perforación rotatoria directa con lodo bentónico, ya que contamina la parte superior del pozo ya desarrollada.

En la perforación de un pozo se debe mantener el mismo control litológico y se corren los registros habituales de un pozo nuevo. Asimismo, el diseño del filtro granular y cedazo es similar.

El ademe que soporta la porción perforada del pozo, por lo general, no continua dentro del ademe original, para no limitar el diámetro de la cámara de bombeo, no efectuar un gasto innecesario, ni aumentar las pérdidas de carga al penetrar el agua al pozo; pero como medida de seguridad, la nueva tubería se traslapa al menos unos tres metros dentro de la antigua y se deja en el fondo mediante un dispositivo soltador, variable según el tipo de perforadora empleada en la maniobra.

La operación de colocación del filtro granular dentro del tramo reperforado, una vez soltado el ademe (Fig. 14), se debe realizar de la siguiente forma:

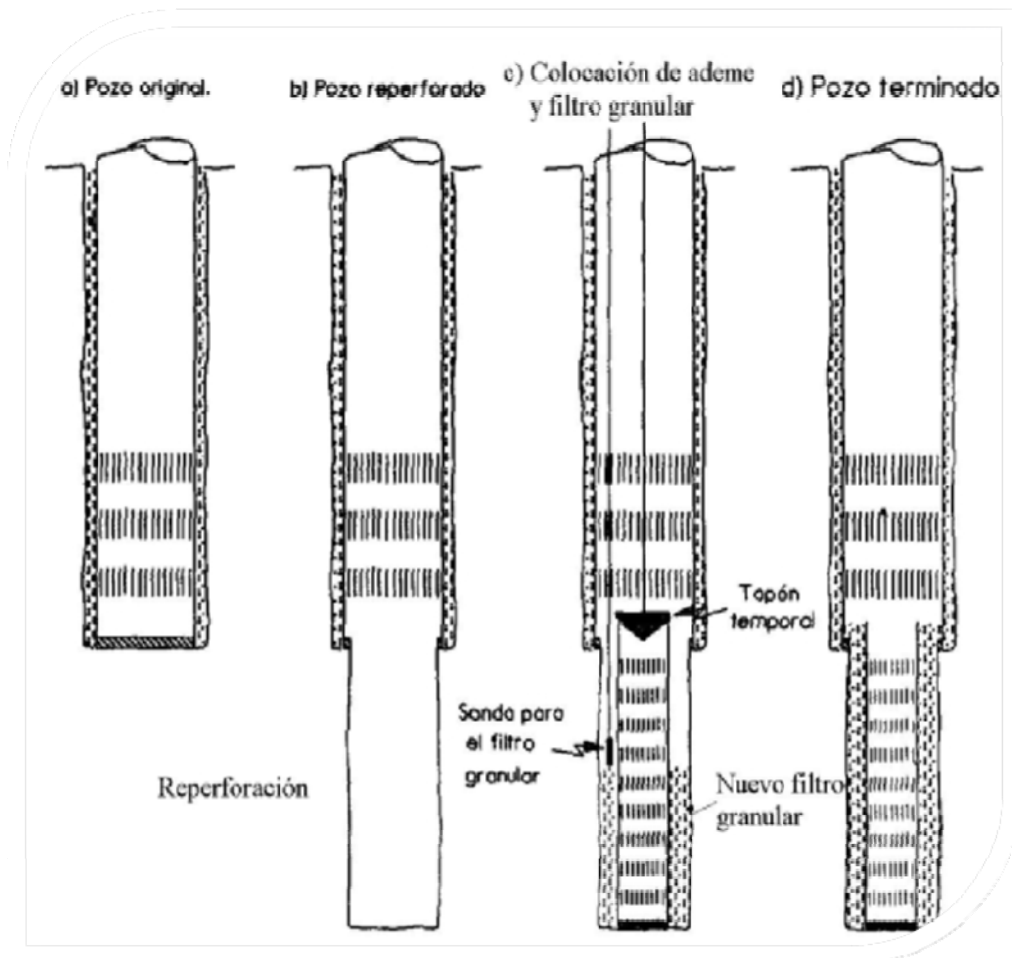


Figura 14 Profundización de un Pozo.

1. Colocación de un tapón cónico, bajado con cable o tubería, con el vértice hacia abajo, de modo que se introduzca dentro de la boca del nuevo ademe. La base del cono debe ser del mismo diámetro exterior que la tubería que tapona, o lo que es lo mismo, solo 1.25 cm (1/2") mayor que el interior de la tubería.
2. El filtro granular, previamente cubicado, se vierte desde la superficie; su colocación se debe verificar continuamente mediante una sonda, pues nunca debe sobrepasar la cota de la boca donde se encuentra el tapón. En caso de que se rebase dicha cota, antes de haber tomado al menos el volumen teórico, es indicio de acuñamiento del filtro ("puenteo"), en cuyo caso se intentara romper el "puente", agitando el pozo lo más suavemente posible, con alguno de los métodos de desarrollo. **(VER 3.14.)**
3. Es frecuente que el pozo tome un volumen de filtro superior al teórico, al rellenar la posible sobreexcavación que se pudo tener durante la perforación, por lo que conviene adquirir un volumen de filtro que exceda en un 20 a 30%, el volumen teorice, según el material perforado.
4. Cuando el filtro alcance la cota de la boca del tubo nuevo se suspende el engravado y se extrae el tapón cónico, procediéndose a desarrollar el pozo, como si se tratara de uno nuevo.
5. Se procede a aforar o se prueba el pozo con su bomba de operación, comparando la nueva capacidad especifica con la que se tenía antes de la rehabilitación. Si se encuentra una variación notable en este valor, conviene realizar un aforo formal, que quizás concluya en una nueva selección de bomba.

### **3.12. Reposición de Filtro Granular.**

A medida que un pozo permanece en operación y preferentemente si esta mal desarrollado, el filtro granular va sufriendo un cierto reacomodo entre gránulos, que se traduce en un descenso de nivel que se manifiesta en la superficie, hasta que alcanza la mejor compactación.

Este descenso es más notorio cuando el pozo es productor de arena, pues el material extraído va dejando huecos que el filtro rellena, consecuentemente en estos casos el descenso del filtro es más acelerado y permanente. En cambio, cuando un pozo explota (acuíferos kársticos o en fracturas), el asentamiento del filtro es leve y solo ocurre durante el inicio de la operación.

Un pozo se desarrolla mecánicamente, en este caso, dentro de las maniobras de rehabilitación, la extracción de finos que se produce ocasiona un notable descenso del nivel del filtro. Este descenso es una de las señales determinantes de que el desarrollo se esta efectuando eficientemente.

Sea cual sea el motivo del descenso del filtro granular, este se debe reponer a la brevedad posible, a partir de un volumen de filtro que se debe tener cerca del pozo para estos fines, y por otra parte, el pozo debe contar, desde su construcción, de algún conducto para reponer el filtro, sin necesidad de efectuar maniobras complicadas.

### **3.13. Verificación de la Rehabilitación.**

La verificación esta enfocada a reparar un defecto físico en el pozo, como ademes colapsados o rotos, pescas, etc., evidentemente el éxito de la maniobra se manifiesta en la reparación del daño, y la supervisión a lo más requerirá de una inspección visual del pozo con un registro de video.

#### **3.13.1. Aforo de pozos**

La rehabilitación se origino por una baja de eficiencia, provocada por incrustación, azolve, bloqueo de acuífero y filtro por finos, o problemas regionales, la verificación de los resultados de las maniobras de rehabilitación se mide por medio de un aforo. Este tiene por objeto establecer cual es el caudal óptimo al que se debe explotar un pozo, y la cual es la operación que culmina la construcción del mismo, pero también es una operación de rutina en la rehabilitación de pozos, ya que por lo general estos pozos cambian sus condiciones de operación y es necesario conocerlo.

El análisis e interpretación de los resultados de la prueba se describen a continuación:

Este aforo normalmente es más corto que el realizado en un pozo nuevo (de 24 a 48 hr), pues ya se tienen antecedentes de las características del pozo. Los resultados se comparan con los datos de operación previos a la rehabilitación.

Se debe hacer énfasis que el éxito de la rehabilitación no se calibra en función al incremento en el caudal, si no en el de su eficiencia, o como mínimo, cuando el pozo no se vuelve a aforar, en su capacidad específica para un caudal o un nivel determinado, lo que se manifiesta como distintas combinaciones del caudal-nivel dinámico en alguna de las condiciones siguientes:

- ⊕ Mismo caudal que antes de la rehabilitación pero menor nivel dinámico.
- ⊕ Mayor caudal para un mismo nivel dinámico.
- ⊕ Mejorar las dos condiciones anteriores.
- ⊕ Una condición mejora y la otra empeora pero de tal modo que la relación beneficio-costo-oportunidad resulta positiva.

Para la realización del aforo se necesita de:

#### **Equipo de bombeo**

En los aforos se emplean bombas tipo turbina, accionadas por un motor de combustión capaz de variar revoluciones, por lo general entre 900 r.p.m. y 2000 r.p.m., la columna debe tener una longitud necesaria para que la bomba no succione aire al abatirse el nivel dinámico. Además de la bomba, se debe contar con un tacómetro de contacto, una sonda preferentemente eléctrica, con cable suficiente y un dispositivo de medición de caudal que consiste en un tubo con orificio calibrado y piezómetro. Para la realización del aforo se debe seleccionar una bomba capaz de entregar un caudal del orden del 30% superior al esperado para operar el pozo.



### **Programa de aforo**

Este tiene como finalidad establecer dos parámetros básicos: el caudal y el nivel dinámico, esto se resuelve una vez instalada la bomba, realizando un ensayo de aforo, la cual se logra al alcanzar la mayor parte de abatimiento correspondiente a un caudal dado durante un tiempo relativamente muy corto generalmente una hora puede ser suficiente), sucesivamente, una vez medido el nivel estático del pozo, se realiza el ensayo, seleccionando cuatro escalones de bombeo incluyendo el mínimo y máximo caudal que la bomba pueda proporcionar. Un ejemplo práctico puede ser 900 r.p.m., 1250 r.p.m, 1600 r.p.m. y 1900 r.p.m. y bombeado del orden de una hora en cada escalón, cuyo resultado del aforo se pueden obtener 3 conclusiones:

Con el máximo de revoluciones el nivel dinámico apenas se desplaza, lo que indica que la bomba es insuficiente para el pozo y la prueba definitiva no debe realizarse hasta que se cambie la bomba por otra de mayor capacidad.

Se logra abatir el pozo varios metros, lo que significa que la bomba es la adecuada.

El nivel dinámico alcanza la succión de la bomba, lo que manifiesta en un flujo de agua interrumpido por la expulsión de bocanadas de aire mezclado con agua, esto significa que el pozo no es capaz de abastecer a la bomba, al menos en ese nivel, o que a esta le falta mas longitud de la columna.

Una vez concluido el ensayo de bombeo se mide la recuperación del nivel dinámico. Generalmente se considera que un aforo confiable debe durar unas 72 hr, aunque en zonas o pozos bien conocidos puede reducirse a unas 48 hr., un ejemplo para un aforo de 49 hr se puede programar escalones a: 900, 1150, 1300, 1450, 1600, 1750 y 1900 r.p.m con 7 hr de duración c/u y para uno de 70 hr los mismo escalones de bombeo, pero con una duración de 10 hr c/u., en cada escalón de bombeo se debe tomar lecturas de nivel dinámico, del piezómetro y verificar si se mantienen las r.p.m. en los siguientes intervalos de tiempo:




1 min	10 min	1 hr	30 min 5 hr
2 min	15 min	2 hr	6 hr
4 min	20 min	2 hr	30 min 7 hr fin en aforo 49 hr.
6 min	45 min	3 hr	8 hr
8 min	1 hr	4 hr	9 hr
			10 hr fin en aforo 70 hr

Con el proceso de aforo resulta ininterrumpido, largo y tedioso para el personal de campo, no es raro, sobre la noche que se olvide de tomar alguna lectura, dado que esto no debe ocurrir, el personal de campo debe estar consciente de que existe comprensión para alguna omisión, pero no para la invención de datos que no se tomaron, situación que por lo general no es fácil de detectar al analizar los registros.

Al terminar el último escalón a 1900-2000 r.p.m. se suspende el bombeo y se repite el ciclo de lecturas, pero ahora en forma descendente, hasta alcanzar la recuperación del nivel estático, momento en que se da por finalizado el trabajo.

#### Interpretación del aforo

Con los datos de lecturas piezométricas obtenidas en campo, el diámetro de la tubería de descarga y el orificio calibrado, se calcula el caudal para cada escalón de bombeo, utilizando las tablas que se presentan en el Anexo (de aforo) y se elabora la gráfica de aforo, donde se presenta el caudal en el eje de las abscisas y los descensos en el de las ordenadas, además se pueden graficar los descensos contra el tiempo para establecer la eficiencia del pozo, esta grafica puede presentarse de tres formas básicas y una cuarta que es la superposición de dos de las básicas:

-  La grafica tiene forma curva con la concavidad hacia abajo esto se puede observar en la fig. 15 a, en principio, la bomba es adecuada a las características del pozo, a reserva de que se haya llegado al caudal óptimo de explotación.

- ✦ La grafica tiene forma recta como se observar en la fig. 15 b, en principio la bomba es de poco caudal con respecto a las características del pozo e incapaz de realizar el aforo, el único dato útil que se deduce de la prueba, es que el pozo es capaz de proporcionar mayor caudal que el máximo obtenido en el bombeo.
- ✦ La grafica tiene forma de curva con la concavidad hacia arriba se puede observar en la fig. 15 c, durante el bombeo el pozo continúa con el proceso de desarrollo y están mejorando sus características hidráulicas, se debe suspender el aforo y reanudar el proceso de desarrollo, reiniciándolo cuando se tenga la certeza de que esta operación se ha realizado correctamente.

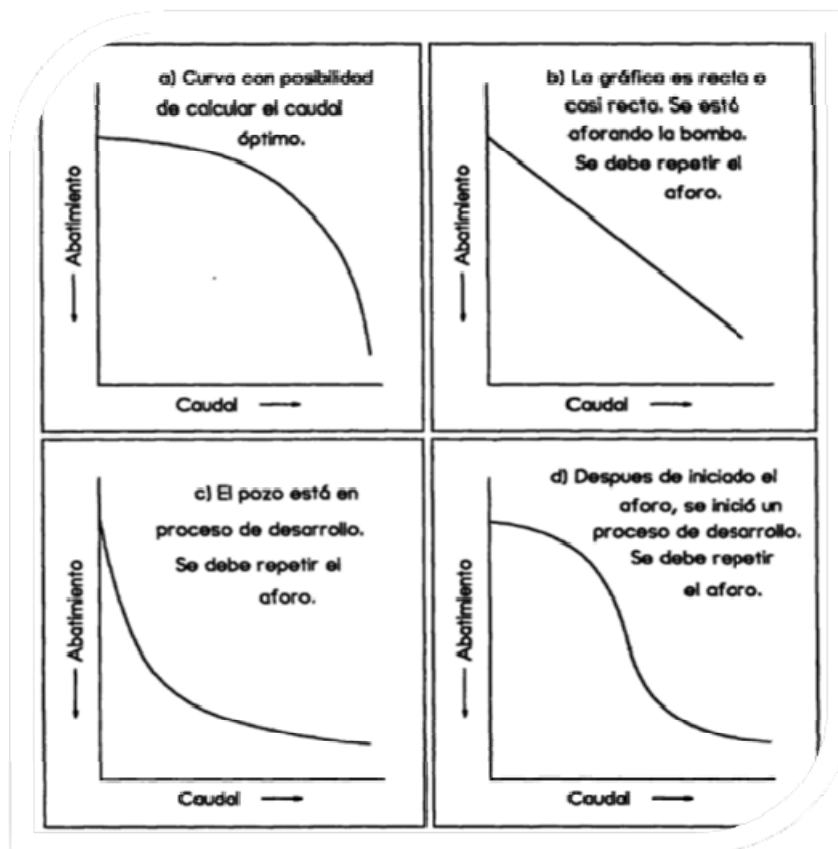


Figura 15.- Formas básicas de la curva

- ✦ Durante un tiempo, la grafica presenta la concavidad hacia abajo y a partir de cierto momento se invierte hacia arriba se puede observar en la fig. 15 d. Esta condición indica que el aforo se había llevado normalmente hasta un momento en que se tomo en un proceso de desarrollo del pozo, con esto se debe suspender el aforo y completar el aforo.

### **3.14. Desarrollo de Pozos**

Esta es una de las actividades más primordiales en la construcción de un pozo pero también forma parte de los trabajos de mantenimiento y rehabilitación que todo pozo requiere para mejorar el funcionamiento. Se le llama desarrollo a la serie de acciones de carácter físico o químico, tendientes a lograr una mejor eficiencia, los objetivos que tiene son los siguientes:

- ◆ Mejora la capacidad especifica del pozo a limpiar las ranuras del cedazo y del filtro.
- ◆ Estabilizar la formación arenosa alrededor del pozo, retardando su entrada a el, aun cuando el diseño del filtro no fuera el adecuado.
- ◆ Se ha observado que los pozos bien desarrollados, en zonas con aguas incrustantes o corrosivas, tienen una vida útil mas prolongada que aquellos que no fueron desarrollados.
- ◆ En pozos perforados con máquina rotatoria directa y lodos bentoniticos, el desarrollo es la única posibilidad de eliminar el enjarre del lodo (cake), que disminuye la permeabilidad en el entorno del pozo.

#### **3.14.1. Métodos de desarrollo químico.**

##### **📖 Tratamiento con polifosfatos.**

Estos son conocidos como dispersores o dispersantes de arcillas, son agentes tensoactivos semejantes a los detergentes pero menos espumantes, que tienen la propiedad de separar los aglomerados de partículas, si se hace una fuerte agitación.

El más usual es el hexametafósforo de sodio, pero también existe el tetrapirofósforo sódico, el septafósforo sódico y el tripolifósforo sódico.

Este tratamiento puede incrementar su efectividad, cuando se explotan acuíferos granulares con una fracción arcillosa y cuando se emplea en pozos que han sido perforados con lodo bentonítico.

Las dosis recomendadas varían según el fabricante, entre 10 y 50 kg por cada m<sup>3</sup> de agua en el pozo, añadiendo 1 kg de hipoclorito cálcico, que le confiere acción oxidante.

Los polifosfatos pueden aplicarse combinados con ácido, sobre todo en pozos incrustados o con hipoclorito de calcio en los tratamientos de bacterias ferruginosas, estos deben de durar al menos 24 hr., en las que se debe mantener el agua del pozo agitada y pueden requerirse 2 o mas tratamientos, si no se agita el agua es prácticamente nulo.

#### Acidificación

Los ácidos se aplican a los pozos principalmente para eliminar incrustaciones de carbono de calcio y magnésico, hace algunos años el más usual era el muriático (clorhídrico industrial), con un inhibidor de corrosión de metales como la gelatina (de 5 a 10 kg de gelatina por cada 100 kg de ácido concentrado).

El ácido muriático al contacto con el agua, desprende gases tóxicos que pueden resultar letales, por lo que su aplicación requiere de precauciones por parte de los operadores, como respiradores, guantes de hule y ropa bien cerrada para evitar quemaduras.

Actualmente el uso del ácido sulfámico ha adquirido mayor auge, es más caro que el clorhídrico, pero tiene grandes ventajas: es sólido en estado puro, que lo hace manejable e inofensivo en su manipulación, además es muy soluble en agua, dando soluciones marcadamente ácidas y en cambio menos agresivas para el ademe.

Puede añadirse previamente disuelto, o en estado sólido, disolviéndolo mediante agitación del pozo. La concentración que se debe utilizar es de 15 a 20% del peso total del líquido dentro del ademe.

La efectividad de la acidificación se incrementa en forma espectacular si se le da movilidad al ácido con un agente externo, en la industria petrolera se emplea rutinariamente el nitrógeno inyectado a altas presiones, pero lo caro del tratamiento lo hace prohibitivo para la rehabilitación del pozo del agua, salvo en casos verdaderamente excepcionales. Esta desventaja puede suplirse, con las limitaciones del caso, inyectándolo con aire comprimido y agitando el pozo durante la aplicación, con cualquier método de desarrollo físico.

El tiempo de contacto entre el ácido y el pozo varía según sea utilizado (unas 4 hr para el muriático y de 15 a 20 para el sulfámico). Después de la aplicación del ácido, es extraído con bomba o sifón hasta sacar del pozo una cantidad de agua al menos el doble de la inyectada, esto se repite en tanto se observen resultados favorables.

### **Cloración**

Este consiste en añadir cloro al agua del pozo, con el objeto de que mate las bacterias y elimine el limo orgánico asociado. La acidificación también mata bacterias, pero no elimina el limo orgánico. Este se puede aplicar como gas disuelto previamente en el agua o directamente, pero el medio más fácil y seguro es su manejo como hipoclorito cálcico, en estado puro o disuelto en agua. El hipoclorito cálcico tiene un 70% de cloro activo. Bajo estas premisas, para reparar soluciones para un metro cúbico de agua se requiere las siguientes cantidades de hipoclorito cálcico:

Concentración de 100 p.p.m.:143 gr.

Concentración de 200 p.p.m.:286 gr.

Concentración de 300 p.p.m.:429 gr.

Concentración de 400 p.p.m.:571 gr.

Concentración de 500 p.p.m.:715 gr.

Si se desea que la cloración sea efectiva conviene repetir el tratamiento 3 o 4 veces.

### **3.14.2. Métodos de desarrollo físico.**

Este método logra su objetivo mediante la agitación enérgica del agua y la acción del flujo y reflujo del agua desde y hacia el pozo y se percibe desde el momento de la ejecución dada por la cantidad de azolve extraído y por el reacomodo del filtro granular, manifestándose en un descenso del mismo por el espacio anular del pozo. Se recomienda que conforme el filtro descienda, se reponga de inmediato. Si se obtiene mucho azolve, sin el descenso correspondiente se debe sospechar de acuíferos del filtro (puentes).



#### **Desarrollos con bomba de pozo profundo**

El equipo necesario es una bomba de aforo, capaz de generar fuertes abatimientos al pozo. Estos desarrollos provocan un fuerte desgaste en el equipo de bombeo, ocasionado a los frecuentes cambios de esfuerzos a que se ve sometido y al manejo de agua turbia.



#### **Sobrebombeo**

Consiste en bombear el pozo hasta alcanzar un fuerte descenso en el nivel dinámico, creándose un gradiente hidráulico mayor al que tendrá el pozo durante se operación normal. Solo actúa en el sentido del acuífero hacia el.



#### **Arranque y parada de bomba**

Se efectúan sucesivos arranques y paradas de la bomba, elevándose el agua hasta la superficie para dejarla caer al pozo por la tubería de la bomba. Dentro de esta modalidad existen 3 variantes:

- ▶ **Máximo descenso y recuperación.** Se hace funcionar la bomba hasta lograr el máximo abatimiento en el pozo y a continuación se para la bomba, esperando hasta que casi se recupere el nivel estático, momento en que reanuda al ciclo, esta operación se repite mientras se observa mejoría en el pozo.

- ▶ Máximo descenso sin recuperación. Como en el caso anterior, se bombea hasta lograr el máximo descenso, se interrumpe el bombeo unos minutos y se reanuda sin esperar a lograr la recuperación.
- ▶ Bombeos cortos. Se bombea hasta que el agua descargue en la superficie y se para la bomba, se repite esta operación las veces que sea necesario. Tiene la ventaja de que no se requiere de equipos de alta capacidad como en los anteriores, aunque también es menos energético y provoca fuertes desgastes en el equipo.



#### **Desarrollos con bomba de inyección.**

El equipo necesario de preferencia es de pistón dúplex, similar a las usuales en la perforación rotaria, tubería de inyección y accesorios, según el método empleado. Esto adecua el método de desarrollo a pozos perforados con maquinas rotatorias directas, ya que cuentan con la bomba y tubería requeridas. El alto costo horario de los equipos y los consumos de agua, pueden ser muy altos, originando que estos métodos resulten caros, pero generalmente dan buenos resultados, primero se inicia la inyección bombeando dispersantes de arcilla en la proporción y cantidad establecidas en el **tratamiento con polifosfatos**, la cual presenta tres variantes:



#### **Chorro vertical y pozo abierto**

Se manda una línea hasta el fondo del pozo por la que se envía agua a presión, con el caudal máximo que permita la bomba. El azolve se extrae con una bomba de arena, que debe caer en el pozo sin necesidad de extraer la tubería.



#### **Chorro horizontal y pozo abierto**

Este es similar al anterior en lo básico, pero con una herramienta adicional que la hace mas efectiva, la cual consiste en una serie de toberas colocadas horizontalmente, por las que sale el agua a alta velocidad para estrellarse directamente contra el cedazo, ver fig. 16.

- ▶ Se baja la tubería, con las toberas en el extremo inferior hasta el inicio del tramo filtrante superior, se bombea al agua mientras se hace girar lentamente la sarta a no más de 1 r.p.m., para que los chorros recorran el perímetro del cedazo. Se mantiene la sarta en el nivel durante 2 o 3 minutos y se baja 15 cm, repitiéndose la secuencia hasta alcanzar el azolve que se ha venido depositando en el fondo del pozo.

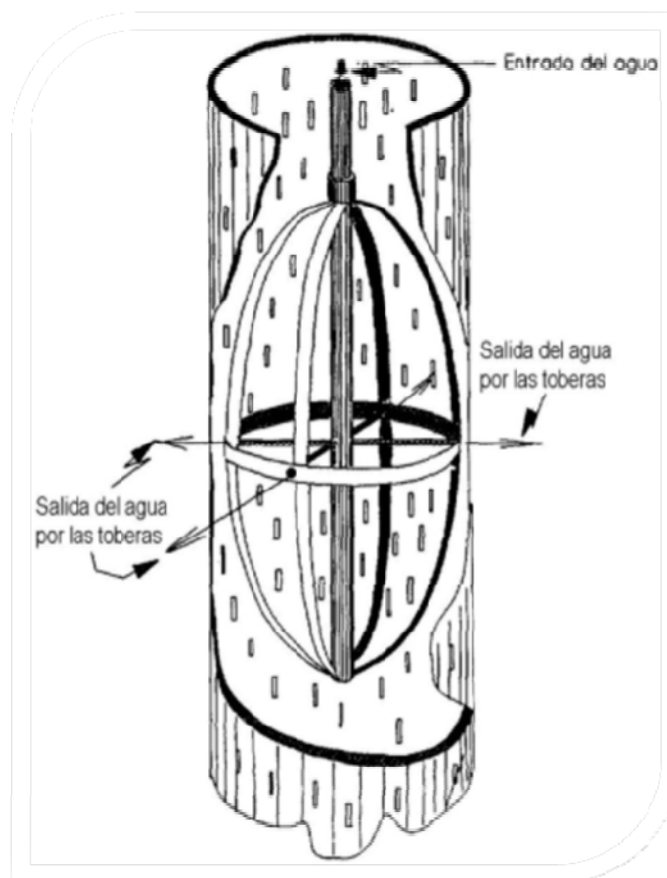


Figura 16.- Dispositivos para el desarrollo con chorro horizontal y pozo abierto.

- ▶ Se extrae la sarta y después el azolve con una bomba de arena o cuchara común.



- ▶ Se repite la operación hasta que el azolve producido sea tan poco que indique suspender el tratamiento, cabe aclarar que un buen desarrollo puede requerir recorrer el pozo varias veces.

Las toberas pueden ser de 2, 3 o 4, y los orificios de 0.6 a 13 cm de diámetro (1/4" a 1/2"), esto depende según la bomba y cantidad de agua disponible, pero tratando siempre que la velocidad de salida de agua en las toberas no sea mayor de 46 m/s, el espacio anular entre cedazo y toberas será de 2.5 cm (1").

### Chorro vertical y pozo cerrado

Su instalación es similar a la anterior pero sellando herméticamente la boca del pozo con una tapa que deja pasar la tubería de inyección y va provista de una descarga lateral cerrada con una válvula (preferentemente de paso rápido) y un manómetro ver Fig. 17.



**Figura 17.- Formas básicas de la curva**

Con la tubería en el fondo del pozo y la descarga cerrada, se le aplica presión al pozo mediante la bomba, registrándose la presión alcanzada, se abre rápidamente la válvula de descarga hasta recuperar la presión 0.00, se repite este ciclo tantas veces como sea necesario, la efectividad del tratamiento se calibra por la cantidad de azolve extraído al descargar el pozo y la dificultad creciente en levantar presión al inyectar, debido al incremento de la permeabilidad del acuífero en el entorno del pozo.



#### **Desarrollo con oleada mecánica o pistoneo.**

El equipo necesario es una perforadora de percusión provista de pistón, cuchara y una sarta de perforación adecuada. Por consiguiente, resulta el método mas adecuado para el desarrollo de pozos perforados con equipo de percusión. Dado que perforadoras pequeñas pueden realizar el trabajo con ciertas limitaciones resulta un sistema muy popular para la rehabilitación de pozos. La efectividad de trabajar con pistón depende de las condiciones naturales o constructivas, sobre las que el desarrollo no puede influir y de otras que le son propias como:



#### **Peso de la sarta del pistón**

El pistón debe tener un peso mínimo para contrarrestar el efecto de flotación provocado por el agua desplazada en el pistonazo, el volumen que desplaza la propia herramienta sumergida y lograr, además, la caída rápida de la herramienta a lo largo de la carrera de la maquina en tiempos iguales o menores al ciclo del pistoneo. En la Tabla 4 se señala los pesos mínimos requeridos en la sarta para que se cumplan estas condiciones, con tres diferentes ciclos y longitudes de carrera.

<b>Tabla No.4.-Pesos mínimos de barretón en pistoneo</b>								
Diámetro. Nom. Tub.		8 5/8	10 5/8	12 3/4	14	16	18	20
Carrera m	Ciclos/min	Peso mínimo del barretón Kg.						
0.50	45.00	26.54	41.26	58.01	69.91	91.31	115.60	142.70
0.80	30.00	40.18	62.45	87.82	105.83	138.22	174.99	216.02
0.95	20.00	44.55	69.25	97.38	117.35	153.27	194.04	239.54

➤ **Pistón**

Este esta integrado de tres discos de madera impregnada de aceite quemado o chapopote, de diámetro 5 cm (2") menor que el interior del pozo, entre los cuales se intercalan dos discos de hule de 1 cm de espesor y diámetro igual al interior del ademe, este paquete de discos se sujeta con dos exteriores de pequeño diámetro, cuya única función es mantener unido el pistón, ver figura 18.



**Figura 18.- Pistones para desarrollar pozos.**

Una variedad de pistón es el de válvula, que es similar a la anterior, con la particularidad de que está atravesando verticalmente por cuatro o mas perforaciones del mayor diámetro que sea posible y que deben ser coincidentes de lado a lado del pistón, en la parte superior del cual se coloca un disco adicional de hule fuerte, sin perforaciones y sujeto solo en la parte central del pistón, cuando el pistón cae, el hule superior se levanta, permitiendo el paso del agua por las perforaciones y cuando sube, el hule se pega al cuerpo del pistón, cerrando la válvula.

Este pistón, por consiguiente inyecta en forma menos eficiente que el sólido y succiona como él. Esta desventaja permite operaciones de pistoneo eficientes durante la succión, aun cuando el peso de la sarta no alcance los requerimientos del inciso anterior.



### **Operación de pistoneo**

La maniobra inicial del desarrollo es verificar el fondo, anotando su profundidad, para después medir la efectividad del método en función de la cantidad de azolve arrastrado por el pistoneo, al operar el pistón debe desplazarse suavemente sin golpes fuertes en el cable, cada 5 a 10 minutos de pistoneo se retira la herramienta y se saca el azolve con una cuchara o bomba de arena, tomando un control de la cantidad de cucharadas necesarias para desazolvar el pozo con el objeto de ampliar o reducir el tiempo de pistoneo.

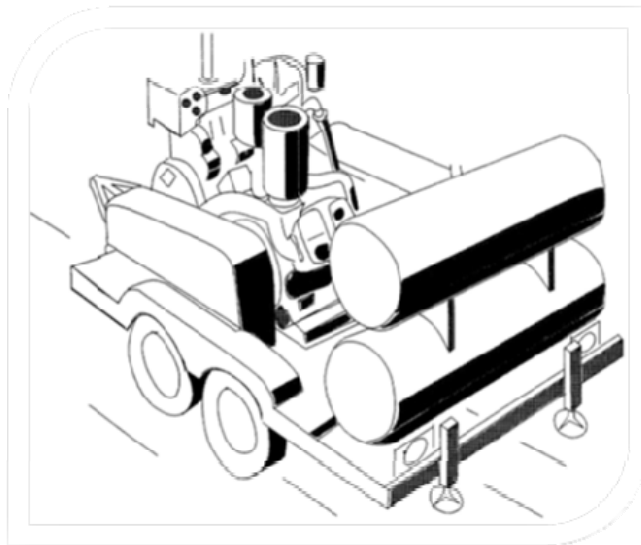
Al avanzar el desarrollo se observa que su efecto se reduce y por tanto los intervalos de los ciclos de pistoneo son mas largos con esto se considera que esta finalizado el tratamiento cuando no haya aporte de azolve después de un ciclo de una hora continúa.

Si el cedazo del pozo es de alambre helicoidal, P.V.C. u otro material cualquiera que se considere poco resistente a la fricción del pistoneo, este se coloca en zonas de tubo liso, lo mas cercanas posible a la zona de desarrollar, cuidando siempre que el pistón trabaje con una sumergencia de al menos 3m, si fuera un tubo de acero ranurado, canastilla o cualquier otro material resistente, el pistoneo se efectúa a lo largo de todo el pozo y preferentemente frente a la zona de rejilla. En las dos modalidades, el efecto de la inyección y la succión se trasmite a todo el cedazo a través de la columna de agua, pero al pistonear frente a este, se adiciona la turbulencia que se provoca en la cercanía del pistón.



### **Desarrollo neumático**

El equipo requerido para este desarrollo es con un compresor de aire de alta presión 17.5 kg/ cm<sup>2</sup>, sifón (tuberías de inyección y descargas), equipo auxiliar (válvulas, cabezales, trampas, etc.) y tanques de almacenamiento de aire comprimido de al menos 1m<sup>3</sup>. Ver figura 19.



**Figura 19.- Compresor de alta presión para desarrollo neumático.**

---

En cualquier desarrollo con aire se debe tener presente que el sifoneo del pozo es una operación cuya finalidad única es extraer al azolve que ha llegado al pozo, debido a las descargas de aire o a la presurización del pozo, existen 3 diferentes del métodos:



### **Desarrollo neumático a pozo abierto**

Se basa en el principio de provocar la agitación del pozo mediante descargas de aire comprimido a presión, el cual previamente fue almacenado en los tanques de alta presión ver figura 20.

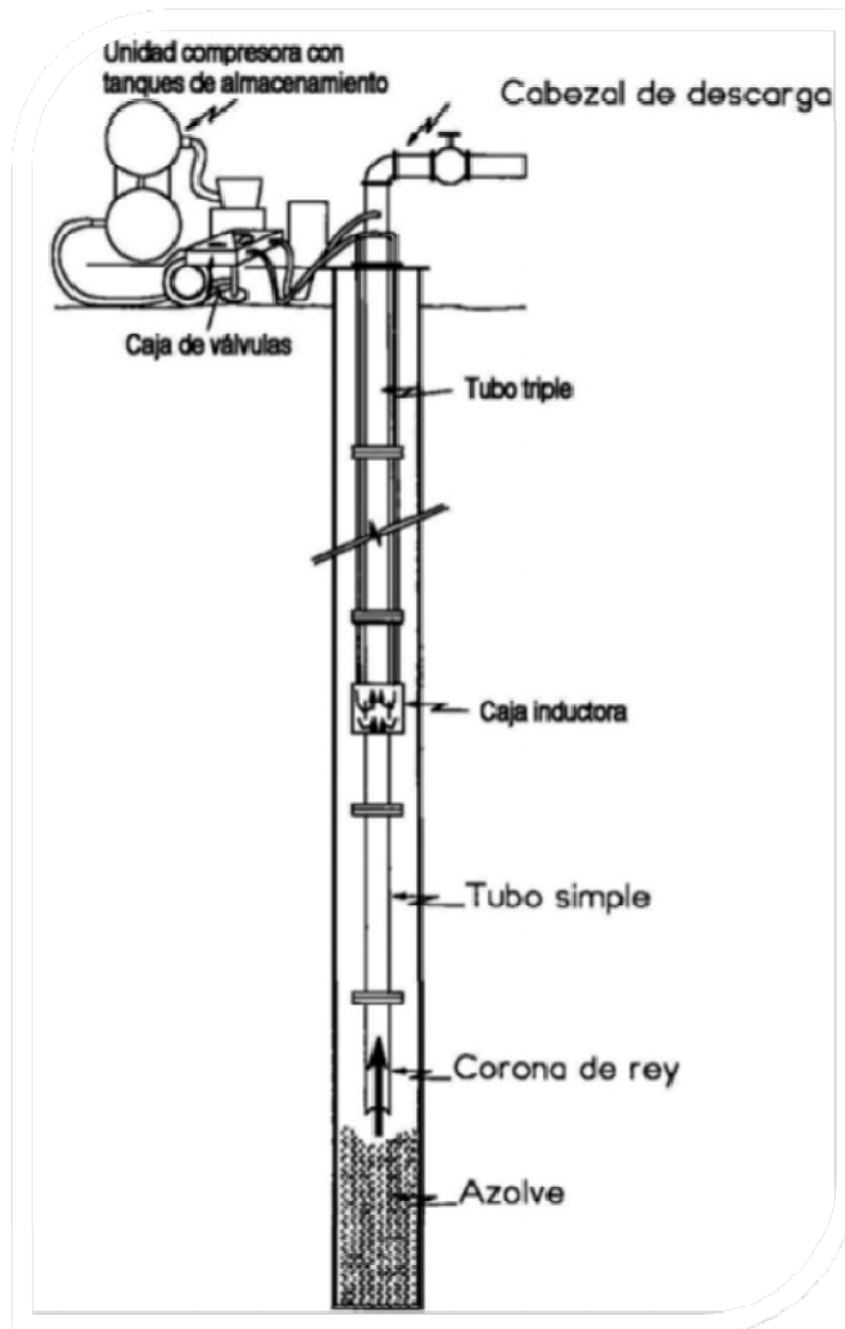


Figura 20.- Dispositivo para desarrollo neumático a pozo abierto.



### Desarrollo neumático a pozo cerrado

Este sistema debe su efectividad a la capacidad de aire comprimido para desplazar el agua por el interior del pozo, inyectándola hacia la formación a través de las ranuras, e invirtiendo la dirección del flujo desde el acuífero hacia el pozo cuando se libera la presión en él, aquí no se requiere de tanques de almacenamiento, pero si de un cabezal con el cual sellar el brocal del pozo y a través del que penetran las tuberías de inyección y descarga del sifón, ver figura 21.

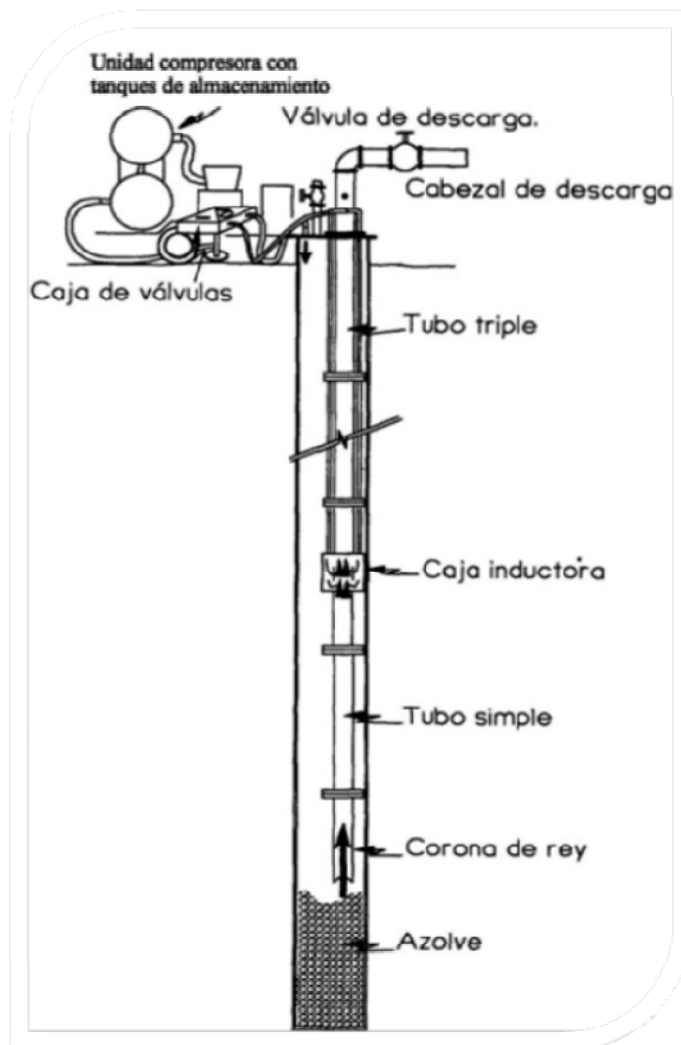


Figura 21.- Dispositivo para desarrollo neumático a pozo cerrado.

- ▶ La operación inicial del desarrollo consiste en desazolvar totalmente el pozo por medio del sifón, verificando el fondo, a continuación se levanta el sifón unos 3 m y se coloca el cabezal, bien soldado al brocal.
- ▶ Se empieza a inyectar aire a través de la entrada del cabezal, hasta alcanzar una presión de 1 kg/cm<sup>2</sup>.
- ▶ Se abre la válvula de paso rápido, para liberar la presión acumulada en el pozo y se repite la operación unas cinco veces.
- ▶ Se sifonea hasta obtener agua limpia.
- ▶ Si se observa que el aporte de azolve es escaso, es recomendable aumentar el ciclo de presurizaciones a unas 10 veces.
- ▶ Se repite todo el ciclo de presurización y sifoneo, en cuyo caso se aumenta la presión en 0.5 kg/cm<sup>2</sup>, repitiéndose todo el proceso.

La limitación de este desarrollo se establece por la capacidad de presurizar del compresor y por la posición relativa del nivel estático del pozo, respecto a las primeras aberturas del cedazo, por donde escapa la presión a través del filtro granular.



CAPITULO

IV

## **IV. METODOLOGÍA PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS.**

### **4.1. METODOLOGÍA**

La secuencia de operaciones a realizar es la siguiente:

Primeramente se hace la medición de nivel estático, y esta es por medio del arranque de la bomba con la válvula abierta. Una vez “estabilizado” el nivel dinámico, medición de este, del tiempo transcurrido hasta la estabilización de la presión de la descarga, del amperaje en las fases 1, 2 y 3, de la tensión (volts) entre las fases 1-2, 1-3 y 2-3, de la potencia consumida y de las revoluciones por minuto cuando el equipo sea de flecha. Estas mediciones Preliminares representan las condiciones normales de operación del pozo, y cuya ventaja reside en su corta duración y bajo costo.

Para la realización de las mediciones previas se requiere, del equipo de bombeo, el tubo calibrado con orificio calibrado y piezométrico u otro medidor de caudal, válvula, manómetro, amperímetro, volumétrico, potenciómetro, tacómetro de punta y flexómetro.

En la actualidad, la mayoría de los pozos están equipados con motor eléctrico, que trabaja a velocidad constante, variándose las condiciones de trabajo de la bomba y el pozo, para esta prueba se cuenta con una válvula. La instalación necesaria para la realización de la prueba se muestra en la figura 22, la cual se puede sustituir por un pitómetro u otro medidor de flujo.

La validez de las mediciones es observada al ser bombeado un pozo, la mayor proporción del descenso del nivel dinámico ocurre durante los primeros minutos de bombeo. Se puede decir que el 70 al 90% del descenso del nivel dinámico para un caudal dado, ocurre durante los primeros 30 min de bombeo. Cerrar totalmente la válvula de línea de descarga, si existe y efectuar la misma serie de medidas enumeradas en el inciso anterior. En estas condiciones se toman lecturas del caudal 0 y carga máxima.

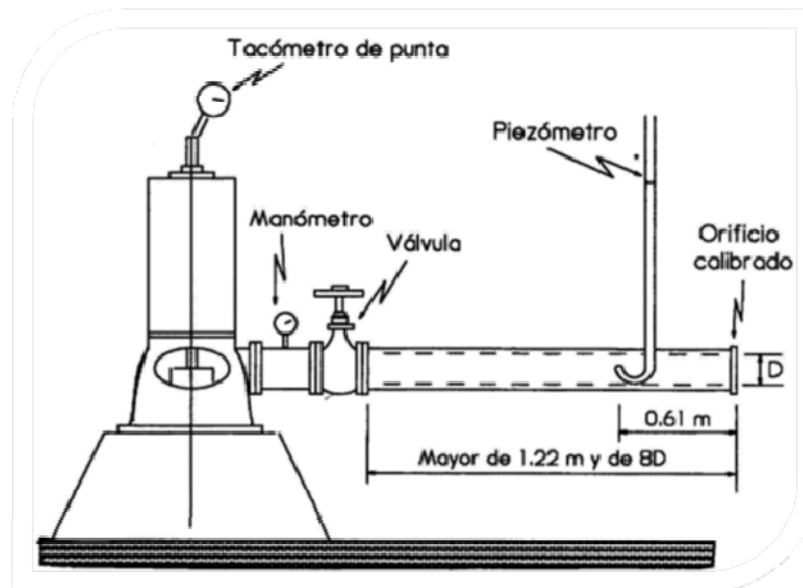


Figura 22.- Dispositivo para pruebas de mediciones.

Cuando no existe ningún dispositivo de medición del caudal instalado en el pozo, se suspende el bombeo y se desconecta la bomba de la línea, se levanta y gira la bomba lo que fuera necesario y se instalan los aditamentos de medición (manómetro, tacómetro y piezómetro) y los de descarga (válvula y tubo de orificio calibrado) ver figura 22. Si se cuenta con los dispositivos, no se requiere de grúa para girar el equipo, ni de toda la instalación de orificio calibrado. En pozos de riego, que por lo general descargan en una pileta, la única instalación adicional que se requiere es la válvula y el caudal se mide con escuadra y se repite la serie de mediciones con válvula abierta, con válvula cerrada y se cuentan las vueltas que da el volante entre estas dos posiciones. Accionando la válvula se regula el caudal y se cuentan las vueltas, hasta estabilizar el pozo en el mismo nivel dinámico, establecido anteriormente (condiciones de operación) y se repiten las lecturas

Por último se miden otros dos escalones regulando la válvula, mediante el número de vueltas, hasta obtener un punto intermedio entre el de operación y válvula abierta y el otro entre operación y válvula cerrada. Las lecturas obtenidas durante la prueba se procesan de manera similar a la empleada en la tabla 5.

**MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS DE AGUA POTABLE.**

<b>Tabla No.5 Mediciones Previas.</b>								
Diámetro de descarga: 8"		Orificio: 6"			Nivel estático:22.23			
Eficiencia teórica Motor- bomba (eb*em):72%		Precio kW/hr:195.53			Observaciones: Agua limpia desde el arranque			
Conceptos	Condiciones actuales de trabajo	Válvula cerrada			Condición similar a operación			Válvula totalmente abierta
	1	2	3	4	5	6	7	8
Altura piezométrica (cm)	31.00	0.00	6.00	15.00	30.00	36.00	46.00	55.00
Caudal (l/seg)	28.63	0.00	12.60	19.91	28.16	30.85	34.87	38.13
Presión Piezométrica (Kg/cm <sup>2</sup> )	4.50	9.48	8.49	6.96	4.52	3.34	1.55	0.00
Nivel Dinámico (m)	71.24	22.23	31.43	46.63	70.89	82.54	100.36	115.48
Carga Dinámica Total (m)	116.24	117.03	116.33	116.23	116.09	115.94	115.86	115.50
Voltaje 1-2 (V)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
Voltaje 1-3 (V)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
Voltaje 2-3 (V)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
Voltaje Promedio (V)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
Corriente 1 (A)	104.00	122.00	115.00	108.00	105.00	102.00	100.00	99.00
Corriente 2 (A)	105.00	120.00	115.00	108.00	105.00	102.00	10.00	98.00
Corriente 3 (A)	105.00	122.00	116.00	108.00	105.00	102.00	99.00	97.00
Corriente Promedio (A)	104.67	121.33	115.33	108.00	105.00	102.00	99.67	98.00
Potencia suministrada (kW/Hr)	62.94	75.73	63.21	61.66	63.14	65.22	70.56	72.36
Revoluciones por minuto (rpm)	1800.00	1800.00	1780.00	1780.00	1780.00	1780.00	1780.00	1800.00
Factor de Potencia	0.79	0.82	0.72	0.75	0.79	0.84	0.93	0.97
Eficiencia Motor- Bomba Real	51.82%	0.00%	22.72%	36.78%	50.74%	53.74%	56.12%	59.65%
Potencia Teórica (kW/Hr)	45.34	0.00	19.97	31.53	44.54	48.73	55.05	60.00
Factor de Variación de Potencia	0.00	0.00	0.32	0.51	0.71	0.75	0.78	0.83
Diferencia de Potencias (kW)	17.60	0.00	43.24	30.13	18.60	16.49	15.51	12.35
Costo de la Eficiencia / Hr.	\$3,441	\$0	\$8,455	\$5,891	\$3,637	\$3,224	\$3,033	\$2,416
Capacidad Especifica	0.58		1.37	0.82	0.58	0.51	0.45	0.41

Donde, la altura piezométrica, la presión manométrica, nivel dinámico, voltajes, corriente, potencia suministrada y revoluciones por minuto es la medición durante la prueba, el caudal es el que se obtiene del Anexo de aforos, la carga dinámica total es la presión manométrica\*10+el nivel dinámico, el voltaje promedio es el (voltaje 1+voltaje 2+voltaje 3)/3, la corriente promedio es el (Amp.1+Amp.2+Amp.3)/3, el Factor de Potencia es la potencia suministrada \* 1000 / (Voltaje promedio \* corriente promedio \* 1.73), la Eficiencia de bomba-motor real es la C.D.T.\*caudal\*0.0098/Pot. Suministrada, la potencia teórica es la C.D.T.\*caudal\*0.0098/Eficiencia bomba motor-real, el f.v.p., es la potencia teórica entre la potencia suministrada.

La diferencia de potencias es la Pot. Suministrada- Pot. Teórica, el costo de la ineficiencia/hr, es la diferencia de potencias \*su \$ y la capacidad específica es el caudal/(Nivel dinámico-nivel estático).

Cuando se conservan los datos de aforos anteriores, la comparación con las nuevas mediciones indica si las condiciones hidráulicas se han deteriorado en el tiempo transcurrido entre las dos pruebas y por lo tanto si el pozo requiere rehabilitación. Además, indica la eficiencia con que trabaja el conjunto motor-bomba, comparándola con las curvas del impulsor que proporciona el fabricante se establece si la bomba requiere reparación o cambio. En caso de que no se disponga de las curvas de operación, la eficiencia teórica se puede suponer con base en la fórmula de potencia:

$$kw_t = \frac{9.81Qh}{1000(eb)(em)} \text{ FORMULA (11)}$$

Donde:

$kw_t$  = Potencia teórica (Kw/h)

Q= Caudal en l/s.

h = Carga manométrica total en m.

eb = Eficiencia de la bomba (bomba sumergible: 65-70%, bomba con motor exterior: 75-80%).

Dividiendo la potencia teórica entre los kw medidos con el potenciómetro (potencia real de entrada,  $kw_r$ ), se obtiene el “factor de variación de potencia” (f. v. p.)

$$f. v. p. = \frac{kw_t}{kw_r} \text{ FORMULA (12)}$$

Un f. v. p. menor que la unidad indica sistemas motor-bomba de menor eficiencia a la que se considera adecuada el proyectar un sistema de bombeo, en contraste, valores superiores aluden a sistemas cuya eficiencia es óptima. Al restar la potencia teórica a la potencia real de entrada obtendremos los kw que se pueden ahorrar al sistema, cantidad que multiplicada por el costo del kw/h y las horas de operación permitirán evaluar la conveniencia de proceder a mejorar la eficiencia del sistema o no. El factor de potencia se obtiene aplicando la siguiente formular, y este debe de ser del orden de 0.90 para que el sistema se pueda bueno:

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{1000kw_p}{1.73(\text{Amps})(\text{Volts})} \text{ FORMULA (13)}$$

- ◆ Una vez que se toma las mediciones, se dictamina si se procede a sacar la bomba, rehabilita el pozo o se repone el pozo.
- ◆ Si se decide rehabilitar se realiza la desinstalación del equipo de bombeo de pozo y se trasladara a un almacén.
- ◆ Se realizara la inspección con cámara de video a toda la profundidad libre del pozo, para observar las condiciones iniciales y así conocer en que estado se encuentra el pozo y por consiguiente hacer un programa de los trabajos que se llevaran a cabo.
- ◆ Si es posible se rehabilita o se desecha el pozo esto es dependiendo los problemas que se observaron en el video.
- ◆ Se trasladara e instalara el equipo de perforación, ya sea de tipo percusión u otro.
- ◆ En el caso de observarse en la videograbación algún colapso o una oreja desprendida, es importante reparar este problema, ya que de no hacerlo en el momento de estar trabajando en otra actividad de rehabilitación, este se puede azolvar y correr el riesgo de perder el pozo o que la herramienta de perforación se quede atorada, para la realización de esta actividad se valorara cual será el método mas adecuado para reparar la tubería del ademe, si con la prensa electrohidráulica, trompos mecánicos, cementaciones, etc.
- ◆ Por otra parte si se observo en la videograbación algún objeto dentro del pozo, se deberá pescar este, para lo cual se deberá tomar una impresión para poder adecuar los pescantes necesarios y así realizar el trabajo.
- ◆ Teniendo el pozo de la tubería de ademe reparada por algún colapso o alguna oreja desprendida y haber pescado cualquier objeto extraño, se procederá a desazolvar el pozo hasta su profundidad total.

- ◆ La siguiente actividad es desincrustar la tubería del ademe con el cepillo de cuerdas de acero, para realizar esta actividad se tendrá un rendimiento mínimo de 0.3 Hrs de maquina trabajando por metro lineal de tubería ranurada, al terminar la desincrustación se precederá nuevamente a desazolvar el pozo.
- ◆ Posteriormente se desarrollara el pozo con pistón, se deberá estar checando el nivel de azolve, para que en este caso de que el nivel suba se repita la operación del pistoneo a la misma profundidad, esto se debe repetir hasta que el pozo ya no se azolve, en caso de que el nivel de grava baje durante el pistoneo, es necesario reponer la grava faltante. Es muy importante que después de haber terminado con el pistoneo, se desazolve el pozo hasta su profundidad total.
- ◆ Se correrá un registro de verticalidad para conocer las desviaciones del ademe del pozo para ver qué equipo de bombeo se pueda instalar.
- ◆ Para obtener el gasto optimo de explotación del pozo, se llevara acaba el desarrollo y aforo del pozo, con una bomba de aforo accionada con un motor de combustión interna, este equipo será de acuerdo a la capacidad del pozo a aforar, tomando como base el gasto que se obtenía anteriormente.
- ◆ Terminado el aforo se realizara nuevamente una videograbación para observar el estado en que quedo el pozo después de la rehabilitación.
- ◆ Paralelamente a los trabajos de rehabilitación del pozo, se llevara a cabo los trabajos de colocación de tubería de PVC del brocal del pozo hasta el arrancador.
- ◆ La última actividad se trasladara del almacén y se instalara el equipo de bombeo sumergible del pozo y se realizara las pruebas de arranque y funcionamiento de la bomba.

CAPITULO

V



## V. CASO DE ESTUDIO.

### 5.1. Rehabilitación del pozo “San Bartolo”, ubicado en la Universidad Nacional Autónoma Chapingo.

#### Características del Pozo “San Bartolo”

Ubicación:	Universidad Autónoma Chapingo.
Profundidad.	151.50 metros.
Construido	1986
Diámetro de perforación	50.8 cm (20”)
Diámetro de ademe	35.5 cm (14”)
Long. Del ademe	De 0.00 a 75.00 m tubo liso de 14” de diámetro de 75.00m a 151.50 tubo ranurado de 14” de diámetro. Filtro de grava, lavada cribada, redondeada, agitación limpieza del pozo, verticalidad correcta a sus 150.0 m
Gasto:	Entre los 40lps
Bomba:	Turbina vertical de 8”, motor jaula de ardilla de 100 HP.

Cuando se tiene la necesidad de rehabilitar un pozo, se debe a varias condiciones y son:

- ▶ La cantidad de agua ha disminuido considerablemente y el consumo de energía eléctrica continúa igual o se incrementa. Este puede ser causado por abatimientos regionales del pozo que incrementan la carga de bombeo y se ajustan de acuerdo a la curva y también por el acuífero productor que decrece en su rendimiento.
- ▶ El gasto bombeado comienza a ser intermitente “oscilar” o transitorio. Esto se debe a una mala selección inicial del equipo de bombeo, de los incrementos de carga de bombeo por abatimientos regionales, por tener una bomba con capacidad superior a la producción de acuífero o con más profundidad y también se debe a un impulsor bloqueado o roto.

- ▶ El pozo-bomba ya no opera o solo existe ruido y no hay bombeo de agua. Esto se da principalmente a la falla de la bomba por desgaste de los materiales, los abatimientos regionales los cuales se encuentran por debajo de la bomba y la sumergencia ya no es suficiente para el cuerpo de impulsores y que la bomba se encuentra fuera de la curva por lo tanto trabaja en el punto de gasto cero.
- ▶ En el agua bombeada se encuentran partículas de suelo, arena o presencia de metales o plásticos provenientes del equipo de bombeo. Esto es por la falla de la bomba, el azolve del pozo, por un pozo productor de arena del acuífero desde el inicio de operación por un desarrollo deficiente o un mal diseño.

Este pozo hubo una disminución de gasto, el cual estaba entre los 40lps,y también tenía demasiado azolve, dado este resultado se comenzó con la metodología de rehabilitación:

- A. Realizar la inspección con cámara de video a toda la profundidad libre del pozo, para observar las condiciones iniciales y así conocer en que estado se encuentra, ver figuras 23-28, se observo el nivel estático a una profundidad aproximadamente de 71.20 m desde el brocal del pozo, la profundidad observada por el video fue de 135.30 metros y presento corrosión impregnada en todo el tubo.



**Figura 23.- Videograbación**

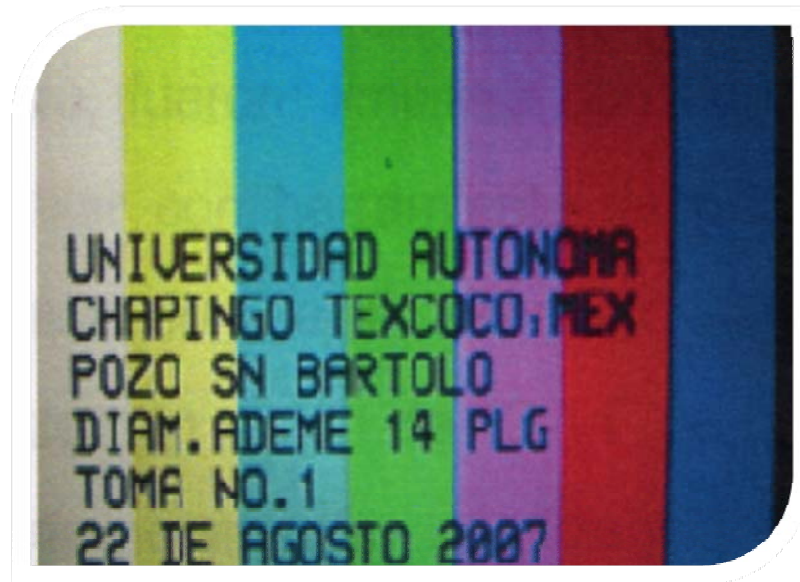


Figura 24.- Videograbación del Pozo San Bartolo



Figura 25.- Videograbación del Pozo San Bartolo



**Figura 26.- Corrosión del Ademe**



**Figura 27.- Corrosión Impregnada en el Pozo**



**Figura 28.- ademe**

- B.** Desinstalación del equipo de bombeo de pozo. En donde se pudo observar la bomba de turbina vertical de 8", de diámetro ver figura 29, motor jaula de ardilla de 100 hp, el ademe se encontró con un gran deterioro al igual que los coples y cuerdas.



**Figura 29.- Bomba de Turbina Vertical**

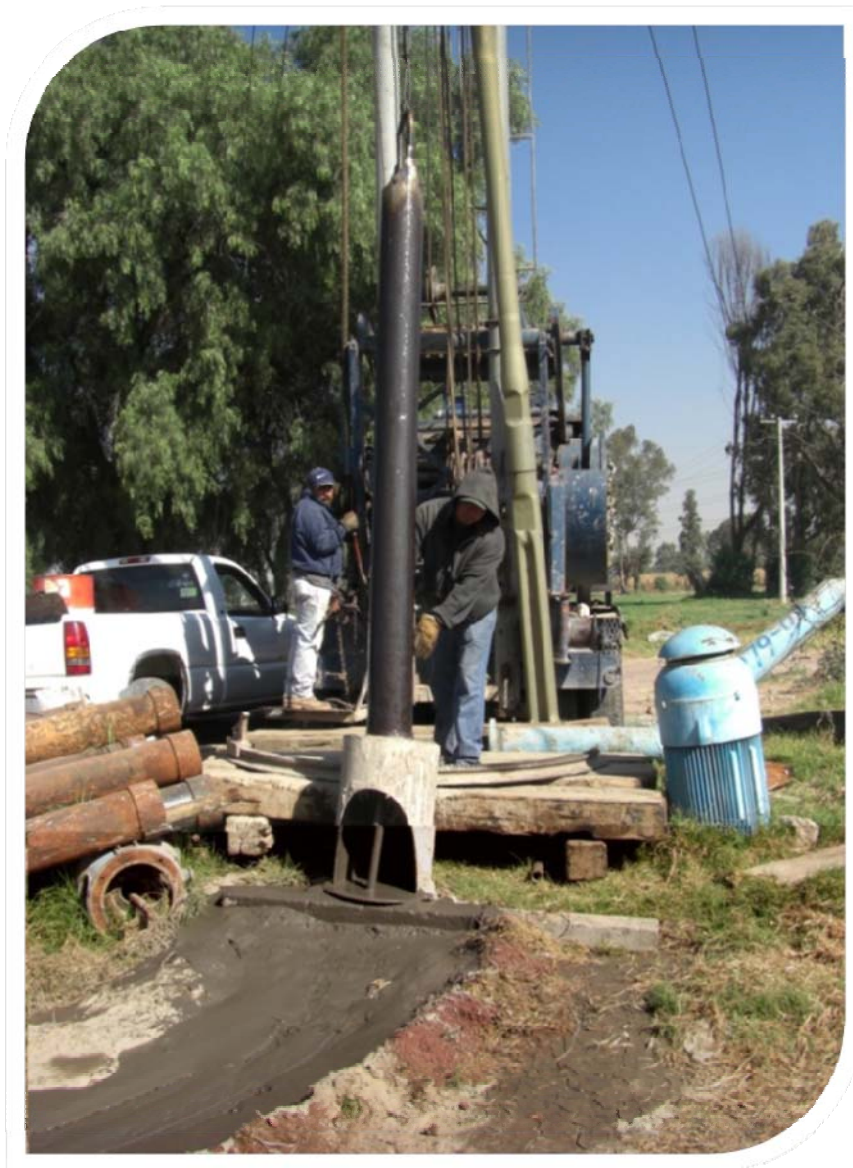
- C. Rehabilitación del pozo. Se propuso realizar el desazolve con una maquina de percusión tipo Bucyrus- Erie tipo 22W con pistoneo de 13-14” de hule o neopreno para limpieza de filtro de grava para incrementar la eficiencia y cepillado de ranura con cepillo de acero para limpieza de ranuras del cedazo, y aplicación de dispersor de arcilla, es para aumentar la permeabilidad del filtro de grava.
- D. Se realiza el desarrollo y aforo del pozo, con un equipo la cual será capaz de producir al menos 50 lps a una profundidad de 120 metros durante 24 hrs. del pozo a aforar, tomando como base el gasto que se obtenía anteriormente.
- E. En este caso se selecciona el equipo de bombeo nuevo.
- F. Realizar la prueba de bombeo.

Se inicio la rehabilitación con la llegada de la maquina el viernes 7 de Diciembre pero se instalo y armo hasta el lunes 10 de diciembre, ver figura 30, los azolves se encontraron a los 136 metros, teniendo que remover 14 metros de azolve hasta llegar al fondo del pozo y con ello poder empezar el cepillado y pistonear.



**Figura 30.- Instalación de la Maquina de Percusión tipo Bucyrus**

La rehabilitación del pozo se realizó desde el 10 de diciembre hasta el 20 de diciembre. La broca utilizada fue para poder penetrar dentro del azolve el cual tras el transcurso del tiempo se pudo haber solidificado y con la cuchara se fue sacando el azolve, esto es similar a la perforación de un pozo nuevo, en la fig. 31 se observa el procedimiento de limpieza del pozo.



**Figura 31.- Desazolve del Pozo con cuchara**

Una vez sacado todo el azolve, se le agrego al pozo alrededor de 120 litros de dispersor de arcillas figura 32. y se desarmo la broca para cambiarla por un pistón combinado con un cepillo el cual acomodo el filtro de gravas y lavarlas generando un efecto de succión dentro del pozo, provocando que arenas y pequeñas partículas entren dentro del pozo, esta acción ocasiona que el nivel de azolves aumente dentro de el, así mismo la acción debida al cepillado contribuyo con el aumento de azolves el cual desprendió las escamas oxidadas y sarro de la tubería, todo esto se realizo con el cuchareo del pozo en recorridos cortos y completos.

Una vez más se introdujo la broca para seguir desazolviendo sacando arena y óxidos acumulados en la pared de la tubería, ver figuras de la 33 a 36.



**Figura. 32.- Dispersor de Arcilla**





Figura 33.- Cepillado limpiando el Ademe



Figura 34.- Cepillado del Ademe



**Figura 35.- Cepillado del Ademe**



**Figura 36.- Cepillo y Pistón utilizados en la Rehabilitación**

Una vez concluido el pistoneo, se dejaron libres 150 metros libres desazolve y de oxido en la pared del pozo y ranuras, se procedió la prueba del aforo del pozo el cual comenzó el 25 de enero el cual duro 24 horas tomando mediciones de gasto, abatimiento y revoluciones por minuto de la bomba a cada hora, las revoluciones fueron aumentando en un principio cada tres horas teniendo la medición máxima después de 12 horas transcurridas, para las 12 horas restantes las revoluciones se redujeron de igual manera cada 3 horas concluyendo las 24 horas con las mismas revoluciones.

Con el aforo se obtiene la nueva curva del pozo, puesto que el anterior es antigua causada por los abatimientos regionales que estuvieron a los 43 metros y que después de 21 años se encuentra a 71.20 metros de profundidad, ver figura 37.



**Figura 37.- Aforo**

Este aforo constituyo de introducir la bomba de flechas la cual consta de 5 impulsores y una tubería de 8", ver figura 38, su objetivo principal es observar el comportamiento del acuífero con el propósito de obtener los datos necesarios para escoger la bomba optima para las flechas en este pozo, además se hizo una comparación de los gastos antes y después de la rehabilitación los cuales se observan en la siguiente tabla.6 y el registro de aforo.



Figura 38.- Tubo de ademe reducido de 8" a 6" para medir el gasto

TABLA No.6 REGISTRO DE AFORO.					
ACREDITADO		UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO			
COMPAÑÍA PERFORADORA		PERFORACIONES Y SERVICIOS SAN DIEGO S.A. de C.V.			
AFORADOR		MAURO CARRILLO AYALA			
LOCALIZACION DEL POZO		CAMPO EXPERIMENTAL			
MUNICIPIO		TEXCOCO, EDO. DE MEXICO			
DATOS DEL EQUIPO					
MOTOR:	DIESEL	BOMBA MARCADA:	PEERLES	LONG. COLUMNA:	120 m
MODELO:		TUBO DESCARGA:	6"	ORIFICIO:	5"
TIPO:		COLUMNA:	8"	NUM. IMPULSORES:	5
R.P.M.:		DIÁMETRO ADEME:	14"	NIVEL ESTÁTICO:	71.20 m
H.P.:	300			PROF. DEL POZO:	151.5 m

REGISTRO DE AFORO

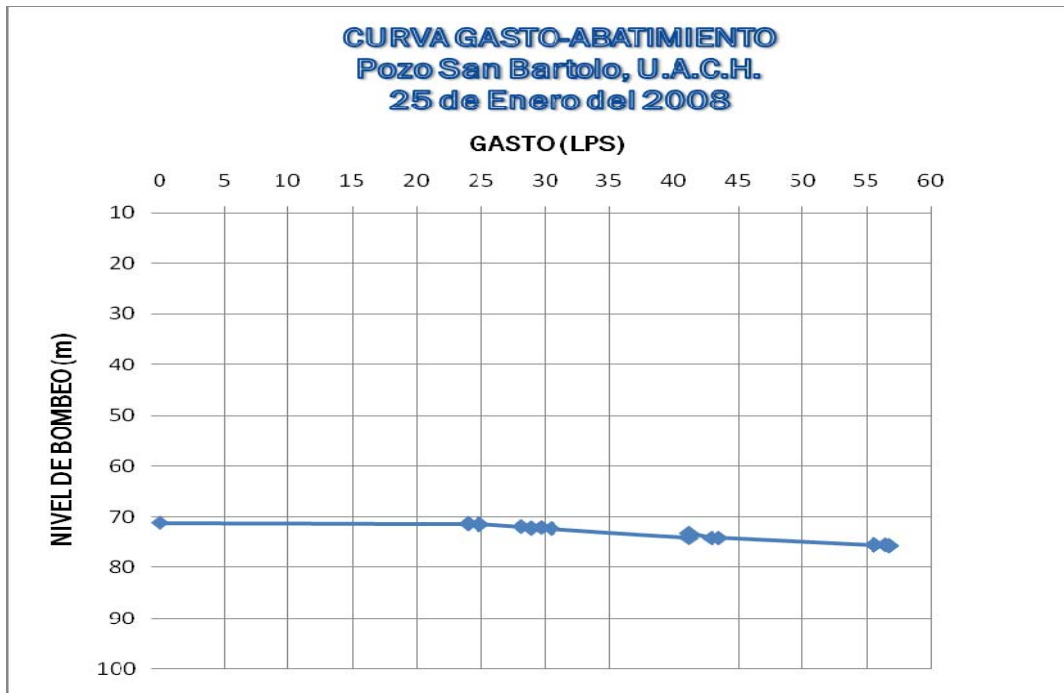
Pozo N°: SAN BARTOLO Fecha: Enero 2008.  
 Localización del Pozo: \_\_\_\_\_  
 Cliente: UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO  
 Contrato N°: \_\_\_\_\_ Fecha: 25 y 26 Enero 2008 Hoja: 1/ 2

DATOS DEL EQUIPO DE BOMBEO

Marca: GMC BOMBA  
 Modelo: 8V72 Marca: PEERLESS TISA Long. Columna: 100 Metros  
 Tipo: ESTACIONARIO Diam. Tubo descarga: 8" Diam. Orificio: 6"  
 R.P.M. 2200 Diam. Columna: 8" Núm. Impulsores 17  
 H.P. 220 Tipo impulsores: SEMI-ABIERTO Diam. Impulsores: 8"  
 POZO Acoplamiento por: CARDAN Relación: \_\_\_\_\_  
150 14" 74.00  
 Profundidad Total Diam. De Ademe Nivel Estático

Día	Hora	R.P.M. Bomba	Piezometro		Gastos		Nivel de Bombeo		Abati-Miento	Observaciones
			Pulg.	Mts.	G.P.M.	L.P.S.	B. Neumatica	B. Eléctrica		
<b>NIVEL ESTATICO A 74 MTS.</b>										
25	11:40	1700	5 1/2			24.82		74.3		Agua Turbia
25	12:00	1700	5 1/2			24.82		74.3		Agua Turbia
25	13:00	1700	5 1/2			24.82		74.35		Agua Turbia
25	14:00	1700	5 1/2			24.82		74.35		Agua Turbia
25	15:00	1800	9			30.43		75.15		Agua Turbia
25	16:00	1800	8 1/2			29.67		74.8		Agua Turbia
25	17:00	1800	8 1/2			29.67		74.8		Agua Poco Turbia
25	18:00	2000	19			43.47		76.88		Agua Poco Turbia
25	19:00	2000	18 1/2			42.9		76.84		Agua Clara
25	20:00	2000	18 1/2			42.9		76.84		Agua Turbia
25	21:00	2200	33 1/2			56.76		78.5		Agua Turbia
25	22:00	2200	33 1/2			56.76		78.5		Agua Turbia
25	23:00	2200	33.5			56.38		78.32		Agua Turbia
26	00:00	2200	37 1/2			59.79		78.78		Agua Poco Turbia
26	01:00	2200	37 1/2			59.79		78.78		Agua Poco Turbia
26	02:00	2200	37 1/2			59.79		78.78		Agua Clara
26	03:00	2000	17			41.2		76.88		Agua Turbia
26	04:00	2000	17			41.2		76.84		Agua Turbia
26	05:00	2000	17			41.2		76.03		Agua Turbia
26	06:00	1800	8			28.85		75.1		Agua Turbia
26	07:00	1800	8			28.85		74.8		Agua Poco Turbia
26	08:00	1800	7 1/2			28.1		74.7		Agua Poco Turbia
26	09:00	1700	5 1/2			24.82		74.2		Agua Clara

Contratista:   
 MAURO CARRILLO AYALA  
 Cliente: UNIVERSIDA AUTONOMA CHAPINGO



Después de haber realizado la gráfica se selecciono la bomba que fue de 50 lps., considerando un nivel dinámico de 75 metros, por lo tanto se decidió colocar la bomba a una profundidad de 110 metros (17tramos de tubería) en seguida se realizo el cálculo de la carga dinámica total (CDT) o carga necesaria de la bomba ( $H_B$ ) con la siguiente ecuación:

$$H_B = CDT = PND + \text{Abatimiento futuro} + \Sigma hr + M \quad \text{FORMULA (14)}$$

Donde:

Abatimiento futuro: abatimiento regional esperado para sobreexplotación.

PND: Profundidad de Nivel Dinámico.

$\Sigma hr$ : Perdidas de tubería llena (Suma de pérdidas por fricción y accesorios).

M: Desnivel entre salida y la descarga, ver figura 39.

$$H_B = CDT = 75\text{m} + 13\text{ m} + 6.473\text{m} + 2\text{ m}$$

$$H_B = CDT = 96.473\text{ m}$$

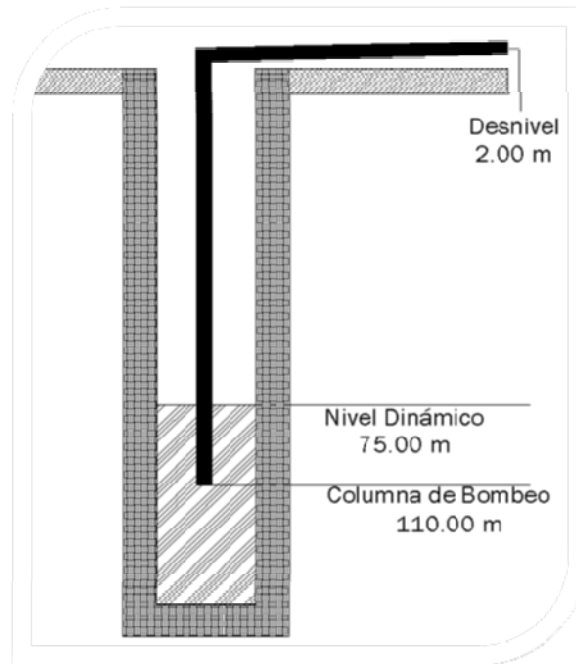


Figura 39.- Esquema del Pozo y Descarga.

Para la aproximación de la potencia mínima para extraer el agua en estas condiciones

se calculo la Potencia requerida por el Equipo de Bombeo =  $\frac{\gamma Q H_B}{76 \eta_b}$  FORMULA (15)

Donde:

$\gamma$ = El peso especifico del agua (1000 kg)

Q= El gasto bombeado en m<sup>3</sup>/s.

H<sub>B</sub>= Carga de la Bomba en m.

76 = Factor de conversión a HP.

$\eta_b$ = Eficiencia Electromecánica del Equipo de bombeo.

Potencia requerida por el Equipo de Bombeo =  $\frac{1000 \cdot 0.05 \cdot 96.478}{76 \cdot 0.65}$

Potencia requerida por el Equipo de Bombeo = 97.645 HP.

Esta potencia es la mínima requerida para obtener los 50 lps., deseados en la descarga y utilizando curvas de operación o características de la fabrica Bombas Centrífugas Alemanas se eligió una bomba Neumann Modelo: BA 10-070 de 4 pasos, 60 ciclos, 2 polos para eficiencia máxima en un rango de gastos de 50 a 60 lps., y un

NPSH requerido de 15 m con una potencia de 125 HP, a pesar de parecer sobrada, se espera que cuando se abata el nivel estático del pozo, incrementa su eficiencia. Al interceptar la curva de la bomba seleccionada y al curva del sistema obtenida a partir de los datos con su respectivo nivel dinámico y la curva de la bomba seleccionada, se observo que la bomba elegida tendrá un gasto de operación de aproximadamente de 70 lps., con una carga dinámica total de 96 metros.

La bomba seleccionada se usara con 17 tramos de tubería nueva de 6" cedula 40 y cable sumergido calibre 3/0 para la bomba de 4 tazonas.

Y finalmente después de adaptar los accesorios y conexiones se pone en operación el equipo de bombeo y el pozo listo para su aprovechamiento del agua subterránea. Y esto se hace mediante una prueba de eficiencia electromecánica que es la eficiencia con que es transformada la energía eléctrica consumida por el motor de energía hidráulica aprovechada por la bomba, esta prueba se realizo el 13 de Mayo de 2008 teniendo un nivel estático de 72.90 metros y un nivel dinámico de la bomba bombeando 81 metros, su cálculo se efectúa de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{\text{Pot. Aprovech.}}{\text{Pot. Cons.}} \quad \text{FORMULA (16)}$$

- Donde la Potencia Aprovechable se calcula:

$$\text{Pot. Cons.} = \frac{\sqrt{3} \cdot \text{fp} \cdot I_m \cdot T_m}{746} \quad \text{FORMULA (17)}$$

Donde:

$I_m$  = Intensidad de corriente promedio de las fases medidas en Amperes.

$T_m$  = Tensión promedio medida en Volts.

$\text{fp}$  = Factor de potencia (0.85) este se puede obtener del recibo de consumo de energía (del último periodo) por la compañía que presta el servicio.

$\sqrt{3}$  Para los motores trifásicos.

746 Factor de conversión a HP.

$$\text{Pot. Cons.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.85 \cdot 164 \cdot 427}{746}$$

$$\text{Pot. Cons.} = 138.20 \text{ HP.}$$

NOTA: La intensidad y tensión se miden con un miliamperímetro de gancho.



- Determinación de la Potencia Aprovechable

$$\text{Pot. Aprov.} = \frac{\gamma Q H_B}{76} \quad \text{FORMULA (18)}$$

Donde:

$\gamma$  = El peso específico del agua (1000 kg)

Q = El gasto bombeado en m<sup>3</sup>/s.

H<sub>B</sub> = Carga de la Bomba en m.

76 = Factor de conversión a HP.

Donde H<sub>B</sub> = PND +  $\Sigma$ hr + M FORMULA (19)

PND = Profundidad de nivel dinámico.

$\Sigma$ hr = Pérdidas en tubería llena. (Pérdida en la reducción de 8" a 6", en la columna de la bomba, en el codo de 90°, de la ampliación de 6" a 8", del tubo de 8", de la salida del tubo, pérdida localizada en el medidor)

M = desnivel entre la salida y la descarga.

Sustituyendo valores en la fórmula 19, nos queda:

$$H_B = 81 + 0.0753 + 11.5 + 0.717 + 0.0998 + 0.191 + 0.252 + 0.63 + 2 = 96.47 \text{ m.}$$

Sustituyendo valores:  $\text{Pot. Aprov.} = \frac{1000 - 0.0721 \cdot 96.47}{76}$

$$\text{Pot. Aprov.} = 91.51 \text{ HP}$$

Y finalmente sustituyendo valores en la fórmula 16:  $\eta = \frac{91.51}{138.20}$

$$\eta = 66.21\%$$

Con este resultado observamos en la figura 40 del diseño del Pozo "San Bartolo" y que tiene una eficiencia óptima, y que tanto el pozo como el acuífero respondieron excelentemente a la rehabilitación y la bomba seleccionada funciono correctamente a las necesidades requeridas en cuanto a la cantidad y energía consumida, cabe mencionar que al concluir este trabajo se les entrego toda la información a la empresa que los contrato y solo me pudieron proporcionar esta información que acabo de escribir.

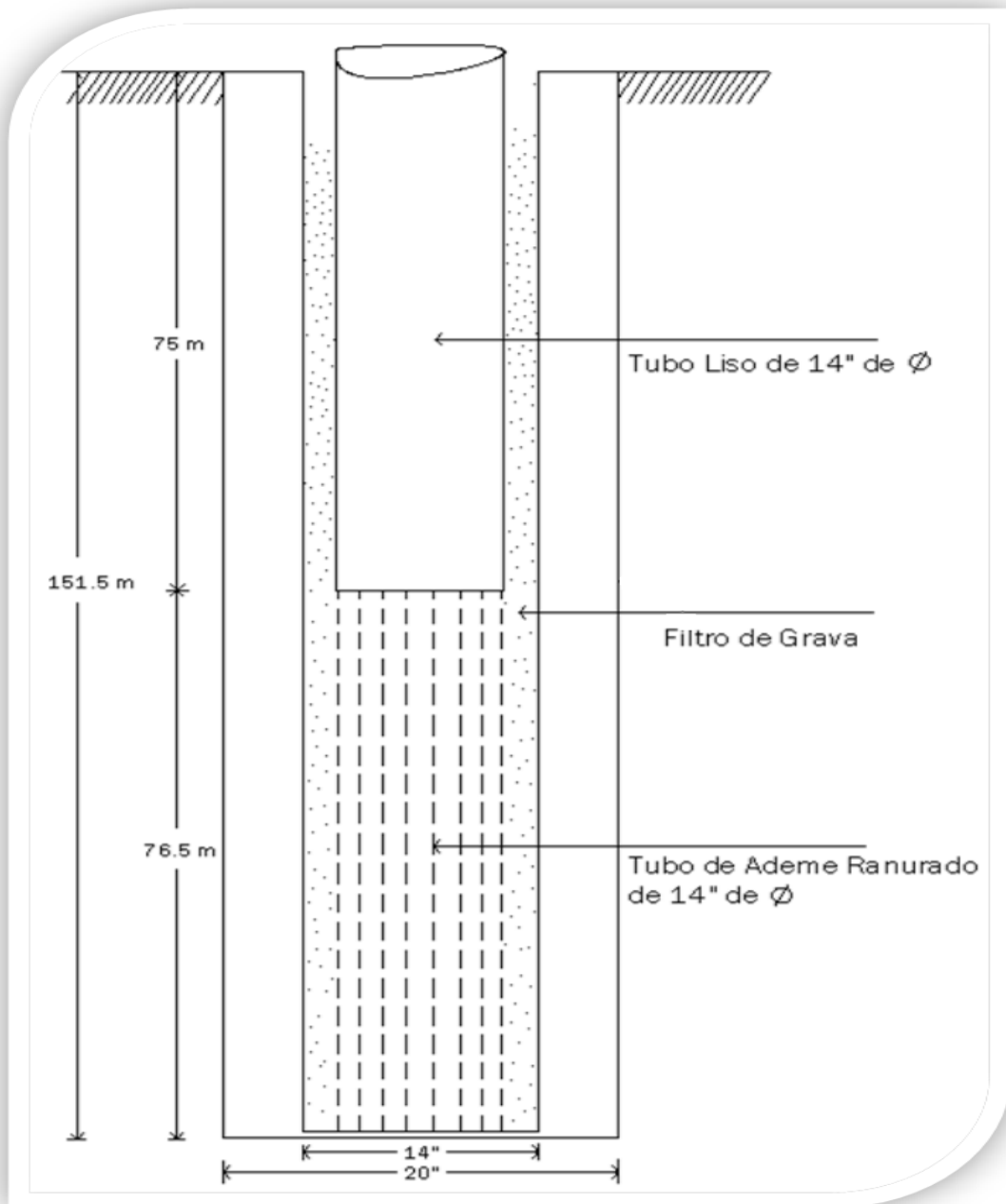


Figura 40.- Diseño del Pozo "San Bartolo".

## **CONCLUSIONES**

Como he mencionado, en la construcción de un nuevo pozo se necesitan varios recursos económicos y aspectos técnicos que en la mayoría de los casos exceden el presupuesto del usuario, por lo que este se ve en la necesidad de solucionar los problemas que tenga con su pozo, por lo que se recomienda su rehabilitación que le puede brindar las siguientes ventajas: un costo razonable (al alcance de su presupuesto), técnicas modernas y una gran experiencia tal como se hace en la ingeniería civil y con ello se aumenta y recupera la eficiencia óptima del pozo.

En este trabajo se expusieron los problemas de funcionamiento más comunes de los pozos y bombas, además de los factores causantes de su ineficiencia, seguido de una serie de soluciones y prevenciones que serán útiles para los operadores y encargados de las instalaciones de los pozos y con ello tomar decisiones y ahorrarse tiempo y dinero en las inversiones en este tipo de obras.

La rehabilitación de un pozo se refiere como bien lo dice su nombre a restablecer al pozo a su condición mas eficiente a través de varios tratamientos o métodos reconstructivos, la necesidad de esta rehabilitación dependerá de la eficacia del programa de operación y mantenimiento que no es usual encontrarlo, en realidad es que la rehabilitación de un pozo no es una práctica cotidiana y menos a un registro de comportamiento del pozo o pozos en la región, incluso la mayoría de los casos no tiene los datos constructivos.

En resumen, para que lo tome muy en cuenta algún Ingeniero que este en una supervisión de la rehabilitación y mantenimiento de un pozo se encontrará con varios problemas principales conforme pasa el tiempo y que pueden ser solucionados con los diferentes métodos de rehabilitación.

1. Una reducción de la producción del pozo, podría ser por la incrustación química o biológica del tubo ranurado y de las formaciones alrededor de la entrada del pozo.

2. Los abatimientos regionales del nivel dinámico, reducen la cantidad de agua disponible en el pozo.
3. El taponamiento de la formación que rodea al tubo ranurado del pozo por partículas finas que se acumulan en las grietas, fisuras, uniones, fracturas o cavidades, deteriora el rendimiento del pozo.
4. Problemas con arena en el bombeo, debido a un mal diseño del pozo o por la corrosión del ademe y del cedazo, originando aberturas por donde las partículas entran al pozo.
5. La falla estructural del pozo, lo que provoca un colapso estructural ya sea del cedazo o ademe, esto se produce por un bajo ácido (pH) en las aguas que tienen alta cantidad de sólidos disueltos y concentraciones de dióxido de carbono que se combinan para formar la corrosión a lo largo del ademe y localizado por debajo del nivel estático del agua.
6. El diseño y construcción del pozo, ya que para quedar bien con el cliente y ahorrarse tiempo no toman en cuenta varios factores.

En realidad la rehabilitación de un pozo, claro: si se puede recuperar, tiene grandísimas ventajas, ya que te ahorras tiempo, dinero y energía, porque no tienes que volver a realizar los tramites para construir el pozo, resulta mas económico darle mantenimiento cada 2 o 3 años y el agua bombeada emplea menos energéticos, respectivamente.

Se recomienda una verificación periódica del funcionamiento del equipo de bombeo y del gasto por que con ello podemos saber si se necesita de la rehabilitación y así evitar gastos posteriores al tener que cambiar totalmente el equipo. También es indispensable que en el sitio del pozo donde se construyo, se encuentre libre de cualquier estructura o línea de corriente ya que complicara la maniobra del equipo para su mantenimiento en su futuro, también mantener al cableado en buenas condiciones así como su instalación eléctrica.

**AÑEJOS**

**(de oro)**

MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS DE AGUA POTABLE.

CAUDALES MEDIDOS CON TUBO CON ORIFICIO CALIBRADO																	
K= 0.621		C = 0.968				TUBO: 102 mm (4")				ORIFICIO: 63.5 mm (2 1/2")							
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.
1	0.97	21	4.44	41	6.20	61	7.56	81	8.71	101	9.73	121	10.65	141	11.49	161	12.28
2	1.37	22	4.54	42	6.27	62	7.62	82	8.77	102	9.78	122	10.69	142	11.54	162	12.32
3	1.68	23	4.64	43	6.35	63	7.68	83	8.82	103	9.82	123	10.74	143	11.58	163	12.36
4	1.94	24	4.74	44	6.42	64	7.74	84	8.87	104	9.87	124	10.78	144	11.62	164	12.40
5	2.16	25	4.84	45	6.49	65	7.80	85	8.92	105	9.92	125	10.82	145	11.66	165	12.43
6	2.37	26	4.94	46	6.57	66	7.86	86	8.98	106	9.97	126	10.87	146	11.70	166	12.47
7	2.56	27	5.03	47	6.64	67	7.92	87	9.03	107	10.01	127	10.91	147	11.74	167	12.51
8	2.74	28	5.12	48	6.71	68	7.98	88	9.08	108	10.06	128	10.95	148	11.78	168	12.55
9	2.90	29	5.21	49	6.78	69	8.04	89	9.13	109	10.11	129	10.99	149	11.82	169	12.58
10	3.06	30	5.30	50	6.84	70	8.10	90	9.18	110	10.15	130	11.04	150	11.86	170	12.62
11	3.21	31	5.39	51	6.91	71	8.16	91	9.23	111	10.20	131	11.08	151	11.89	171	12.66
12	3.35	32	5.48	52	6.98	72	8.21	92	9.28	112	10.24	132	11.12	152	11.93	172	12.70
13	3.49	33	5.56	53	7.05	73	8.27	93	9.34	113	10.29	133	11.16	153	11.97	173	12.73
14	3.62	34	5.64	54	7.11	74	8.33	94	9.39	114	10.34	134	11.21	154	12.01	174	12.77
15	3.75	35	5.73	55	7.18	75	8.38	95	9.43	115	10.38	135	11.25	155	12.05	175	12.81
16	3.87	36	5.81	56	7.24	76	8.44	96	9.48	116	10.43	136	11.29	156	12.09	176	12.84
17	3.99	37	5.89	57	7.31	77	8.49	97	9.53	117	10.47	137	11.33	157	12.13	177	12.88
18	4.11	38	5.97	58	7.37	78	8.55	98	9.58	118	10.52	138	11.37	158	12.17	178	12.91
19	4.22	39	6.05	59	7.44	79	8.60	99	9.63	119	10.56	139	11.41	159	12.21	179	12.95
20	4.33	40	6.12	60	7.50	80	8.66	100	9.68	120	10.60	140	11.45	160	12.24	180	12.99

K= 0.713		C = 1.599				TUBO: 102 mm (4")				ORIFICIO: 76 mm (3")							
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.
1	1.60	21	7.33	41	10.24	61	12.49	81	14.39	101	16.07	121	17.59	141	18.99	161	20.29
2	2.26	22	7.50	42	10.36	62	12.59	82	14.48	102	16.15	122	17.66	142	19.05	162	20.35
3	2.77	23	7.67	43	10.49	63	12.69	83	14.57	103	16.23	123	17.73	143	19.12	163	20.41
4	3.20	24	7.83	44	10.61	64	12.79	84	14.66	104	16.31	124	17.81	144	19.19	164	20.48
5	3.58	25	8.00	45	10.73	65	12.89	85	14.74	105	16.38	125	17.88	145	19.25	165	20.54
6	3.92	26	8.15	46	10.84	66	12.99	86	14.83	106	16.46	126	17.95	146	19.32	166	20.60
7	4.23	27	8.31	47	10.96	67	13.09	87	14.91	107	16.54	127	18.02	147	19.39	167	20.66
8	4.52	28	8.46	48	11.08	68	13.19	88	15.00	108	16.62	128	18.09	148	19.45	168	20.73
9	4.80	29	8.61	49	11.19	69	13.28	89	15.08	109	16.69	129	18.16	149	19.52	169	20.79
10	5.06	30	8.76	50	11.31	70	13.38	90	15.17	110	16.77	130	18.23	150	19.58	170	20.85
11	5.30	31	8.90	51	11.42	71	13.47	91	15.25	111	16.85	131	18.30	151	19.65	171	20.91
12	5.54	32	9.05	52	11.53	72	13.57	92	15.34	112	16.92	132	18.37	152	19.71	172	20.97
13	5.77	33	9.19	53	11.64	73	3.66	93	15.42	113	17.00	133	18.44	153	19.78	173	21.03
14	5.98	34	9.32	54	11.75	74	3.76	94	15.50	114	17.07	134	18.51	154	19.84	174	21.09
15	6.19	35	9.46	55	11.86	75	13.85	95	15.59	115	17.15	135	18.58	155	19.91	175	21.15
16	6.40	36	9.59	56	11.97	76	13.94	96	15.67	116	17.22	136	18.65	156	19.97	176	21.21
17	6.59	37	9.73	57	12.07	77	14.03	97	15.75	117	17.30	137	18.72	157	20.04	177	21.27
18	6.78	38	9.86	58	12.18	78	14.12	98	15.83	118	17.37	138	18.78	158	20.10	178	21.33
19	6.97	39	9.99	59	12.28	79	14.21	99	15.91	119	17.44	139	18.85	159	20.16	179	21.39
20	7.15	40	10.11	60	12.39	80	14.30	100	15.99	120	17.52	140	18.92	160	20.23	180	21.45

MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS DE AGUA POTABLE.

CAUDALES MEDIDOS CON TUBO CON ORIFICIO CALIBRADO																	
K= 0.569		C = 0.887				TUBO: 152 mm (6")						ORIFICIO: 63.5 mm (2 1/2")					
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.
1	0.89	21	4.06	41	5.66	61	6.93	81	7.98	101	8.91	121	9.76	141	10.53	161	11.25
2	1.25	22	4.16	42	5.75	62	6.98	82	8.03	102	8.96	122	9.80	142	10.57	162	11.29
3	1.54	23	4.25	43	5.82	63	7.04	83	8.08	103	9.00	123	9.84	143	10.61	163	11.32
4	1.77	24	4.35	44	5.89	64	7.10	84	8.13	104	9.05	124	9.88	144	10.64	164	11.36
5	1.98	25	4.44	45	5.95	65	7.15	85	8.18	105	9.09	125	9.92	145	10.68	165	11.39
6	2.17	26	4.52	46	6.02	66	7.21	86	8.23	106	9.13	126	9.96	146	10.72	166	11.43
7	2.35	27	4.61	47	6.08	67	7.26	87	8.27	107	9.18	127	10.00	147	10.75	167	11.46
8	151	28	4.69	48	6.15	68	7.31	88	832	108	9.22	128	10.04	148	10.79	168	11.50
9	2.66	29	4.76	49	6.21	69	7.37	89	8.37	109	9.26	129	10.07	149	10.83	169	11.53
10	2.80	30	4.86	50	6.27	70	7.42	90	8.41	110	9.30	130	10.11	150	10.86	170	11.57
11	2.94	31	4.94	51	6.33	71	7.47	91	8.46	111	9.35	131	10.15	151	10.90	171	11.60
12	3.07	32	5.02	52	6.40	72	7.53	92	8.51	112	9.39	132	10.19	152	10.94	172	11.63
13	3.20	33	5.10	53	6.46	73	7.58	93	8.55	113	9.43	133	10.23	153	10.97	173	11.67
14	3.32	34	5.17	54	6.52	74	7.63	94	8.60	114	9.47	134	10.27	154	11.01	174	11.70
15	3.44	35	5.25	55	6.59	75	7.68	95	8.65	115	9.51	135	10.31	155	11.04	175	11.73
16	3.55	36	5.32	56	6.64	76	7.73	96	8.69	116	9.55	136	10.34	156	11.08	176	11.77
17	3.66	37	5.40	57	6.70	77	7.78	97	8.74	117	9.59	137	10.38	157	11.11	177	11.80
18	3.76	38	5.47	58	6.76	78	7.83	98	8.78	118	9.64	138	10.42	158	11.15	178	11.83
19	3.87	39	5.54	59	6.81	79	7.88	99	8.83	119	9.68	139	10.46	159	11.18	179	11.87
20	3.97	40	5.61	60	6.87	80	7.93	100	8.87	120	9.72	140	10.50	160	11.22	180	11.90

CAUDALES MEDIDOS CON TUBO CON ORIFICIO CALIBRADO																	
K= 0.586		C = 1.314				TUBO: 152 mm (6")						ORIFICIO: 76 mm (3")					
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.
1	1.31	21	6.02	41	8.41	61	10.26	81	11.83	101	13.21	121	14.45	141	15.60	161	16.67
2	1.86	22	6.16	42	8.52	62	10.35	82	11.90	102	13.27	122	14.51	142	15.66	162	16.72
3	2.28	23	6.30	43	8.62	63	10.43	83	11.97	103	13.34	123	14.57	143	15.71	163	16.78
4	2.63	24	6.44	44	8.72	64	10.51	84	12.04	104	13.40	124	14.63	144	15.77	164	16.83
5	2.94	25	6.57	45	8.81	65	10.59	85	12.11	105	13.46	125	14.69	145	15.82	165	16.88
6	3.22	26	6.70	46	8.91	66	10.67	86	12.19	106	13.53	126	14.75	146	15.88	166	16.93
7	3.48	27	6.83	47	9.01	67	10.76	87	12.26	107	13.59	127	14.81	147	15.93	167	16.98
8	3.72	28	6.95	48	9.10	68	10.84	88	12.33	108	13.66	128	14.87	148	15.99	168	17.03
9	3.94	29	7.08	49	9.20	69	10.91	89	12.40	109	13.72	129	14.92	149	16.04	169	17.08
10	4.16	30	7.20	50	9.29	70	10.99	90	12.47	110	13.78	130	14.98	150	16.09	170	17.13
11	4.36	31	7.32	51	9.38	71	11.07	91	12.53	111	13.84	131	15.04	151	16.15	171	17.18
12	4.55	32	7.43	52	9.48	72	11.15	92	12.60	112	13.91	132	15.10	152	16.20	172	17.23
13	4.74	33	7.55	53	9.57	73	11.23	93	12.67	113	13.97	133	15.15	153	16.25	173	17.28
14	4.92	34	7.66	54	9.66	74	11.30	94	12.74	114	14.03	134	15.21	154	16.31	174	17.33
15	5.09	35	7.77	55	9.74	75	11.38	95	12.81	115	14.09	135	15.27	155	16.36	175	17.38
16	5.26	36	7.88	56	9.83	76	11.46	96	12.87	116	14.15	136	15.32	156	16.41	176	17.43
17	5.42	37	7.99	57	9.92	77	11.53	97	12.94	117	14.21	137	15.38	157	16.46	177	17.48
18	5.57	38	8.10	58	10.02	78	11.60	98	13.01	118	14.27	138	15.44	158	16.52	178	17.53
19	5.73	39	8.21	59	10.09	79	11.68	99	13.07	119	14.33	139	15.49	159	16.57	179	17.58
20	5.88	40	8.31	60	10.18	80	11.75	100	13.14	120	14.39	140	15.55	160	16.62	180	17.63

MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS DE AGUA POTABLE.

CAUDALES MEDIDOS CON TUBO CON ORIFICIO CALIBRADO																	
K= 0.639		C = 2.549				TUBO: 152 mm (6")						ORIFICIO: 102 mm (4")					
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.
1	2.55	21	11.88	41	18.32	61	19.91	81	22.94	101	25.82	121	28.04	141	30.27	161	32.34
2	3.60	22	11.96	42	18.52	62	20.07	82	23.08	102	25.74	122	28.15	142	30.37	162	32.44
3	4.41	23	12.22	43	18.71	63	20.23	83	23.22	103	25.87	123	28.27	143	30.48	163	32.54
4	5.10	24	12.49	44	18.91	64	20.39	84	23.38	104	25.99	124	28.38	144	30.59	164	32.64
5	5.70	25	12.75	45	17.10	65	20.55	85	23.50	105	26.12	125	28.50	145	30.69	165	32.74
6	6.24	26	13.00	46	17.29	66	20.71	86	23.64	106	26.24	126	28.61	146	30.80	166	32.84
7	6.74	27	13.24	47	17.48	67	20.88	87	23.78	107	26.37	127	28.73	147	30.90	167	32.94
8	7.21	28	13.49	48	17.68	68	21.02	88	23.91	108	26.49	128	28.84	148	31.01	168	33.04
9	7.65	29	13.73	49	17.84	69	21.17	89	24.05	109	26.61	129	28.95	149	31.11	169	33.14
10	8.06	30	13.98	50	18.02	70	21.33	90	24.18	110	26.73	130	29.06	150	31.22	170	33.23
11	8.45	31	14.19	51	18.20	71	21.48	91	24.32	111	26.86	131	29.17	151	31.32	171	33.33
12	8.83	32	14.42	52	18.38	72	21.63	92	24.45	112	26.98	132	29.29	152	31.43	172	33.43
13	9.19	33	14.64	53	18.56	73	21.78	93	24.58	113	27.10	133	29.40	153	31.53	173	33.53
14	9.54	34	14.86	54	18.73	74	21.93	94	24.71	114	27.22	134	29.51	154	31.63	174	33.62
15	9.87	35	15.08	55	18.90	75	22.07	95	24.84	115	27.33	135	29.62	155	31.73	175	33.72
16	10.20	36	15.29	56	19.07	76	22.22	96	24.97	116	27.45	136	29.73	156	31.84	176	33.82
17	10.51	37	15.50	57	19.24	77	22.37	97	25.10	117	27.57	137	29.84	157	31.94	177	33.91
18	10.81	38	15.71	58	19.41	78	22.51	98	25.23	118	27.69	138	29.94	158	32.04	178	34.01
19	11.11	39	15.92	59	19.58	79	22.66	99	25.36	119	27.81	139	30.05	159	32.14	179	34.10
20	11.40	40	16.12	60	19.74	80	22.80	100	25.49	120	27.92	140	30.16	160	32.24	180	34.20

CAUDALES MEDIDOS CON TUBO CON ORIFICIO CALIBRADO																	
K= 0.825		C = 5.142				TUBO: 152 mm (6")						ORIFICIO: 127 mm (5")					
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.
5.14	21	23.56	41	32.92	61	40.16	81	46.28	101	51.68	121	56.56	141	61.06	161	65.24	
7.27	22	24.12	42	33.32	62	40.49	82	46.56	102	51.93	122	56.80	142	61.27	162	65.45	
8.91	23	24.66	43	33.72	63	40.81	83	46.85	103	52.19	123	57.03	143	61.49	163	65.65	
10.28	24	25.19	44	34.11	64	41.14	84	47.13	104	52.44	124	57.26	144	61.70	164	65.85	
11.50	25	25.71	45	34.49	65	41.46	85	47.41	105	52.69	125	57.49	145	61.92	165	66.05	
12.60	26	26.22	46	34.87	66	41.77	86	47.68	106	52.94	126	57.72	146	62.13	166	66.25	
13.60	27	26.72	47	35.25	67	42.09	87	47.96	107	53.19	127	57.95	147	62.34	167	66.45	
14.54	28	27.21	48	35.62	68	42.40	88	48.24	108	53.44	128	58.18	148	62.56	168	66.65	
15.43	29	27.69	49	35.99	69	42.71	89	48.51	109	53.68	129	58.40	149	62.77	169	66.85	
16.26	30	28.16	50	36.36	70	43.02	90	48.78	110	53.93	130	58.63	150	62.98	170	67.04	
17.05	31	28.63	51	36.72	71	43.33	91	49.05	111	54.17	131	58.85	151	63.19	171	67.24	
17.81	32	29.09	52	37.08	72	43.63	92	49.32	112	54.42	132	59.08	152	63.39	172	67.44	
18.54	33	29.54	53	37.43	73	43.93	93	49.59	113	54.66	133	59.30	153	63.60	173	67.63	
19.24	34	29.98	54	37.79	74	44.23	94	49.85	114	54.90	134	59.52	154	63.81	174	67.83	
19.91	35	34.42	55	38.13	75	44.53	95	50.12	115	55.14	135	59.74	155	64.02	175	68.02	
20.57	36	30.85	56	38.48	76	44.83	96	50.38	116	55.38	136	59.97	156	64.22	176	68.22	
21.20	37	31.28	57	38.82	77	45.12	97	50.64	117	55.62	137	60.19	157	64.43	177	68.41	
21.82	38	31.70	58	39.16	78	45.41	98	50.90	118	55.86	138	60.40	158	64.63	178	68.60	
22.41	39	32.11	59	39.50	79	45.70	99	51.16	119	56.09	139	60.62	159	64.84	179	68.80	
23.00	40	32.52	60	39.83	80	45.99	100	51.42	120	56.33	140	60.84	160	65.04	180	68.99	



MÉTODOS PARA LA REHABILITACIÓN DE POZOS DE AGUA POTABLE.

CAUDALES MEDIDOS CON TUBO CON ORIFICIO CALIBRADO																	
K= 0.78		C = 12.445				TUBO: 238 mm (10")				ORIFICIO: 203 mm (8")							
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.
1	12.45	21	57.03	41	79.69	61	97.20	81	112.01	101	125.07	121	136.90	141	147.78	161	157.91
2	17.60	22	58.37	42	80.65	62	97.99	82	112.69	102	125.69	122	137.46	142	148.30	162	158.40
3	21.56	23	59.68	43	81.61	63	98.78	83	113.38	103	126.30	123	138.02	143	148.82	163	158.89
4	24.89	24	60.97	44	82.55	64	99.56	84	114.06	104	126.91	124	138.58	144	149.34	164	159.37
5	27.83	25	62.23	45	83.48	65	100.33	85	114.74	105	127.52	125	139.14	145	149.86	165	159.86
6	30.48	26	63.46	46	84.41	66	101.10	86	115.41	106	128.13	126	139.69	146	150.37	166	160.34
7	32.93	27	64.67	47	85.32	67	101.87	87	116.08	107	128.73	127	140.25	147	150.89	167	160.82
8	35.20	28	65.85	48	86.22	68	102.62	88	116.74	108	129.33	128	140.80	148	151.40	168	161.31
9	37.34	29	67.02	49	87.12	69	103.38	89	117.41	109	129.93	129	141.35	149	151.91	169	161.79
10	39.35	30	68.16	50	88.00	70	104.12	90	118.06	110	130.52	130	141.89	150	152.42	170	162.26
11	41.28	31	69.29	51	88.88	71	104.86	91	118.72	111	131.12	131	142.44	151	152.93	171	162.74
12	43.11	32	70.40	52	89.74	72	105.60	92	119.37	112	131.71	132	142.98	152	153.43	172	163.21
13	44.87	33	71.49	53	90.60	73	106.33	93	120.02	113	132.29	138	143.52	153	153.94	173	163.69
14	46.56	34	72.57	54	91.45	74	107.06	94	120.66	114	132.88	134	144.06	154	154.44	174	164.16
15	48.20	35	73.63	55	92.29	75	107.78	95	121.30	115	133.46	135	144.60	155	154.94	175	164.63
16	49.78	36	74.67	56	93.13	76	108.49	96	121.94	116	134.04	136	145.13	156	155.44	176	165.10
17	51.31	37	75.70	57	93.96	77	109.20	97	122.57	117	134.61	137	145.66	157	155.94	177	165.57
18	52.80	38	76.72	58	94.78	78	109.91	98	123.20	118	135.19	138	146.20	158	156.43	178	166.04
19	54.25	39	77.72	59	95.59	79	110.61	99	123.83	119	135.76	139	146.72	159	156.93	179	166.50
20	55.66	40	78.71	60	96.40	80	111.31	100	124.45	120	136.33	140	147.25	160	157.42	180	166.97

CAUDALES MEDIDOS CON TUBO CON ORIFICIO CALIBRADO																	
K= 0.586		C = 5.259				TUBO: 304.8 mm (12")				ORIFICIO: 152 mm (6")							
H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.	cm	l.p.s.
1	5.26	21	24.10	41	33.67	61	41.07	81	47.33	101	52.85	121	57.85	141	62.45	161	66.73
2	7.44	22	24.67	42	34.08	62	41.41	82	47.62	102	53.11	122	58.09	142	62.67	162	66.94
3	9.11	23	25.22	43	34.49	63	41.74	83	47.91	103	53.37	123	58.33	143	62.89	163	67.14
4	10.52	24	25.76	44	34.88	64	42.07	84	48.20	104	53.63	124	58.56	144	63.11	164	67.35
5	11.76	25	26.30	45	35.28	65	42.40	85	48.49	105	53.89	125	58.80	145	63.33	165	67.55
6	12.88	26	26.82	46	35.67	66	42.72	86	48.77	106	54.14	126	59.03	146	63.54	166	67.76
7	13.91	27	27.33	47	36.05	67	43.05	87	49.05	107	54.40	127	59.27	147	63.76	167	67.96
8	14.87	28	27.83	48	36.44	68	43.37	88	49.33	108	54.65	128	59.50	148	63.98	168	68.16
9	15.78	29	28.32	49	36.81	69	43.68	89	49.61	109	54.91	129	59.73	149	64.19	169	68.37
10	16.63	30	28.80	50	37.19	70	44.00	90	49.89	110	55.16	130	59.96	150	64.41	170	68.57
11	17.44	31	29.28	51	37.56	71	44.31	91	50.17	111	55.41	131	60.19	151	64.62	171	68.77
12	18.22	32	29.75	52	37.92	72	44.62	92	50.44	112	55.66	132	60.42	152	64.84	172	68.97
13	18.96	33	30.21	53	38.29	73	44.93	93	50.72	113	55.90	133	60.65	153	65.05	173	69.17
14	19.68	34	30.66	54	38.65	74	45.24	94	50.99	114	56.15	134	60.88	154	65.26	174	69.37
15	20.37	35	31.11	55	39.00	75	45.54	95	51.26	115	56.40	135	61.10	155	65.47	175	69.57
16	21.04	36	31.55	56	39.35	76	45.85	96	51.53	116	56.64	136	61.33	156	65.68	176	69.77
17	21.68	37	31.99	57	39.70	77	46.15	97	51.80	117	56.88	137	61.56	157	65.90	177	69.97
18	22.31	38	32.42	58	40.05	78	46.45	98	52.06	118	57.13	138	61.78	158	66.10	178	70.16
19	22.92	39	32.84	59	40.40	79	46.74	99	52.33	119	57.37	139	62.00	159	66.31	179	70.36
20	23.52	40	33.26	60	40.74	80	47.04	100	52.59	120	57.61	140	62.23	160	66.52	180	70.56

## BIBLIOGRAFIA

- ◆ Benton Cuellar Andrés, “Construcción de Pozos para el Aprovechamiento de Agua Subterránea”. U. A. C.H. Edición 1966.
- ◆ Carrillo Ayala C.S. y Chávez García C.A. “Criterios Generales para el Aprovechamiento del agua Subterránea mediante Pozos Profundos Perforados por el Método de Percusión”. Tesis de Licenciatura. Departamento de Irrigación, U. A. C. H. Mayo 2004.
- ◆ C.N.A., “Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Libro III, 2.1 Rehabilitación de Pozos”. México, 1996
- ◆ C.N.A., “Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Libro v, 3.3.1 Perforación de Pozos”. México, Julio 1996.
- ◆ Gaytan Lugo A., “Diseño de Pozos para Agua”. Editorial U. A. C.H. México 1989.
- ◆ Gibson, U. P. y Singer, D.R., “Manual de Pozos Pequeños”. Editorial: Limusa, México D. F. Edición 4ta. Reimpresión, 1986.
- ◆ Márquez López Leonardo, “Aspectos Fundamentales de las pruebas de bombeo en hidráulica de pozos”. Tesis de Licenciatura U. N. A. M., Escuela Nacional de Estudios Profesionales “Aragón”.Edición Abril 1986.
- ◆ Martínez J., Ruano P., “AGUAS SUBTERRANEAS Captación y Aprovechamiento”. Editorial: **PROGENSA** (Promotora General de Estudios, S.A.), México, primera Edición 1998.
- ◆ Pimienta Jean, “La Captación de Aguas Subterráneas”. Editorial: Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona España, 1980.