



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

**PLANIFICACIÓN Y PROPUESTA METODOLÓGICA PARA  
LA REHABILITACIÓN DE POZO MECÁNICO UTILIZADO  
EN EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

**Bryan Oseas Pérez Del Cid**

Asesorado por el Ing. José Fernando Samayoa Roldán

Guatemala, febrero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLANIFICACIÓN Y PROPUESTA METODOLÓGICA PARA  
LA REHABILITACIÓN DE POZO MECÁNICO UTILIZADO  
EN EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**BRYAN OSEAS PÉREZ DEL CID**

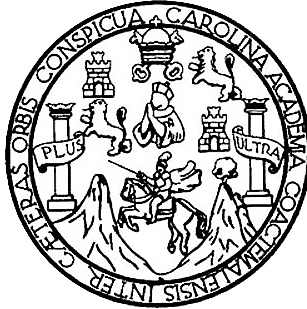
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ FERNANDO SAMAYOA ROLDÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Alan Geovani Cosillo Pinto
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **PLANIFICACIÓN Y PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REHABILITACIÓN DE POZO MECÁNICO UTILIZADO EN EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha abril de 2014.

**Bryan Oseas Pérez Del Cid**

Guatemala, 19 de octubre de 2015

Ingeniero Guillermo Francisco Melini Salguero  
Coordinador del Departamento de Planeamiento  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala


Señor coordinador,

Informo a usted que he revisado el trabajo de graduación titulado **PLANIFICACIÓN Y PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA REHABILITACIÓN DE POZO MECÁNICO UTILIZADO EN EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**, realizado por el estudiante universitario **Bryan Oseas Pérez Del Cid**, quien contó con la asesoría del suscrito.

El trabajo cumple con los objetivos para los cuales fue planteado y aporta valiosa información para la Ingeniería Nacional, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

José Fernando Samayoa Roldán  
Ingeniero Civil e Hidrogeólogo  
Colegiado No. 2299

(f) 

Ingeniero Civil José Fernando Samayoa Roldán  
Colegiado No. 2299  
Asesor



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
26 de noviembre de 2015

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PLANIFICACIÓN Y PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REHABILITACIÓN DE POZO MECÁNICO UTILIZADO EN EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Bryan Oseas Pérez Del Cid, quien contó con la asesoría del Ing. José Fernando Samayoa Roldán.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

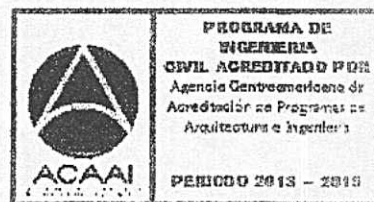
Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero  
Jefe Del Departamento de Planeamiento



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
PLANEAMIENTO  
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala


<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Fernando Samayoa Roldán y del Coordinador del Departamento de Planeamiento Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Bryan Oseas Pérez Del Cid, titulado **PLANIFICACIÓN Y PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REHABILITACIÓN DE POZO MECÁNICO UTILIZADO EN EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

*[Handwritten Signature]*  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero 2016  
/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.065.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **PLANIFICACIÓN Y PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REHABILITACIÓN DE PÓZO MECÁNICO UTILIZADO EN EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**, presentado por el estudiante universitario: **Bryan Oseas Pérez Del Cid**, y después haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*[Handwritten signature]*  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, febrero de 2016

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser el centro de mi vida, la inspiración de todo lo que hago, por darme la sabiduría, la vida y todo lo necesario para alcanzar esta meta. Recibe este triunfo como muestra de tu amor y tu fidelidad.
- Mis padres** José Eberardo Pérez y Olivia del Cid de Pérez, por darme su amor, sus palabras y apoyo para culminar esta meta trazada.
- Mi hijo** Ian Oseas Pérez Muñoz, con todo mi amor se lo dedico, por ser lo más valioso que Dios me ha dado y la principal razón para luchar en esta vida.
- Mis hermanos** Eber, Tony y Patrick Pérez, por darme palabras de aliento y apoyarme en momentos difíciles.
- Mi hermana** Scarleth Pérez, que me daba palabras para continuar y alcanzar el triunfo.
- Mi familia** Por su cariño y lazos que nos unen.
- Mis amigos** Por brindarme esa amistad en todo momento y también por sus palabras de aliento.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de  
San Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, la cual llevo en mi corazón.

**Facultad de Ingeniería**

Por darme la oportunidad de obtener una formación profesional.

**Ingeniero Fernando  
Samayoa**

Por dedicarme de su valioso tiempo y asesoría profesional para realizar el presente trabajo de graduación.

**Mis compañeros de la  
Facultad de Ingeniería**

Daniel Vargas, Nehemías Anona, entre otros, por brindarme su amistad en esta etapa de la vida.



	1.7.2.3.	<i>Aqua-clear AE</i> (mejorador acido/antifoulant).....	21
2.		PLANIFICACIÓN EN LA REHABILITACIÓN .....	25
	2.1.	Planificación .....	25
	2.2.	Fases del proceso de rehabilitación .....	25
	2.2.1.	Anteproyecto .....	25
	2.2.2.	Proyecto .....	26
	2.2.2.1.	Evaluación inicial del pozo y del sistema .....	27
	2.2.2.2.	Rehabilitación del pozo .....	28
	2.2.2.3.	Evaluación final de la rehabilitación y del sistema .....	30
	2.2.2.4.	Cronograma .....	31
	2.2.2.5.	Presupuesto de inversión .....	33
3.		PROGRAMACIÓN EN LA REHABILITACIÓN .....	35
	3.1.	Métodos de programación en la rehabilitación .....	35
	3.1.1.	Diagrama de Gantt .....	35
	3.1.2.	Método de la ruta crítica (CPM).....	37
	3.1.2.1.	Etapas de la ruta crítica.....	38
	3.2.	Manejo y asignación de recursos .....	42
	3.3.	Recursos humanos .....	42
	3.3.1.	Personal técnico y operativo .....	44
	3.3.2.	Recursos físicos y materiales.....	44
4.		DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES .....	47
	4.1.	Evaluación inicial del pozo .....	47
	4.1.1.	Inspección inicial .....	47

4.1.2.	Prueba de bombeo con equipo instalado .....	48
4.1.3.	Desinstalación del equipo de bombeo .....	50
4.1.4.	Revisión de equipo de bombeo en taller.....	50
4.1.5.	Análisis de la calidad del agua.....	51
4.1.5.1.	Toma de muestra para agua.....	51
4.1.5.2.	Examen fisicoquímico.....	52
4.1.5.3.	Muestra para examen bacteriológico... ..	52
4.1.6.	Aplicación de químico floculante.....	53
4.1.7.	Inspección con cámara.....	53
4.2.	Rehabilitación de pozo .....	55
4.2.1.	Cepillado de ademes .....	55
4.2.2.	Sacar relleno.....	56
4.2.3.	Limpieza del pozo .....	57
4.2.3.1.	Método químico .....	57
4.2.3.2.	Utilización de métodos mecánicos.....	57
4.2.3.2.1.	Pistonear .....	57
4.2.3.2.2.	Cubeteo.....	59
4.2.3.2.3.	Compresor.....	60
4.3.	Evaluación final de la rehabilitación y del sistema.....	61
4.3.1.	Prueba de bombeo .....	62
4.3.2.	Diseño de equipo de bombeo .....	63
4.3.2.1.	Cálculo de la bomba sumergible.....	64
4.3.2.2.	Cálculo del motor sumergible .....	65
4.3.3.	Inspección con cámara.....	65
4.3.4.	Análisis de la calidad del agua.....	66
4.3.5.	Instalación de equipo mecánico.....	67
CONCLUSIONES .....		69
RECOMENDACIONES.....		71

BIBLIOGRAFÍA.....73  
ANEXOS.....75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Pistoneo en pozos.....	11
2.	Montaje de para aire comprimido .....	14
3.	Diagrama de Gantt.....	37
4.	Notación de ruta crítica .....	39
5.	Ruta crítica de la rehabilitación .....	41
6.	Condición del pozo antes de la rehabilitación .....	54
7.	Cepillo para limpieza de ademes .....	56
8.	Procedimiento de cubeteo.....	60
9.	Prueba de bombeo.....	63
10.	Cálculo del nivel dinámico del pozo .....	64
11.	Condición del pozo después de la rehabilitación.....	66

### TABLAS

I.	Capacidad del pozo.....	17
II.	Aplicación <i>Aqua-clear</i> .....	20
III.	<i>Aqua-clear</i> a cada 10 pies.....	23
IV.	Cronograma de trabajo .....	32
V.	Presupuesto de inversión .....	34
VI.	Resumen de actividades de la rehabilitación .....	40





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\Delta$	Abatimiento
<b>HP</b>	Caballos de fuerza
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>GPM</b>	Galones por minuto
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo por centímetro cuadrado
<b>m</b>	Metros
<b>mm</b>	Milímetros
<b>Ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>Abatimiento</b>	Es el descenso que experimenta el nivel del agua cuando se está bombeando. Es la diferencia entre el nivel estático y el dinámico.
<b>Acuífero</b>	Son estratos o formaciones geológicas que permiten la circulación y almacenamiento del agua por sus poros o grietas. Dentro de estas formaciones pueden encontrarse materiales muy variados como gravas, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas y algunas formaciones volcánicas.
<b>Ademe</b>	Tubo que recubre y protege la integridad del pozo, usualmente se utiliza acero al carbón. Es un elemento de carácter estructural que se ve sometido a diferentes esfuerzos del terreno. Generalmente el tubo tiene un tramo liso y otro ranurado.
<b>Azolve</b>	Lodo o basura que obstruye un conducto de agua.
<b>Brocal</b>	Borde que rodea la boca de un pozo, generalmente se le da 1 metro de profundidad, con el fin de proteger las paredes naturales del mismo; puede ser de piedra o ladrillo en pozos manuales.

<b>Caudal específico</b>	Es el caudal recomendable que debe explotarse del acuífero sin peligro de agotarlo.
<b>Corrosión</b>	Es un fenómeno que afecta en gran parte el funcionamiento y durabilidad de un pozo, disminuyendo la vida útil de los componentes, tales como rejillas y equipo de bombeo.
<b>Embalse</b>	Depósito de agua que se forma de manera artificial.
<b>Incrustación</b>	Fenómeno químico presente en el agua debido a la presencia de algunos minerales que afectan y disminuyen el rendimiento y eficiencia de la estructura del pozo.
<b>Intersticio</b>	Hendidura o espacio que media entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo.
<b>Lixiviado</b>	Proceso de eliminación de los compuestos solubles de una roca, sedimento, suelo, entre otras, por las aguas de infiltración.
<b>Nivel dinámico</b>	Es el nivel del agua en el pozo, cuando se está bombeando.
<b>Nivel estático</b>	Es el punto máximo al que llega el nivel del agua en un pozo sin bombeo.

**Normas NSF**

Normas Fundación Nacional de Salubridad. Es una organización sin fines de lucro que realiza una evaluación completa de todos los aspectos del desarrollo de un producto antes de que pueda ser certificado.

**Soluble**

Se aplica al cuerpo sólido que se puede dividir en partículas muy pequeñas y que se mezclan con las de un líquido.

**Volts**

Es la unidad derivada del Sistema Internacional para el potencial eléctrico, la fuerza electromotriz y la tensión eléctrica.



## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se describe la planificación y propuesta para la rehabilitación de un pozo mecánico utilizado para el aprovechamiento del agua subterránea. Se propone una metodología en cuanto al proceso de rehabilitación, que incluye cronograma, presupuesto, instalación, entre otros.

Como parte de la metodología de investigación realizada se recurrió a distintos lugares para la recolección de información referente a pozos mecánicos tales como: el Centro de Investigaciones Urbanas y Regionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Instituto Nacional de Estadística, Instituto de Fomento Municipal (Infom), Hidrotecnia, Daho, Pozos de C. A, entre otros, con el fin de disponer de datos técnicos en cuanto a la extracción del agua subterránea.

Se determinó que los métodos utilizados para la rehabilitación de pozos son: mecánicos y químicos, cada uno subdividiéndose en dos o más metodologías, con la finalidad de aplicar la que mejor se adapte a las condiciones encontradas. Cada uno muestra desde el análisis o inspección previa del pozo en estudio, hasta la instalación de equipo mecánico de bombeo.

Se menciona asimismo, el programa de ejecución utilizado en cuanto a la rehabilitación, mostrando en cada uno el tiempo aproximado para cada actividad, con ello también un presupuesto aproximado en la rehabilitación de pozos.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer una metodología en la rehabilitación de pozo mecánico para mejorar su período de vida útil y calidad del agua.

### **Específicos**

1. Conocer la importancia y aplicación que tiene la planificación y programación de actividades para la rehabilitación de un pozo mecánico y el impacto en el usuario del recurso.
2. Determinar las razones técnicas y económicas por las cuales es necesaria una rehabilitación de pozo.
3. Realizar una evaluación general del pozo para determinar su condición.
4. Listar y describir aspectos generales que se deben planificar, luego del informe sobre estado del pozo.
5. Describir el procedimiento para llevar a cabo la rehabilitación del pozo y determinar su costo.
6. Determinar las especificaciones técnicas, económicas y disposiciones relevantes para el diseño de un pozo mecánico y su rehabilitación.

7. Determinar y dar a conocer las normas utilizadas en el diseño de la rehabilitación de pozos mecánicos para el aprovechamiento de agua subterránea.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha visto la disminución de la cantidad del agua superficial y la contaminación de la misma, lo que conlleva a que exista escasez de esta para su aprovechamiento; es por ello que se ha ido incrementando el uso del agua subterránea, ya que como diversos estudios lo han afirmado, existe más agua dulce disponible subterránea que superficial, 0,76 por ciento y 0,032 por ciento, respectivamente, para su aprovechamiento. Para ello se hace uso de pozos mecánicos o artesanales, con la finalidad de extraer el agua subterránea, y así aliviar la problemática del agua potable que hoy en día se vive.

Los pozos tienen una vida útil y es normal que un pozo de agua pierda su productividad de forma gradual al pasar el tiempo, provocada por diversas circunstancias que van desde obstrucción de rejillas, descenso de los niveles, corrosión en la tubería, entre otros. Para lo cual surge la necesidad de mantenimiento y rehabilitación del pozo con el fin de establecer las mejores características de funcionamiento que en su origen fueron obtenidas.

Este trabajo de graduación tiene como finalidad la planificación y propuesta metodológica de la rehabilitación de un pozo mecánico utilizado en el aprovechamiento del agua subterránea. En Guatemala, como en otros países, existen problemas de escasez de agua potable, para lo cual se ha optado por la construcción de pozos artesanales o mecánicos con la finalidad de extraer el agua subterránea para su abastecimiento, potabilizando el agua por diversos métodos, garantizando que la misma no sea dañina a la salud. Asimismo

también surge la necesidad de rehabilitar los pozos a cierto tiempo de uso, para que los mismos continúen con la funcionalidad para la cual fueron diseñados.

Los métodos utilizados para la rehabilitación de pozos van desde los métodos mecánicos, a través de sobrebombes, aire comprimido, entre otros, hasta los métodos químicos que van desde tratamientos químicos adecuados, que no sean perjudiciales para el medio ambiente, estableciendo la aplicación de cada uno, así como también la programación de ejecución.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1. Aguas subterráneas

El agua contenida en la zona de saturación es la única parte de toda el agua del subsuelo de la cual se puede hablar con propiedad como agua subterránea. Otros términos para definirla es el agua del subsuelo y agua profunda, pero se prefiere al de agua subterránea. La zona de saturación podría asimilarse a un gran embalse natural o sistema de embalse, cuya capacidad total es equivalente al volumen conjunto de los poros o aberturas de las rocas que se hallan llenas de agua.

El agua subterránea se encuentra en los acuíferos. El espesor de la zona de saturación varía desde unos pocos metros hasta varios cientos. Los factores que determinan su espesor son la geología local, la presencia de poros o intersticios en las formaciones, la recarga y el movimiento o desplazamiento del agua desde las áreas de recarga hasta las de descarga.

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

Considerando que existen diferentes tipos de acuíferos que pueden clasificarse según los materiales litológicos que los constituyan o el factor de la presión hidrostática del agua en los mismos, los cuales son:

- **Acuífero colgado:** en este tipo de acuífero algunas veces se da una capa de material más o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda atrapada en esta capa para formar un lentejón que normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada más próxima.
- **Acuífero libre:** es la formación en la cual existe una superficie libre de agua encerrada en ella y que se encuentra a presión atmosférica. La superficie del agua será el nivel freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no, aunque es importante notar que no debe tener ningún material impermeable, por encima.
- **Acuífero semiconfinado:** este tipo de acuífero constituye una variedad de los confinados, y se caracteriza por tener la parte superior e inferior sellada por materiales que no son totalmente impermeables. El material que lo forma permite una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal.
- **Acuífero confinado:** el agua que contiene este tipo de acuífero está sometida a cierta presión superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica saturándola totalmente. Dichos poros están sellados por materiales impermeables que no permiten que el agua ascienda hasta igualar la presión a la atmosférica.

## **1.2. Aprovechamiento del agua subterránea**

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

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

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

Es importante definir el tipo de permeabilidad en las formaciones geológicas, ya sea primaria o secundaria.

### **1.3. Características de las aguas subterráneas**

La calidad de las aguas subterráneas es generalmente de mejor calidad para el abastecimiento de poblaciones, comparándola con el agua que proviene de cursos superficiales, cada vez más contaminadas. Normalmente contiene menos bacterias, menor cantidad de materia orgánica y mayor cantidad de minerales como el hierro, manganeso y calcio. Estas aguas sufren un proceso de infiltración en las capas superiores; ese movimiento de percolación del agua a través del suelo les permite mantener un contacto prolongado y estrecho con

los minerales que forman los diferentes estratos que constituyen la corteza terrestre, de tal manera que aumenta su contenido mineral conforme se desplaza y en función de la salubridad de los minerales.

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

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

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

Las actividades que suelen provocar la contaminación puntual son:

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



Las actividades que suelen provocar contaminación difusa son:

- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas.
- Sobreexplotación forestal, disminuye áreas de infiltración.
- Sobreexplotación excesiva de los acuíferos costeros que facilita que el agua salina invada el agua dulce.

#### **1.4. Tipos de pozos**

Los pozos son estructuras que sirven para extraer el agua subterránea que se encuentra contenida en los acuíferos. Existen diferentes tipos de pozos según la utilidad y necesidad de cada uno de ellos:

- Pozos poco profundos: son pozos artesanales que se encuentran a menos de 50 pies de profundidad y suelen construirse manualmente. Como mínimo inicial, el pozo debe tener un diámetro de 1,25 metros, considerando una leve reducción del diámetro con la profundidad, lo cual aumenta la resistencia de las paredes. La perforación de estos pozos se divide en 3 segmentos:
  - Perforación superior del pozo: dado que el terreno está formado por material estable y resistente, el mismo material sostendrá las paredes del pozo. Un brocal con paredes internas que alcance un metro de profundidad será suficiente para sostener y proteger la boca del pozo. El brocal puede ser de piedra y mezcla o de ladrillos y mezcla, empotrado sobre una base lateral del pozo.
  - Perforación intermedia: en la perforación intermedia se debe dar gradualmente una leve reducción al diámetro del pozo, para llegar

abajo, hasta que este tenga entre 60 y 80 centímetros. Un menor diámetro en el fondo del pozo contribuye a elevar la columna de agua y facilitar su retirada. Si el pozo es de pobre caudal.

- Perforación y protección de la zona de la capa freática: el cambio de nivel de agua provocado por el uso o por las diferencias de caudal entre invierno y verano causan el desplome de las paredes. Si las paredes profundas del pozo se perciben poco estables, aunque rocosas, es fundamental la construcción de un brocal con ladrillos y mezcla o piedras y mezcla.
- Pozos profundos: son pozos donde es necesario excavar más de 50 pies de profundidad para captar las aguas subterráneas. Para construir los pozos profundos se emplea maquinaria adecuada de acuerdo con el método, ya sea método de rotación, percusión y rotopercusión.
- Pozos artesianos: es un tipo de pozo perforado hasta un punto, generalmente a gran profundidad, en el que la presión del agua es grande. Al perforar el acuífero el agua sale por presión hasta la superficie, si la topografía lo permite, en cuyo caso se habla de pozo artesano surgente. En general la elevada presión del agua en el pozo proviene del hecho de que se trate de un acuífero confinado entre capas impermeables.

### **1.5. Razones de baja producción en los pozos**

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

- La sedimentación de materiales finos en el fondo y lodos en zonas de captación que impiden la circulación libre del agua en el pozo.
- La corrosión en las paredes del pozo, especialmente en la rejilla, debido a minerales que exceden la cantidad tolerable; esto provoca que el agua del acuífero no circule libremente.
- Incrustaciones que producen acumulación de materiales en las aberturas de la rejilla, que disminuyendo su área abierta, provocan pérdidas de carga.
- La sobreexplotación del acuífero mediante la succión de un caudal mayor al caudal específico.

#### **1.6. Vida útil económica de un pozo**

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

#### **1.7. Métodos de limpieza para rehabilitación de pozos mecánicos**

Para llevar a cabo la rehabilitación del pozo mecánico existen métodos mecánicos y métodos químicos.

### **1.7.1. Métodos mecánicos**

Los métodos mecánicos se utilizan con el fin de remover las incrustaciones en la zona de captación y reacondicionamiento del empaque de grava para lograr un flujo libre de agua del acuífero al pozo.

Estos procedimientos de desarrollo logran su objetivo mediante la agitación energética del agua y la acción del flujo y reflujo del agua desde y hacia el pozo. El efecto del desarrollo se percibe desde el momento de la ejecución, por la cantidad de relleno extraído y por el reacomodo del filtro granular, manifestándose en un descenso del mismo en el espacio anular del pozo. Es indispensable que conforme el filtro descienda, se reponga de inmediato. Si se obtiene mucho azolve sin el descenso correspondiente, se debe sospechar la existencia de acuñaamientos del filtro.

#### **1.7.1.1. Método de cepillado**

Ademes incrustados, con costras de oxidación o colonias de bacterias ferruginosas y que se van a desarrollar física o químicamente, requieren de cepillado para limpiarlos en su interior, pues al eliminar con facilidad las costras interiores, total o parcialmente, se aumenta la eficacia del desarrollo.

Se utiliza un cepillo de alambre redondo y se introduce al pozo para retirar las incrustaciones adheridas a la tubería de ademe; este proceso se lleva a cabo en toda su longitud con la finalidad de destapar las rejillas de captación en el tubo permitiendo recuperar la filtración de agua al interior del pozo.

### **1.7.1.2. Método con pistón**

Es uno de los métodos más utilizados, especialmente en sondeos construidos a percusión por cable, por su simplicidad y bajo costo.

Consiste en provocar un flujo vertical bidireccional alternante hacia adentro y hacia afuera del acuífero a través de las ranuras de la rejilla, que se traduce en un efecto de inyección-aspiración en el filtro de grava y formaciones acuíferas del entorno del sondeo y que fuerza al material más fino del acuífero a entrar en el pozo. Este material debe ser posteriormente retirado utilizando los métodos disponibles (cubeta arenosa, compresor, entre otros). Si el pozo contiene lodo de perforación es conveniente realizar una limpieza previa por bombeo o con compresor.

El procedimiento es hacer subir y bajar un pistón, al que también se da el nombre de "émbolo buzo", dentro del entubado o rejilla; aunque esto último suele ser menos recomendable si existen arcillas o se tiene poca experiencia.

Un pistón simple consiste en una pieza de cierto peso a la que se adaptan varios discos de goma, de diámetro ajustado al de la tubería del sondeo. El pistón realiza un movimiento de vaivén, accionado generalmente por el balancín de un equipo de percusión, provocando el efecto mencionado.

El pistón normalmente se confecciona con discos de correa transportadora o de cuero, los cuales se presan entre otros de madera dura; el conjunto se aprieta entre dos discos de acero. Los discos de correa o cuero se cortan de manera que sean de un diámetro igual al de la rejilla. Los de madera dura deben tener un diámetro de 2,5 centímetros menor que el diámetro de la rejilla y los de acero un diámetro unos 5 centímetros menor.

Se utilizan dos tipos de pistones, los cuales son:

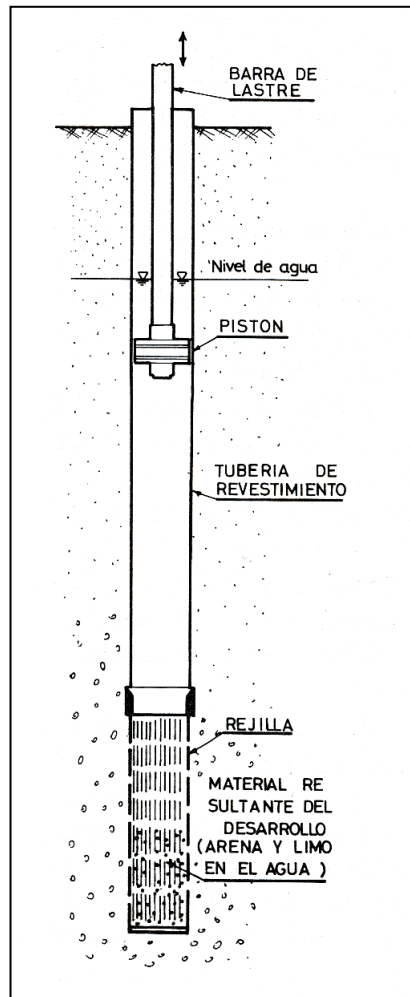
- Pistón cerrado o macizo
- Pistón abierto o de válvula

El pistón abierto o de válvula presenta unas perforaciones longitudinales cubiertas por lámina de goma en la parte superior. Al descender el pistón el efecto de empuje se amortigua pues el agua escapa hacia la parte superior a través del pistón. Cuando el pistón asciende, la lámina de goma asienta sobre la cara superior del pistón y la succión es mucho más intensa que el empuje y se evacua de manera continua el material fino, en vez de forzarlo hacia el exterior en cada descenso. Su acción es más suave y está indicado cuando hay arcillas o en las primeras operaciones de pistoneo, antes de utilizar el pistón cerrado.

En formaciones poco permeables o cuando la formación subyacente consta de arena fina, limo o arcilla blanda, deben emplearse con extremado cuidado los pistones macizos o cerrados, ya que su acción es violenta y puede introducir limo y arcilla en el acuífero a un ritmo superior al de la extracción.

En la figura 1 se muestra la instalación para el desarrollo de pozos por pistoneo. Se hace bajar una barra con el pistón hasta unos 3 a 5 metros por debajo del nivel estático. Como el agua es incomprensible, la acción del pistón se transmite a la zona de la rejilla a través de la columna de agua.

Figura 1. **Pistoneo en pozos**



Fuente: KELLER, Gabriell. *Mecánica de suelos*. p. 335.

### 1.7.1.3. **Método por bombeo**

Se basan en provocar en el entorno del sondeo incrementos de la velocidad de flujo del agua. Suelen utilizar equipos de bombes especiales, frecuentemente bombas de eje vertical, ya que están sometidos a fuertes desgastes.

Existen dos modalidades, las cuales son:

- **Sobrebombeo:** consiste en bombear el pozo con un caudal superior al previsto en su régimen de explotación. Con ello se provocan velocidades de flujo superiores a las que serán habituales, movilizandoy eliminando las fracciones finas en un plazo de tiempo muy inferior al que se precisaría en su régimen normal de explotación.
- **Bombeo alternante:** consiste en provocar paros y arranques sucesivos de la bomba, con el fin de crear variaciones bruscas de presión, de forma que el agua retenida en la columna de impulsión retroceda y penetre por los filtros al sondeo. Para ello se utiliza preferentemente una bomba centrífuga de eje vertical, pero es de esperar un gran desgaste del material. No se coloca válvula de pie para que el agua de la columna de bombeo pueda caer al pozo.

#### **1.7.1.4. Método de aire comprimido**

En los sistemas de desarrollo con aire comprimido se consiguen efectos equivalentes a la combinación de pistoneo y bombeo. Básicamente consiste en alternar fases de bombeo mediante "*air lift*" con inyección brusca de aire.

El empleo de aire comprimido para efectuar el trabajo de desarrollo puede ser un proceso rápido y eficaz. Se pueden emplear dos sistemas:

- **Método de cabezal abierto:** el desarrollo se basa en el principio de combinar la oleada y el bombeo. Se produce un fuerte oleaje soltando repentinamente grandes volúmenes de aire en el pozo y el bombeo se efectúa por elevación normal del agua mediante aire comprimido. El éxito



del proceso depende de la correcta aplicación de la combinación oleada-bombeo.

- Método de cabezal cerrado: consiste en cerrar la parte superior del entubado y disponer el equipo de manera que la presión de aire pueda acumularse dentro del entubado y forzar el agua a través de la rejilla hacia la formación acuífera.

En ambos casos se requiere disponer de un considerable equipo que debe constar de:

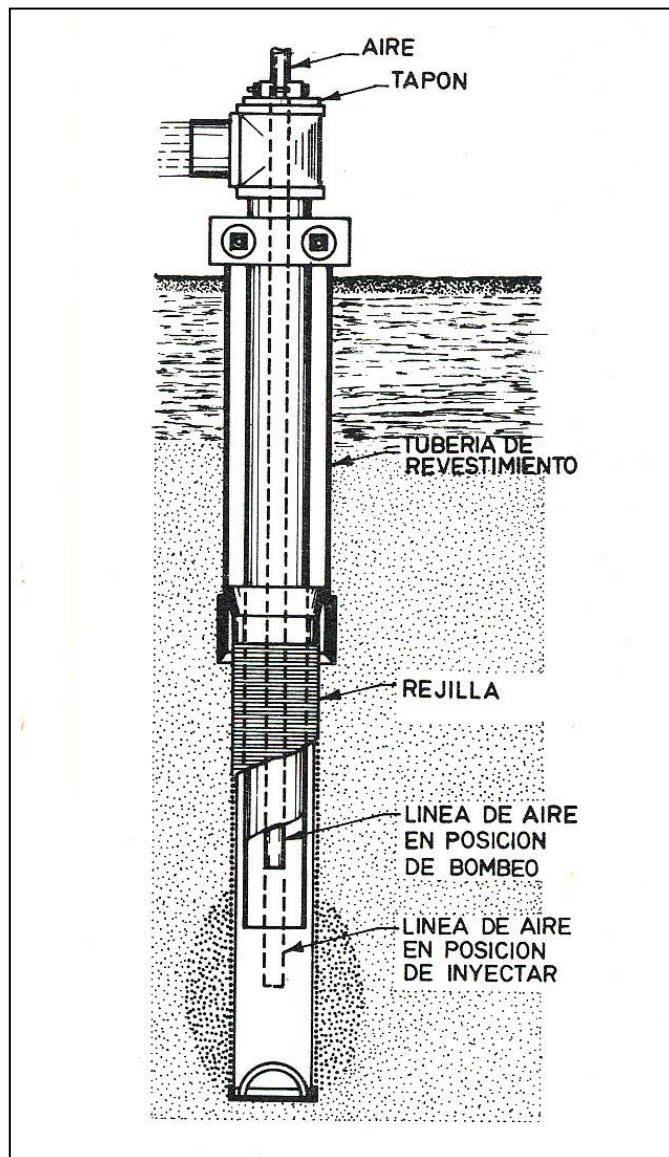
- Compresor de aire de tamaño adecuado, con depósito de 0,5 metros cúbicos de capacidad, o más.
- Tubo de agua y tubo de aire con los medios adecuados para elevar y bajar, independientemente cada uno de ellos.
- Manguera flexible de aire a alta presión.
- Varios accesorios como tubos, válvulas, conexiones T, manómetros entre otros.

El compresor debe dar una presión mínima de  $7 \text{ kg/cm}^2$ ; además es necesario disponer de una cantidad aproximada de 5,2 litros de aire por cada litro de agua a extraer.

A continuación, en la figura 2, se representa el montaje necesario para desarrollar un pozo con aire comprimido mediante este método, indicando además la forma correcta de colocar la tubería de bombeo y el tubo de aire

dentro del pozo. La tubería se puede manejar adecuadamente con el cable de sondear o entubar y el tubo de aire con el cable de cuchareo u otro cable de izar disponible.

Figura 2. **Montaje de para aire comprimido**



Fuente: KELLER, Gabriell. *Mecánica de suelos*. p. 335.

## **1.7.2. Métodos químicos**

Otros métodos utilizados para la limpieza en la rehabilitación de pozos son los métodos químicos, entre los cuales se tienen los siguientes tipos de tratamientos.

### **1.7.2.1. *Aqua-clear* PFD (dispersante libre de fosfatos)**

Es un polímero líquido dispersante concentrado que provee remoción de lodo y sedimento de las formaciones productoras y engravadas; no contiene fosfatos.

Algunas de las funciones del tratamiento son las siguientes:

- Dispersa lodo, sedimentos y arcillas de las formaciones productoras y engravadas en el intervalo ranurado del *casing*.
- Incrementa la productividad del pozo.
- Reduce el tiempo de desarrollo.

Algunas de las ventajas del tratamiento son las siguientes:

- Certificado por Norma NSF/ANSI Standard 60
- Uso seguro con todos los plásticos, gomas y metales
- No produce vapores tóxicos
- Incrementa la capacidad del pozo y caudal de producción
- Reduce el costo de bombeo

El tratamiento recomendado es el siguiente:

- Determinar el volumen de agua en el área de mallas y duplicarlo para contar el volumen correspondiente al agua en la zona engravada e interfase de formación o determinar el volumen estático de agua y agregar 50 por ciento de exceso.
- Una vez que el volumen está determinado, calcular el correspondiente al tratamiento requerido de *Aqua-clear* PFD con la siguiente fórmula:  
Cantidad de producto = 0,002 por volumen de agua.
- Mezclar vigorosamente antes de colocar en el pozo.
- El método más recomendable de aplicación utiliza una tubería para llevar el producto al área de ranurada.
- Si es necesario, la solución *Aqua-clear* PFD/agua puede ser vertida al pozo.
- La solución debería mezclarse completamente en el pozo, luego agitarse usando pistoneo y bombeo, chorro a presión u otra técnica desarrollada, repitiendo cada dos horas y por un período de hasta 24 horas.
- Bombear para descargar efluente hasta que la turbidez desaparezca y reconectar el pozo al sistema de distribución.

Tabla I. Capacidad del pozo

Carta de Capacidad de Pozo (Galones por Pie)					
Diametro de Pozo (Pulgadas)	Capacidad de Pozo en Galones/ft	Diametro de Pozo (Pulgadas)	Capacidad de Pozo en Galones/ft	Diametro de Pozo (Pulgadas)	Capacidad de Pozo en Galones/ft
2	0.2	12	5.9	24	23.5
4	0.7	14	8.0	26	27.6
5	1.0	16	10.5	28	32.0
6	1.5	18	13.2	30	36.7
8	2.6	20	16.3	36	52.9
10	4.1	22	19.7	48	94.0
Carta de Capacidad de Pozo (Litros por Metro)					
Diametro de Pozo (milímetros)	Capacidad de Pozo Litros/metro	Diametro de Pozo (milímetros)	Capacidad de Pozo Litros/metro	Diametro de Pozo (milímetros)	Capacidad de Pozo Litros/metro
51	2.0	305	73.0	610	292.0
102	8.1	356	99.3	660	342.6
127	12.7	406	129.7	711	397.3
152	18.3	457	164.2	762	456.1
203	32.4	508	202.7	914	656.8
254	50.7	559	245.3	1219	1167.7

Fuente: *Investigación de operaciones.*

[http://www.baroididp.com/public\\_idp/psdata/Data\\_Sheets/A\\_H/AQ\\_PFD\\_Sp.pdf](http://www.baroididp.com/public_idp/psdata/Data_Sheets/A_H/AQ_PFD_Sp.pdf).

Consulta: 3 de marzo de 2015.

### 1.7.2.2. **Aqua-clear MGA (ácido granular modificado)**

Es una mezcla en polvo de un ácido granular y aditivos usados en la remoción de incrustaciones de hierro manganeso y carbonatos. Tiene más fuerza de retención que la mayoría de los ácidos líquidos, lo cual incrementa la capacidad de limpieza.

Algunas de las funciones del tratamiento son las siguientes:

- Dispersa deposiciones e incrustaciones.
- Remueve deposiciones e incrustaciones de las mallas de *casing* en pozos de agua, zonas engravadas y bombas.
- Restaura la producción del pozo.
- *Aqua-clear MGA* puede ser utilizado en combinación con *Aqua-clear AE* para remover deposiciones o incrustaciones más dificultosas.

Algunas de las ventajas del tratamiento son las siguientes:

- Certificado por normas *NSF/ANSI Standard 60*.
- Es seguro para usarse en todos los plásticos, gomas y metales.
- No emite vapores dañinos.
- Mejora la calidad del agua (color, sabor y apariencia).
- Reduce fallas de equipo y tubería por formación de incrustaciones y corrosión.
- Reduce el costo de bombeo.

El tratamiento recomendado es el siguiente:

- Registrar el pH inicial del pozo de agua.
- El método de aplicación de preferencia es aplicar una solución de *Aqua-clear MGA* en el intervalo ranurado por medio de una tubería.
- Mezclar *Aqua-clear MGA* con agua a razón de ½ a 1 libra por galón de agua o 0,06 a 0,12 kilogramos por litro de agua y aplicar directamente en el intervalo ranurado con una tubería. Cuando se utilice este método,

calcular el volumen de agua en el área ranurada y duplicarlo, para contar el agua en la zona engravada e interfase con la formación.

- Cálculo de volumen en un pozo:
  - Galones por pie =  $(\text{diámetro, pulgadas})^2 \times 0,042$
  - Litros por metro =  $(\text{diámetro, milímetros})^2 \times 0,0008$
- Desplazar la solución en la zona ranurada de *casing* del pozo. Luego, pistonear y bombear, agitar o lavar a presión a través de la malla y zona engravada por 20 a 30 minutos.
- Permitir retomar al pozo la condición inicial por 2 horas y repetir la operación aproximadamente cada dos horas durante las siguientes 24 horas.
- Poner en producción para descargar hasta que el pH esté en rango de 0,5 unidades del valor original.
- Clorar el pozo y reconectar a la red de distribución. Nunca mezclar cloro y este producto en el pozo.
- Si es necesario, *Aqua-clear MGA* puede vertirse directamente en el pozo según las tablas de tratamiento, pero los resultados no serán tan buenos como si se aplica en forma disuelta por medio de tubería. La forma no disuelta requerirá mayor agitación mecánica.

- Nota: en pozos fuertemente incrustados, es deseable raspar o cepillar tanto el *casing* como la rejilla, luego bombear y remover con aire los restos para desechar previo al tratamiento ácido.

Tabla II. **Aplicación Aqua-clear**

<b>Cantidades de Aplicación AQUA-CLEAR® MGA por cada 10 Pies de Altura de Agua</b>					
<b>Diametro de Pozo (Pulgadas)</b>	<b>Libras de Producto</b>	<b>Diametro de Pozo (Pulgadas)</b>	<b>Libras de Producto</b>	<b>Diametro de Pozo (Pulgadas)</b>	<b>Libras de Producto</b>
2	0.35	12	12.73	24	50.94
4	1.41	14	17.33	26	59.78
5	2.21	16	22.64	28	69.33
6	3.18	18	28.65	30	79.60
8	5.66	20	35.37	36	114.61
10	8.84	22	42.80	48	203.75

<b>Cantidades de Aplicación de AQUA-CLEAR MGA por cada 10 Metros de Altura de Agua</b>					
<b>Diametro de Pozo (milímetros)</b>	<b>Kilogramos de Producto</b>	<b>Diametro de Pozo (milímetros)</b>	<b>Kilogramos de Producto</b>	<b>Diametro de Pozo (milímetros)</b>	<b>Kilogramos de Producto</b>
51	0.53	305	18.97	610	75.90
102	2.11	356	25.83	660	89.10
127	3.29	406	33.73	711	103.31
152	4.74	457	42.69	762	118.60
203	8.43	508	52.71	914	170.77
254	13.18	559	63.78	1219	303.60

Fuente: Investigación de operaciones.

[http://www.baroididp.com/public\\_idp/data/Data\\_Sheets/A\\_H/AQ\\_MGA\\_Sp.pdf](http://www.baroididp.com/public_idp/data/Data_Sheets/A_H/AQ_MGA_Sp.pdf).

Consulta: 3 de marzo de 2015.



**1.7.2.3. Aqua-clear AE (mejorador ácido/antifoulant)**

Es una mezcla líquida de ácidos y mejoradores formulada para controlar ensuciamiento por bacterias cuya contaminación es debida a la presencia de bacterias del hierro y reductoras de sulfato.

Algunas de las funciones del tratamiento son las siguientes:

- Remover la matrix de biomasa causada por ensuciamiento bacteriano.
- Reducir el sabor y olor a azufre en agua.
- Limpiar rejillas del pozo, bombas y sistemas de distribución.
- Restaurar la productividad del pozo y reducir costos de mantenimiento y fuentes de poder.
- *Aqua-clear AE* puede usarse en combinación con *Aqua-clear MGA* y otros ácidos, tales como clorhídrico (muriático), fosfórico y sulfámico para mejorar su efectividad y remover las incrustaciones y deposiciones más dificultosas.

Algunas de las ventajas del producto son las siguientes:

- Certificado por *Norma NSF/ANSI 60*
- Uso seguro en todos los plásticos, gomas y metales
- Buena relación costo-beneficio, extiende los plazos entre tratamientos
- Mejora la calidad del agua y renueva las tasas de producción del pozo
- Reduce la corrosión y falla de equipos
- Reduce los costos de bombeo

El tratamiento recomendado es el siguiente:

- Registrar pH inicial del agua.
- El tratamiento preferido es aplicar una solución de *Aqua-clear AE* en el intervalo ranurado mediante una tubería auxiliar.
- Mezclar *Aqua-clear AE* con agua a razón de 6 - 12 onzas por galón de agua o 178 a 355 ml por litro de agua y aplicar directamente en el intervalo ranurado con una tubería auxiliar. Cuando se utilice este método, calcular el volumen de agua en el intervalo ranurado y duplicar el cálculo de volumen para tener en cuenta el agua en la zona engravada y la interfase con la formación.
- Cálculos de volumen en un pozo:
  - Galones por pie = (diámetro, pulgadas)  $2 \times 0,042$
  - Desplazar la solución en la zona ranurada del *casing* y formación, luego pistonear y bombear, agitar o lavar a presión a través de la malla y zona engravada por 20 o 30 minutos.
  - Dejar en reposo por un par de horas y luego repetir la actividad aproximadamente cada dos horas, por un período de 24 horas.
  - Bombear el pozo para purgar hasta por lo menos 23 veces sin volumen removido; el pH del agua está dentro del rango de 0,5 unidades del original.

Tabla III. *Aqua-clear* a cada 10 pies

<b>Cantidades a Aplicar de AQUA-CLEAR® AE por cada 10 Pies de Altura de Agua</b>					
<b>Diametro de Pozo (pulgadas)</b>	<b>Galones de Producto</b>	<b>Diametro de Pozo (pulgadas)</b>	<b>Galones de Producto</b>	<b>Diametro de Pozo (Pulgadas)</b>	<b>Galones de Producto</b>
2	0.04	12	1.27	24	5.10
4	0.14	14	1.73	26	6.00
5	0.22	16	2.26	28	6.93
6	0.32	18	2.87	30	7.96
8	0.57	20	3.54	36	11.46
10	0.88	22	4.28	48	20.40
<b>Cantidades a Aplicar de AQUA-CLEAR AE por cada 10 Metros de Altura de Agua</b>					
<b>Diametro de Pozo (milímetros)</b>	<b>Litros de Producto</b>	<b>Diametro de Pozo (milímetros)</b>	<b>Litros de Producto</b>	<b>Diametro de Pozo (milímetros)</b>	<b>Litros de Producto</b>
51	0.49	305	17.60	610	70.35
102	1.95	356	23.94	660	82.57
127	3.05	406	31.27	711	95.76
152	4.40	457	39.57	762	109.93
203	7.82	508	48.86	914	158.29
254	12.21	559	59.12	1219	281.41

Fuente: Investigación de operaciones.

[http://www.baroiddp.com/public\\_idp/pba/Data\\_Sheets/H/RAESP.PDF](http://www.baroiddp.com/public_idp/pba/Data_Sheets/H/RAESP.PDF).

Consulta: 3 de marzo de 2015.



## **2. PLANIFICACIÓN EN LA REHABILITACIÓN**

### **2.1. Planificación**

“La planificación relacionada con el aprovechamiento de las aguas subterráneas busca determinar elementos que permitan estimar la disponibilidad del recurso subterráneo, y dar además las bases para la gestión en otros aspectos como la operación, construcción y mantenimiento de pozos profundos.”<sup>1</sup>

### **2.2. Fases del proceso de rehabilitación**

En el proceso de rehabilitación se realiza el anteproyecto, que consiste en ver la factibilidad de llevar a cabo un proyecto en estudio, y por último la ejecución del proyecto.

#### **2.2.1. Anteproyecto**

La rehabilitación de pozos es una actividad cuyo desempeño resulta muy particular, pues rara vez es posible conocer de antemano el alcance que se tendrá en el trabajo, generalmente, durante la realización del mismo; el problema se va develando y se requiere tener capacidad técnica para tomar decisiones que se requieran.

---

<sup>1</sup> *Investigación de operaciones.* <http://www.cec.uchile.cl/~ci51j/Complemento/CharlaAguasSubterranas.pdf>. Consulta: 3 de marzo de 2015.

Los imprevistos de todo tipo se atenúan en razón directa con la información que se disponga, referente a las características constructivas, geohidrológicas, entre otras, del pozo; por lo que antes de iniciar cualquier programa de rehabilitación es conveniente recabar el máximo de información sobre el pozo que se pretende rehabilitar, con la finalidad de hacer fácil, rápida y acertada la toma de decisiones.

Además de una descripción de las razones que motivan la rehabilitación conviene recopilar la siguiente información:

- Croquis de la localización del pozo
- Perfil litológico
- Diseño del pozo
- Modificaciones posteriores al diseño original
- Información de los pozos vecinos
- Datos del aforo original y subsecuente
- Características del equipo electromecánico

### **2.2.2. Proyecto**

La rehabilitación de un pozo es necesaria ya que con el uso y el tiempo, los pozos de agua habitualmente se deterioran. La pérdida de productividad es indicada por el decrecimiento en el rendimiento y la capacidad del pozo, o por una calidad deficiente en el agua como incremento en la turbidez, cambios de color, sabor u olor, debido al crecimiento de bacterias.

Un proyecto de rehabilitación de pozos consta de tres fases las cuales son:

- Evaluación inicial del pozo y del sistema (equipo de bombeo)
- Rehabilitación del pozo
- Evaluación final del pozo y del sistema (equipo de bombeo)

#### **2.2.2.1. Evaluación inicial del pozo y del sistema**

La evaluación inicial del pozo consiste en una serie de operaciones, de las cuales se obtiene información para determinar un diagnóstico para el pozo y realizar las reparaciones y acciones necesarias para recuperar las condiciones del mismo.

Las actividades son las siguientes:

- Inspección inicial: se realiza una inspección visual, así como una recopilación de información de las características del área de trabajo, datos hidráulicos, si los hubiese, y geometría del pozo.
- Prueba de bombeo con equipo instalado: se realiza una prueba de bombeo con el equipo instalado con el fin de obtener parámetros como nivel dinámico ( $N_D$ ), nivel estático ( $N_S$ ), caudal ( $Q$ ) y caudal específico ( $Q_S$ ), ya que con estos datos puede determinarse el comportamiento y productividad del pozo. Estos parámetros se comparan con los datos en la prueba de bombeo correspondiente a la fase final y así determinar los resultados de la rehabilitación.

- Desinstalación de equipo de bombeo: se procede a desinstalar el equipo de bombeo para su revisión en taller.
- Revisión de equipo de bombeo en taller: se realizan las pruebas visual, mecánica y eléctrica necesarias del equipo de bombeo y se determina la condición del mismo.
- Análisis de la calidad del agua: a través del análisis del agua se obtienen sus características fisicoquímicas y bacteriológicas, lo cual es un indicador del problema en el pozo.
- Aplicación de químico floculante: el objetivo de este tratamiento es aglomerar las partículas disueltas en el agua en unidades llamadas flóculos; estos van creciendo y por efectos de la gravedad caen al fondo y se logra cierta claridad del agua para el siguiente procedimiento.
- Inspección con cámara: se realiza una inspección con cámara de video, con el fin de determinar el estado del *casing* y la condición general del pozo.

### **2.2.2.2. Rehabilitación del pozo**

Se le llama rehabilitación de pozos al conjunto de operaciones tendientes a mejorar la eficiencia de producción de un pozo, que por determinadas circunstancias, ha salido de esta condición.

Las operaciones y métodos de rehabilitación de pozos son tan variados como pueden ser las condiciones geohidrológicas, de proyecto, constructivas y de operación de la obra; por lo tanto a continuación se presenta un listado de



operaciones y métodos que generalmente se emplean en una rehabilitación, teniendo en cuenta que existen proyectos de condiciones especiales que requieren de operaciones y métodos especiales.

Las operaciones y métodos son los siguientes:

- Cepillado de ademes: este procedimiento se hace con el objetivo de desprender las incrustaciones que están en las rejillas, y así liberar el flujo de agua del acuífero hacia el pozo.
- Sacar relleno: se realiza con una cubeta de 6 metros, tipo arenera, cuyo trabajo es sacar del fondo del pozo el relleno que ha caído luego del procedimiento de cepillado de ademes.
- Limpieza en el pozo
  - Aplicación de químico: es necesaria la aplicación de algún producto químico para remoción de lodos y sedimentos en las formaciones productoras y engravadas. Remover incrustación de hierro, manganeso y carbonatos y controlar el ensuciamiento por baterías.
  - Pistonear: el objetivo de este procedimiento es crear una turbulencia en la zona de las rejillas y también un vacío que haga crear una zona de movimiento en el espacio anular que contiene la grava del filtro del pozo, realizando así una limpieza de la zona de la grava que está en contacto con la formación del acuífero.

- Cubeteo: se realiza con una cubeta de 6 metros de largo; el procedimiento es sacar agua del pozo para ir limpiando el agua.
- Compresor: se basa en el principio de combinar la oleada y el bombeo. Se produce un fuerte oleaje soltando repentinamente grandes volúmenes de aire en el pozo y el bombeo se efectúa por elevación normal del agua mediante aire comprimido.

### **2.2.2.3. Evaluación final de la rehabilitación y del sistema**

Consiste en una serie de operaciones que darán información posterior a la rehabilitación como calidad del agua, caudal, entre otros. Estos resultados se compararán con los datos previos a la rehabilitación y así se determinará el éxito de la rehabilitación.

- Prueba de bombeo: de esta se obtienen parámetros como:
  - Nivel dinámico ( $N_D$ ): nivel que alcanza el pozo cuando se está bombeando.
  - Nivel estático ( $N_E$ ): nivel máximo en el pozo sin bombeo.
  - Caudal ( $Q$ ): es el caudal que se obtiene en la prueba de bombeo.
  - Caudal específico ( $Q_S$ ): caudal que se obtiene por cada pie de abatimiento que presenta el pozo.

Con los parámetros anteriores, los datos se pueden comparar en la primera prueba de bombeo con equipo instalado y así determinar la efectividad de la rehabilitación del pozo.

- Diseño de equipo de bombeo: es necesario diseñar un nuevo equipo de bombeo para las nuevas condiciones de niveles y caudal específico del pozo.
- Inspección con cámara: la inspección con cámara se lleva a cabo con la finalidad de comprobar los resultados y determinar la nueva condición física de la tubería en el pozo, ya que se espera una tubería limpia y libre de incrustaciones, así como rejillas libres para el flujo libre del agua del acuífero hacia el pozo.
- Análisis de calidad del agua: es necesario determinar la calidad del agua, que esté libre de elementos químicos que sean dañinos para la salud y por lo tanto que sea apta para consumo humano.
- Instalación de equipo de bombeo: por último se lleva a cabo la instalación del equipo de bombeo.

En el capítulo 4 se detallará el procedimiento para realizar cada actividad de la rehabilitación del pozo.

#### **2.2.2.4. Cronograma**

El tiempo aproximado de duración en la rehabilitación de pozos mecánicos varía según la disponibilidad de recurso tanto material como humano, sin embargo la tabla IV muestra un tiempo promedio aceptable de duración en dicho trabajo

Tabla IV. **Cronograma de trabajo**

<b>Rehabilitación del pozo</b>	
Actividades	Tiempo en días
<b>Evaluación inicial del pozo</b>	
Inspección inicial	1
Prueba de bombeo con equipo instalado	1
Desinstalación de equipo de bombeo	0,5
Revisión de equipo de bombeo en taller	2
Análisis de la calidad del agua	1
Aplicación de químico floculante	1
Inspección con cámara	1
<b>Rehabilitación del pozo</b>	
Cepillado de ademes	0,5
sacar relleno	0,5
Limpieza del pozo	2,5
Aplicación de producto químico	0.5
Pistonear	1
Cubeteo	1
Compresor	0,5
<b>Evaluación final de la rehabilitación y del sistema</b>	
Prueba de bombeo	2
Diseño de equipo de bombeo	0,5
Inspección con cámara	1
Análisis de la calidad del agua	1
Instalación de equipo de bombeo	0,5

Fuente: elaboración propia.

#### **2.2.2.5. Presupuesto de inversión**

Es importante mencionar que previo al desarrollo de cualquier tipo de limpieza mecánica o prueba de bombeo es necesario conocer las condiciones internas del pozo, para lo cual se debe contar con una cámara de video digital de alta definición; con ella se podrán inspeccionar tramos específicos del *casing* del pozo, por ejemplo las uniones o soldaduras y especialmente las rejillas, las cuales son parte importante del pozo, ya que estas deben estar totalmente libres de sedimentos y cualquier otro material que impida el ingreso libre del agua del acuífero al interior del pozo.

El tener las rejillas libres ayuda a minimizar problemas de abatimiento en el nivel de agua del pozo al momento que este es bombeado, principalmente si se va a desarrollar una prueba de bombeo.

Durante el desarrollo de la inspección con cámara de video sumergible, el equipo de bombeo sumergible extraído del cliente será trasladado a laboratorio, en donde será sometido a una inspección general tanto mecánica como eléctrica; de tal manera que se pueda dar un diagnóstico certero de las condiciones actuales en que este se encuentra operando.

A continuación se detalla en la tabla V un presupuesto aproximado en cuanto a la rehabilitación de pozos mecánicos se refiere.

Tabla V. Presupuesto de inversión

<b>RUBRO "A": mano de obra técnica y maquinaria</b>	<b>Valor</b>	<b>S/N</b>
1- Extracción e instalación de equipo de bombeo sumergible (60 HP)	Q6 450,00	X
1- Movilización de maquinaria, montaje y desmontaje de la misma	Q1 200,00	X
1- Mano de obra técnica por trabajos realizados en pozo	Q1 250,00	X
1- Empalme vulcanizado, materiales de amarre	Q3 000,00	X
2- Inspección con cámara digital	Q11 000,00	X
1- Revisión y mantenimiento preventivo a equipo sumergible en taller	Q550,00	X
48 Horas de limpieza química-mecánica para liberar las rejillas del pozo	Q25 450,00	X
1- Prueba de bombeo 24 horas para determinar las condiciones actuales del pozo	Q32 500,00	X
<b>Subtotal</b>	<b>Q81 400,00</b>	
<b>RUBRO "B" Equipo de bombeo – componentes</b>	<b>Valor</b>	<b>S/N</b>
1- Motro sumergible Franklin Electric 60HP 460 voltios 3-F	Q44 800,00	X
1- Bomba sumergible AFT 250GPM 9-ET	Q18 900,00	X
2- Válvula de cheque Flomati c de 4"	Q7 900,00	X
6- Caneca de químico MGA desincrustante (polvo)	Q10 750,00	X
6- Caneca de químico AE antibacterial (líquido)	Q10 750,00	X
1- Accesorios varios eléctricos e hidráulicos estimados a utilizar	Q450,00	X
<b>Subtotal</b>	<b>Q93 550,00</b>	
	<b>RUBRO "A"</b>	<b>Q81 400,00</b>
	<b>RUBRO "B"</b>	<b>Q93 550,00</b>
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>Q174 950,00</b>
	<b>Descuento aplicado</b>	<b>Q8 398,00</b>
	<b>Total a cancelar</b>	<b>Q166 552,00</b>

Fuente: ServiPozos de Centroamérica S. A.

[http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p\\_p\\_id=15&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&](http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p_p_id=15&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&)

Consulta: 3 de marzo de 2015.

### **3. PROGRAMACIÓN EN LA REHABILITACIÓN**

#### **3.1. Métodos de programación en la rehabilitación**

En un proyecto de rehabilitación de pozo, como en cualquier otro proyecto, es necesaria la programación para optimizar recursos.

A continuación se presenta una breve descripción y aplicación de los dos métodos de programación más utilizados en proyectos de ingeniería, a la rehabilitación de pozo mecánico.

##### **3.1.1. Diagrama de Gantt**

Los cronogramas de barras o “gráficos de Gantt” fueron concebidos por el ingeniero norteamericano Henry L. Gantt, uno de los precursores de la ingeniería industrial contemporánea de Taylor. Gantt procuró resolver el problema de la programación de actividades, es decir, su distribución conforme a un calendario, de manera tal que se pudiese visualizar el periodo de duración de cada actividad, sus fechas de iniciación y terminación, e igualmente el tiempo total requerido para la ejecución de un trabajo.

El instrumento que se desarrolló permite también que se siga el curso de cada actividad, al proporcionar información del porcentaje ejecutado de cada una de ellas, así como el grado de adelanto o atraso respecto del plazo previsto.

Este gráfico consiste simplemente en un sistema de coordenadas en que se indica:

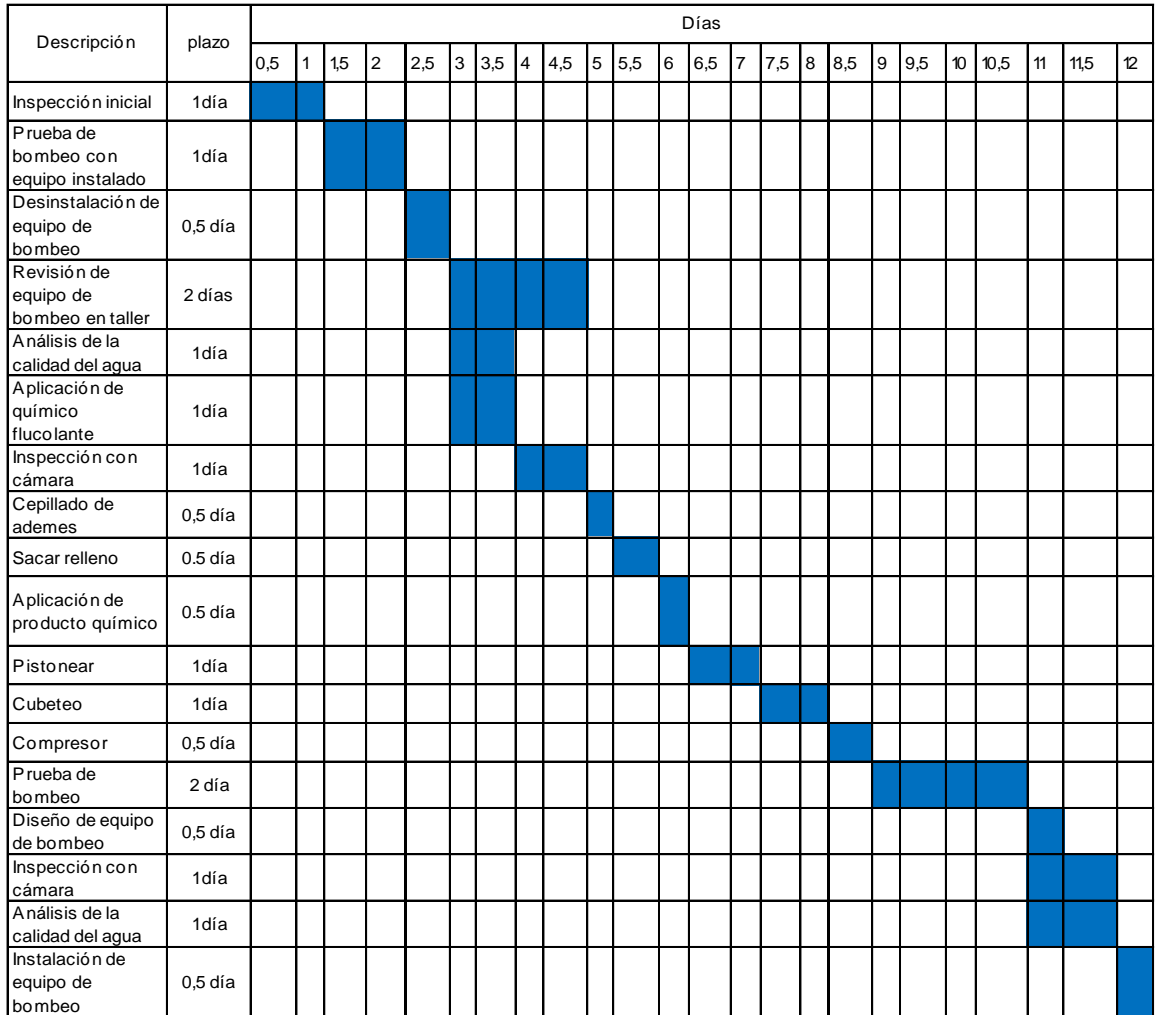
- En el eje horizontal: un calendario o escala de tiempo definido en términos de la unidad más adecuada al trabajo que se va a ejecutar: hora, día, semana, mes, y otros.
- En el eje vertical: las actividades que constituyen el trabajo a ejecutar. A cada actividad se hace corresponder una línea horizontal cuya longitud es proporcional a su duración, en la cual la medición se efectúa en relación con la escala definida en el eje horizontal conforme se ilustra.

El diagrama de Gantt consiste en una representación gráfica sobre dos ejes; en el vertical se disponen las tareas del proyecto y en el horizontal se representa el tiempo.

En la figura 3 se muestra un diagrama de Gantt para la rehabilitación de un pozo mecánico; este diagrama fue elaborado con actividades que generalmente se llevan a cabo y tiempos de duración promedio que intervienen en la realización del proyecto.



Figura 3. Diagrama de Gantt



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Método de la ruta crítica (CPM)

El método CPM o ruta crítica (equivalente a la sigla en inglés *Critical Path Method*) es frecuentemente utilizado en el desarrollo y control de proyectos. El objetivo principal es determinar la duración de un proyecto, entendiendo este

como una secuencia de actividades relacionadas entre sí, donde cada una de dichas actividades tiene una duración estimada.

En este sentido el principal supuesto de CPM es que las actividades y sus tiempos de duración son conocidos, es decir, no existe incertidumbre. Este supuesto simplificador hace que esta metodología sea fácil de utilizar y en la medida que se quiera ver el impacto de la incertidumbre en la duración de un proyecto, se puede utilizar un método complementario como PERT.

Una ruta es una trayectoria desde el inicio hasta el final de un proyecto. En este sentido, la longitud de la ruta crítica es igual a la trayectoria más grande del proyecto. Cabe destacar que la duración de un proyecto es igual a la ruta crítica.

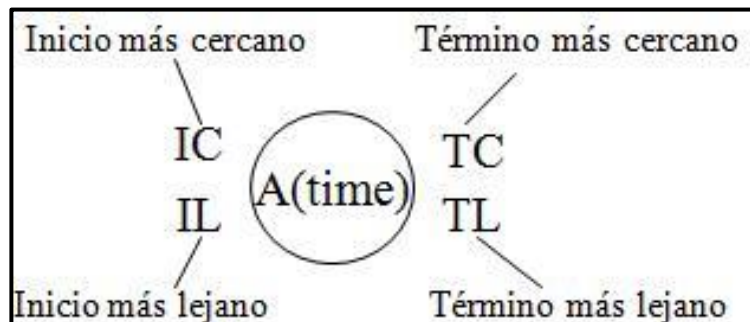
### **3.1.2.1. Etapas de la ruta crítica**

Para utilizar el método CPM o de ruta crítica se necesita seguir los siguientes pasos:

- Definir el proyecto con todas sus actividades o partes principales.
- Establecer relaciones entre las actividades. Decidir cuál debe comenzar antes y cuál debe seguir después.
- Dibujar un diagrama conectando las diferentes actividades con base en sus relaciones de precedencia.
- Definir costos y tiempo estimado para cada actividad.
- Identificar la trayectoria más larga del proyecto, siendo esta la que determinará la duración del proyecto (ruta crítica).
- Utilizar el diagrama como ayuda para planear, supervisar y controlar el proyecto.

Por simplicidad y para facilitar la representación de cada actividad, frecuentemente se utiliza la notación mostrada en la figura 4:

Figura 4. **Notación de ruta crítica**



Fuente: *Investigación de operaciones*. <http://www.investigaciondeoperaciones.net/cpm.html>.

Consulta: 23 de marzo de 2015.

Donde:

- IC: inicio más cercano, es decir, lo más pronto que puede comenzar la actividad.
- TC: término más cercano, es decir, lo más pronto que puede terminar la actividad.
- IL: inicio más lejano, es decir, lo más tarde que puede comenzar la actividad sin retrasar el término del proyecto.
- TL: término más lejano, es decir, lo más tarde que puede terminar la actividad sin retrasar el término de proyecto.

Adicionalmente se define el término holgura para cada actividad, que consiste en el tiempo máximo que se puede retrasar el comienzo de una actividad, sin que esto retrase la finalización del proyecto.

La holgura de una actividad se puede obtener con la siguiente fórmula:

$$\text{Holgura} = \text{IL} - \text{IC} = \text{TL} - \text{TC}$$

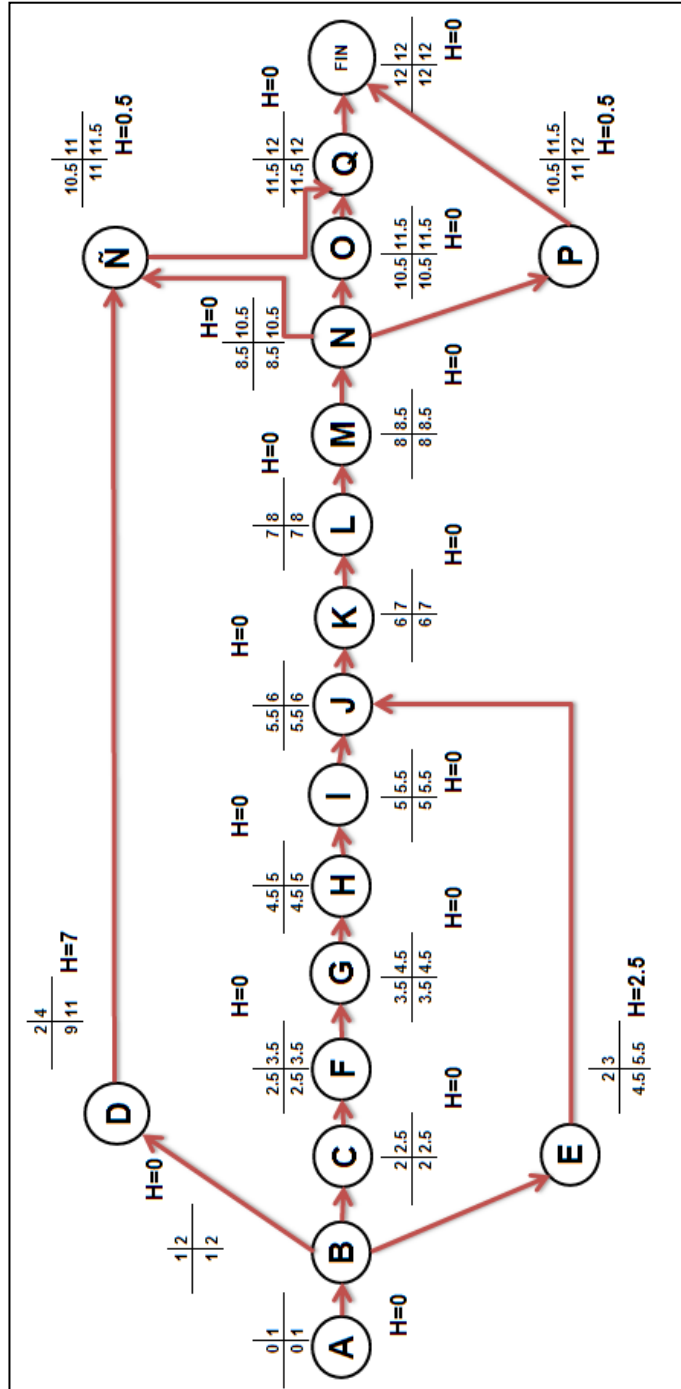
A continuación se presenta un resumen de las actividades con sus respectivos tiempos de duración de la rehabilitación.

Tabla VI. **Resumen de actividades de la rehabilitación**

Actividad	Simbología	Actividad predecesora	Duración en días
Inspección inicial	A	----	1
Prueba de bombeo con equipo instalado	B	A	1
Desinstalación de equipo de bombeo	C	B	0,5
Revisión de equipo de bombeo en taller	D	C	2
Análisis de la calidad del agua	E	B	1
Aplicación de químico floculante	F	C	1
Inspección con cámara	G	F	1
Cepillado de ademes	H	G	0,5
Sacar relleno	I	H	0,5
Aplicación de producto químico	J	E,I	0,5
Pistonear	K	J	1
Cubeteo	L	K	1
Compresor	M	L	0,5
Prueba de bombeo	N	M	2
Diseño de equipo de bombeo	Ñ	D,N	0,5
Inspección con cámara	O	N	1
Análisis de la calidad del agua	P	N	1
Instalación de equipo de bombeo	Q	Ñ,O	0,5

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Ruta crítica de la rehabilitación



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

Como se puede observar en la figura 5 la ruta crítica de la rehabilitación es: A-B-C-F-G-H-I-J-K-L-M-N-O-Q.

### **3.2. Manejo y asignación de recursos**

El manejo y la asignación de los recursos en la rehabilitación de pozos se pueden dividir en dos etapas:

- Primera etapa involucra la primera fase del proyecto, ya que se pueden determinar los recursos necesarios para llevar a cabo las operaciones de la evaluación inicial del pozo y del sistema.
- Segunda etapa involucra la segunda y tercera fase del proyecto, ya que con los resultados de la primera fase se establecen las operaciones necesarias para llevar a cabo la rehabilitación, por lo tanto el manejo y la asignación de recursos.

### **3.3. Recursos humanos**

Sin los recursos un proyecto no podría ser ejecutado. De hecho, uno de los aspectos de mayor complejidad en la gestión de proyectos es el manejo (o administración) de los recursos asignados a él (en especial si estos son humanos).

La administración de recursos en la gestión de proyectos no consiste solo en asignar un recurso a una tarea, sino que involucra además conocer las características (destrezas, por ejemplo, en el caso de recursos humanos); de esos recursos se puede realizar su asignación de la manera más inteligente de forma tal, que garantice que la tarea pueda realizarse con los parámetros de eficiencia ideales.

Por razones obvias, en la gestión de proyectos el recurso humano es el que ofrece mayores particularidades y es por ello que se resumen a continuación algunos aspectos que deben ser tomados en cuenta cuando se trata con este tipo de recurso en un proyecto:

- Tomar en cuenta las destrezas y costo del recurso para asignarlo a la tarea adecuada.
- Mientras más experimentado sea el recurso mayor será su costo; por lo tanto es importante considerar la tarea que se puede realizar en el mismo tiempo, empleando un recurso de alta experiencia o varios recursos de mediana a baja experiencia, siempre tratando de optimizar los costos y tiempos.
- Optimizar el número de recursos asignados a la tarea.
- A mayor cantidad de recursos asignados a una determinada tarea, mayor tenderá a ser el costo de ejecución de esta.
- Evitar exceder las horas diarias de trabajo del recurso, para no caer en el pago de horas extra. Generalmente, el costo de una hora extra es mayor que el costo de una hora de trabajo normal y, sin lugar a dudas, la optimización de costos es otro de los aspectos a tomar en cuenta en la gestión de proyectos.
- Durante la fase de seguimiento del proyecto se deben realizar las reasignaciones de recursos necesarias que permitan mantenerlos en el máximo de su productividad.

### **3.3.1. Personal técnico y operativo**

El personal necesario para la rehabilitación de pozos es: personal técnico, operadores y ayudantes; el número de estos dependerán de la magnitud del proyecto, en específico del diámetro de la tubería, ya que este determina la cantidad de máquinas a utilizar. Lo que se pretende es garantizar de esta manera el óptimo trabajo, realizando las funciones que van desde inspecciones, pruebas de bombeo del equipo inicial instalado, profundidad de niveles de agua, pruebas de bombeo, limpieza mecánica y química.

### **3.3.2. Recursos físicos y materiales**

Entre los recursos físicos y materiales que comúnmente se utilizan en la rehabilitación de pozos están:

- Camión plataforma con grúa tipo pocera de 50 toneladas 210 H:P
- Tractocamión "Kenworth" T-800 B 435 H.P.
- Camion torton mod. 212/54 180 H.P.
- Motosoldadora "Lincoln" SAE 300 amp.
- Equipo de rehabilitacion tipo percussion "Bucyrus Erie" 36L o similar.
- Equipo de corte de oxiacetileno con accesorios
- Camioneta pick up c-2500 f 120 H.P.
- Camarasub acuática de video.
- Soldadura E-7018 de 1/8 pulgadas.
- Equipo completo para la rehabilitación de pozos a base de aire de alta presión, 200 psi a 250 psi, con 200 metros de columna triple, bridas de 7 ½ pulgadas de diámetro y caja de válvulas.
- Bomba de diámetro y caballaje variable, dependiendo de las circunstancias.



- Cepillo de alambre.
- Cubeta de 6 metros de largo de diámetro variable.
- Pistón.
- Equipo de mano.
- Equipo de protección para seguridad.
- Equipo de primeros auxilios.
- Químico floculante.
- Químicos para la rehabilitación.



## **4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES**

### **4.1. Evaluación inicial del pozo**

Incluye actividades como inspección inicial, pruebas de bombeo con equipos instalados, desinstalación de equipo de bombeo, entre otras, descritas a continuación.

#### **4.1.1. Inspección inicial**

Para seleccionar el equipo de rehabilitación deben tomarse en cuenta las siguientes características de la obra de captación.

- Geometría del pozo: diámetro o diámetros del ademe y localización de los cambios, cuando los hubiera, situación de los tramos ciegos y rejilla y profundidad total de pozo.
- Datos hidráulicos como: nivel estático, nivel dinámico, caudal de explotación, y si existieran, reportes de aforos previos.
- Características del área de trabajo como: acceso al pozo, dimensiones del área de trabajo, dirección en que se desplazará el agua que se extraiga del pozo o los productos químicos que se requieran para la rehabilitación, cercanías a zonas habitacionales cuyos moradores pudieran ser incomodados por los trabajos, entre otros.

Con la información antes enunciada puede elegirse el sistema y equipo más adecuado para realizar la rehabilitación del pozo, el cual deberá tener la capacidad sobrada, con el fin de realizar maniobras imprevistas que rebasen las expectativas preliminares.

#### **4.1.2. Prueba de bombeo con equipo instalado**

Los pozos en proceso de rehabilitación cuentan con equipo de bombeo en operación. Por lo tanto, antes de iniciar las labores de rehabilitación propiamente dichas, se debe efectuar una serie de pruebas con el equipo del pozo, cuya principal ventaja radica en su corta duración y su bajo costo.

El objetivo de realizar esta operación es determinar el caudal específico ( $Q_s$ ), nivel estático y dinámico, el cual depende del caudal ( $Q$ ) de agua bombeado y el descenso del nivel producido.

La forma matemática queda de la siguiente manera.

$$Q_s = \frac{Q}{\Delta n} \text{ donde; } Q = \text{GPM}$$
$$\Delta n = N_D - N_S \quad \text{donde: } \Delta n = \text{pies,}$$

Por lo tanto dimensionalmente queda;  $Q_s = \text{GPM/pie de abatimiento}$

Para realizar esta prueba se requiere, además del equipo de bombeo, el siguiente equipo complementario.

Tubo de descarga con orificio calibrado y piezómetro y otro de caudal, válvula, manómetro, amperímetro, voltímetro, potenciómetro, tacómetro de punta y flexómetro.

La secuencia de operaciones a realizar es la siguiente:

- Medición de nivel estático sin bombear.
- Arranque de la bomba con válvula abierta. Una vez estabilizado el nivel dinámico, medición de este, del tiempo transcurrido hasta la estabilización, de la presión en la descarga, del amperaje en las fases 1, 2, y 3 de la tensión (volts) entre 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 representan las condiciones normales de operación del pozo.
- Cerrar totalmente la válvula de la línea de descarga, si existe, y efectuar la misma serie de medidas enumeradas en el inciso anterior. En estas condiciones se están tomando lecturas a caudal y carga máxima.
- Cuando no existe ningún dispositivo de medición de 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 con orificio calibrado). Si se cuenta con dispositivo de medición de caudales, 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 de la válvula y el caudal se mide con escuadra.
- 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 en los anteriores incisos (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.

#### **4.1.3. Desinstalación del equipo de bombeo**

Es recomendable que cuando se desinstala un equipo de bombeo que por mucho tiempo ha estado trabajando en un pozo, se relacionen los acontecimientos anómalos que ocurran en la maniobra, pues si durante la misma se presentaran atorones o fricción de la bomba con el ademe, se establecería la profundidad y magnitud del problema.

Una vez desinstalado el equipo de bombeo, se levanta un inventario del mismo. Además, es recomendable que la cuadrilla que realizó el trabajo haga comentarios sobre los problemas detectados durante la maniobra. Es conveniente aprovechar el tiempo que se emplea en la rehabilitación del pozo para darle mantenimiento al equipo electromecánico.

#### **4.1.4. Revisión de equipo de bombeo en taller**

Para determinar la condición del motor se realizan mediciones eléctricas y pruebas mecánicas. Eléctricamente elementos a revisar son: bobinas y espigas de motor. Estos se comparan con los datos del fabricante que se encuentren dentro del rango para determinar si son funcionales o no. Mecánicamente

elementos a revisar son: giro del eje, estrillado, sello mecánico, *busigns*, rotor y estator.

Para determinar la condición de la bomba se realiza una revisión física de impulsores, eje y difusores.

#### **4.1.5. Análisis de la calidad del agua**

Es necesario realizar el análisis correspondiente al agua, ya que a través de esta se podrá determinar en gran manera el problema que existe en el pozo y así determinar métodos químicos de rehabilitación.

A continuación se presenta una serie de indicadores de incrustaciones en el pozo:

- pH >7
- Alcalinidad >150 ppm
- Hierro > 2 ppm (rojo/ café oscuro)
- Manganeso > 0.1 ppm (negro)
- Sulfatos > 50 ppm (verde/ azul)
- Carbonatos 300 a 700 ppm (muy dura); 50 a 300 ppm (moderada)
- Dureza total > 200 ppm (blanca/ café clara)

##### **4.1.5.1. Toma de muestra para agua**

Se realizan muestreos para determinar la calidad del agua, analizando todos sus componentes y con ello garantizar el consumo sin ningún daño para la salud; entre los exámenes a realizar están los fisicoquímicos y bacteriológicos.

#### **4.1.5.2. Examen fisicoquímico**

Para muestras se utilizan recipientes de polietileno de 3,78 litros de capacidad (1 galón); el procedimiento es lavar el recipiente 3 veces con agua del mismo pozo donde se va a tomar la muestra, luego se llena hasta su capacidad y se cierra bien con su tapa de rosca. Se le coloca una ficha de identificación al recipiente, en la cual se indica la fecha, hora, fuente, dirección, temperatura, condiciones de transporte, tipo de examen requerido, nombre de la persona que tomó la muestra, entre otros.

De preferencia las muestras deben conducirse al laboratorio de análisis de aguas en un tiempo de una hora; si esto no es posible deben transportarse a una temperatura de cero a 5 grados centígrados para un tiempo de 24 horas. Algunos parámetros como temperatura, potencial de hidrógeno (pH), cloro residual, entre otros, deben ser medidos directamente en la fuente, ya que varían durante el transporte; debe evitarse el contacto de la muestra con el aire y la exposición de la misma a la luz solar directa.

#### **4.1.5.3. Muestra para examen bacteriológico**

Para la recolección de estas muestras se utilizan frascos de vidrio de 125 ml de capacidad, los cuales han sido previamente esterilizados, poseen tapadera de vidrio esmerilado y además se recubren con una capucha de piel amarrada con un trozo de cáñamo, todo lo cual está esterilizado.

Debe tenerse mucho cuidado antes, durante y después de la toma de la muestra, ya que cualquier descuido puede resultar en contaminación de la misma y reflejar resultados falsos. Si la muestra se toma de un grifo, debe practicarse la técnica de flameo, la cual consiste en flamear el grifo durante un



minuto con un mechero de alcohol o similar para evitar cualquier contaminación ajena al agua. Luego se llena el frasco dejando un pequeño volumen de aire para posteriormente homogeneizar.

Las muestras para examen bacteriológico deben ser transportadas en un tiempo menor de una hora hasta el laboratorio, pudiendo realizarse a temperatura ambiente; para tiempos mayores a una hora, deben transportarse a una temperatura de cero a 5 grados centígrados para un máximo de 12 horas; para tiempos mayores, la muestra debe ser mantenida a una temperatura de 20 grados centígrados.

#### **4.1.6. Aplicación de químico floculante**

La floculación es uno de los métodos más efectivos para la eliminación de sustancias coloidales presentes en el agua.

La función de los floculantes es aglomerar las partículas desestabilizadas en unidades llamadas flóculos. Los flóculos irán creciendo a medida que más partículas se aglomeren.

Cuando las partículas aglomeradas tengan un tamaño considerable se precipitarán al fondo del pozo. De esta manera las sustancias coloidales son separadas del agua, lo cual aclara el agua dentro del pozo y permite realizar el siguiente paso, que es ver el estado del *casing* del pozo.

#### **4.1.7. Inspección con cámara**

El registro de video es una herramienta de la que 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 es con el propósito de obtener una buena imagen en el video.

La información que ofrece el sistema es a colores, con un alto grado de nitidez, lo cual permite apreciar los estados de corrosividad, incrustabilidad y/o deterioro del *casing* del pozo.

Figura 6. **Condición del pozo antes de la rehabilitación**



Fuente: ServiPozos de Centroamérica S. A.

[http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p\\_p\\_id=15&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&](http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p_p_id=15&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&)

Consulta: 3 de marzo de 2015.

## **4.2. Rehabilitación de pozo**

Se presenta una serie de pasos necesarios para rehabilitación de pozos, que permita la extracción del agua subterránea de la mejor forma.

### **4.2.1. Cepillado de ademes**

Ademes incrustados con costras de oxidación o colonias de bacterias ferruginosas y que se van a desarrollar física o químicamente, requieren de cepillado para limpiarlos en su interior, pues al eliminar con facilidad las costras interiores, total o parcialmente, se aumenta la eficacia del desarrollo.

El cepillo se construye 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, unos 7,6 centímetros al interior del ademe a cepillar. Además de estar oprimidos por las placas, los trozos de cable se sueldan a una de las placas, para evitar su caída al pozo durante la enérgica operación del cepillado.

Figura 7. **Cepillo para limpieza de ademes**



Fuente: ServiPozos de Centroamérica S. A.

[http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p\\_p\\_id=15&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&](http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p_p_id=15&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&)

Consulta: 3 de marzo de 2015.

#### **4.2.2. Sacar relleno**

Este procedimiento se realiza con una cubeta de 6 metros, tipo arenera, cuyo trabajo es sacar del fondo del pozo el relleno que ha caído luego del procedimiento de cepillado de ademes.

### **4.2.3. Limpieza del pozo**

La limpieza del pozo consiste en la combinación de métodos químicos y métodos mecánicos.

#### **4.2.3.1. Método químico**

Para llevar a cabo la limpieza y la aplicación de un método químico es necesario tomar en cuenta el análisis del agua que se realizó en la primera fase, ya que con base en esos resultados se determina la condición fisicoquímica y bacteriológica del agua, así como con los resultados de la inspección con cámara, para determinar el tratamiento que requiere el pozo; si se trata de remoción de lodos y sedimentos en las formaciones productoras y engravadas, remover incrustación de hierro, manganeso y carbonatos y controlar el ensuciamiento por bacterias, se utilizarán los químicos adecuados: *Aqua-clear PFD*, *Aqua-clear MGA* y *Aqua-clear AE*.

#### **4.2.3.2. Utilización de métodos mecánicos**

Se realiza a través de distintos métodos como los que a continuación se presentan.

##### **4.2.3.2.1. Pistonear**

En cuanto a la mecánica del pistoneo, este debe realizarse de forma suave y progresiva, empezando lentamente con amplitudes de vaivén en torno a un metro. A medida que progresa el trabajo se puede aumentar la velocidad, con tal que las herramientas se eleven y caigan de manera suave, sin excesivos tirones en el cable.

Es conveniente controlar la cantidad y la granulometría de los arrastres que se van introduciendo en el sondeo a través de los filtros, para lo cual deberá interrumpirse periódicamente el pistoneo y extraer el relleno del fondo, ya que con una cantidad considerable de arena en la rejilla la eficiencia de la operación disminuye considerablemente.

La cantidad de arena que entra en la rejilla puede variar dentro de unos límites muy amplios, los cuales dependen de la longitud de la rejilla, el tamaño de las ranuras, las características de las formaciones y la duración de la operación de pistoneo.

La operación de pistoneo generalmente se da por concluida cuando después de una hora de pistoneo la cantidad de arena recogida sea despreciable.

En el caso de tener que desarrollar rejillas largas, se hace descender el pistón hasta la parte inferior de la rejilla, se marca el cable para posteriormente levantar el pistón aproximadamente 10 centímetros y empezar a pistonear. El movimiento de la máquina debe ser lento al principio, aproximadamente de 20 a 25 pistonadas por minuto. Al cabo de 15 a 20 minutos se para la máquina y se baja el pistón hasta el fondo para medir la cantidad de arena arrastrada al interior del pozo y se toma nota de ello. Entonces se levanta el pistón para repetir la operación en un tramo por encima del anterior, pero que se solape ligeramente, y se repite la misma secuencia de trabajo. Se continúa desarrollando así hasta llegar a la parte superior de la rejilla.

Cada vez que se hayan acumulado de 1,5 a 2 metros de arena en la rejilla, se saca el pistón y se extrae la arena del pozo.

Durante la segunda etapa de desarrollo se trabaja a un ritmo de 30 a 35 pistonadas por minuto.

Se repiten las operaciones anteriores, empezando con el pistón situado en la parte inferior de la rejilla, y con duraciones de 15 a 20 minutos en cada tramo.

Si fuera necesario recurrir a una tercera etapa, el movimiento debe ser suave, pero todo lo rápido que la máquina lo permita. Los periodos de tiempo pueden ser más largos que para la primera y segunda etapas.

Generalmente la cantidad de arena arrastrada al interior de la rejilla, se irá reduciendo desde un máximo al iniciar el desarrollo hasta un mínimo al final. La estabilización del proceso final se consigue mediante el bombeo. Para ello se instala una válvula de regulación de caudal en la tubería de descarga de la bomba y se inicia el funcionamiento con la válvula casi cerrada, abriéndola progresivamente hasta que el agua salga completamente limpia.

#### **4.2.3.2.2. Cubeteo**

Consiste en sacar un lodo líquido que queda luego de pistonear el pozo. La cubeta es un tubo con diámetro variable que dependerá del diámetro del pozo, que en el fondo tiene una compuerta (válvula de cheque) que cuando esta es sumergida por medio de un cable hasta el fondo del pozo, se llena de agua con lodo y es extraída por medio de motor de la máquina.

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

Figura 8. **Procedimiento de cubeteo**



Fuente: ServiPozos de Centroamérica S. A.

[http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p\\_p\\_id=15&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&](http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p_p_id=15&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&)

Consulta: 3 de marzo de 2015.

#### **4.2.3.2.3. Compresor**

El equipo requerido para una limpieza con aire comprimido es: compresor (preferiblemente de alta presión; 17,5 kilogramos por centímetro cuadrado, 250 libras por pulgada cuadrada), sifón (tuberías de inyección y descarga), equipo auxiliar (válvulas, cabezales, trampas, entre otros), y tanques de almacenamiento de aire comprimido de al menos 1 metro cúbico.



En cualquier limpieza con aire se debe tener presente que el sifoneo del pozo es una operación cuya finalidad única es extraer el azolve que ha llegado al pozo, debido a descargas de aire o a la presurización del pozo.

La operación inicial de la limpieza consiste en desazolvar totalmente el pozo por medio del sifón, verificando el fondo. A continuación se levanta el sifón unos 3 metros y se coloca el cabezal, bien soldado al brocal.

Se empieza a inyectar a través de la entrada 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 diez veces. Se repite todo el ciclo de presurización y sifoneo, manteniendo la misma presión, hasta que se observe un efecto escaso durante dos ciclos consecutivos, en cuyo caso se aumenta la presión en 0,5 kilogramos por centímetro cuadrado, repitiéndose todo el proceso.

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

#### **4.3. Evaluación final de la rehabilitación y del sistema**

Se realizan las operaciones para comprobar los resultados de la rehabilitación y garantizar el óptimo funcionamiento del nuevo sistema, estas son:

#### **4.3.1. Prueba de bombeo**

Aforar es una operación de rutina en la rehabilitación de pozos, ya que, por lo general, los pozos rehabilitados cambian sus condiciones de operación y por consecuencia es necesario conocer el caudal óptimo.

En los aforos se emplean bombas tipo turbina o bomba sumergible que dependerá del pozo, accionadas por un motor de combustión capaz de variar revoluciones, por lo general entre 900 y 2 000 revoluciones por minuto. La columna debe tener la 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, por lo general, en un tubo con orificio calibrado y piezómetro.

Para realizar la prueba se debe seleccionar una bomba capaz de entregar un caudal del orden del 30 %, superior al esperado para operar el pozo.

Al hablar de la selección de un equipo de aforo se comentó que la bomba debe exceder el caudal esperado y tener columna suficiente; el problema radica en que la prueba de bombeo tiene como finalidad establecer dos parámetros básicos: el caudal y el nivel dinámico, que son los mismos con que se escoge la bomba de aforo; por tanto, en primera instancia, el equipo se solicita con base en experiencias anteriores solamente, ya sean en la región o en el propio pozo. Esta situación se resuelve una vez instalada la bomba, realizando una prueba de bombeo que se base en la propiedad de los pozos de alcanzar la mayor parte del abatimiento correspondiente a un caudal dado.

Figura 9. **Prueba de bombeo**



Fuente: ServiPozos de Centroamérica S. A.

[http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p\\_p\\_id=15&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&](http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p_p_id=15&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&)

Consulta: 3 de marzo de 2015.

#### **4.3.2. Diseño de equipo de bombeo**

Comprende la determinación de tuberías, diseños de obras complementarias, planos de construcción, presupuesto detallado, estudio ambiental y otros aspectos importantes para el óptimo funcionamiento del sistema.

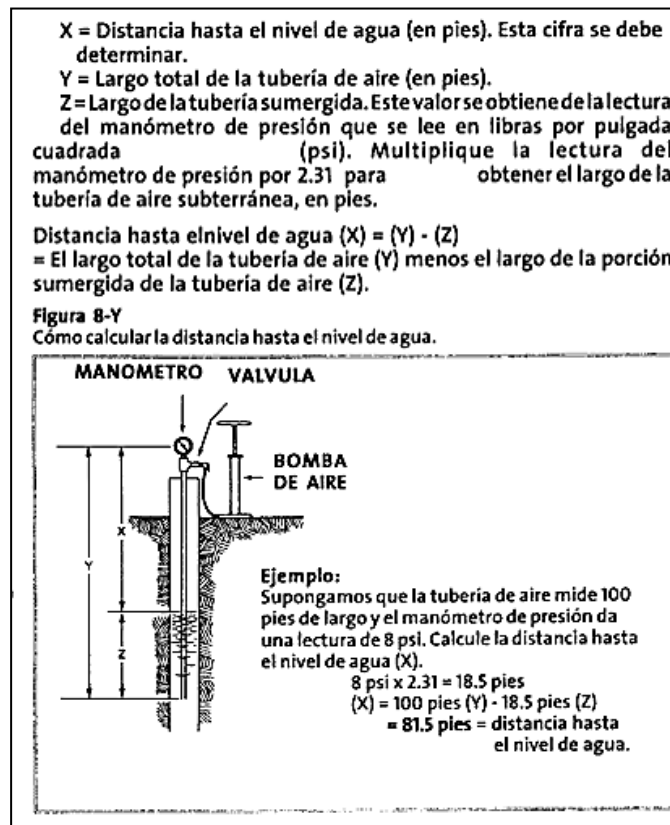
### 4.3.2.1. Cálculo de la bomba sumergible

Este procedimiento es necesario únicamente cuando se determina que el equipo existente ya no es funcional o se pretende explotar un caudal mayor o menor al anterior a la rehabilitación; por lo tanto ya no es funcional el equipo.

Primero se calcula la CDT (Carga dinámica total) que hay para poder calcular la bomba sumergible.

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

Figura 10. Cálculo del nivel dinámico del pozo



Fuente: Grudfos Inc. *Catálogo para bombas sumergibles. Información Técnica* p. 15.

CDT = carga dinámica total

ND = nivel dinámico

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

Carga de fricción = pérdida por fricción de la tubería y accesorios. (Ver tabla VI).

Calculada la CDT y conociendo los galones por minuto que produce el pozo, se procede a determinar la capacidad de la bomba adecuada a través de las curvas de rendimiento. (Ver tabla VII).

#### **4.3.2.2. Cálculo del motor sumergible**

Al momento de calcular la bomba sumergible se sabe el caballaje necesario para el motor, ya que el modelo de la bomba indica el motor a usar. Aunque también es necesario calcular el caballaje del motor a través de la siguiente fórmula:

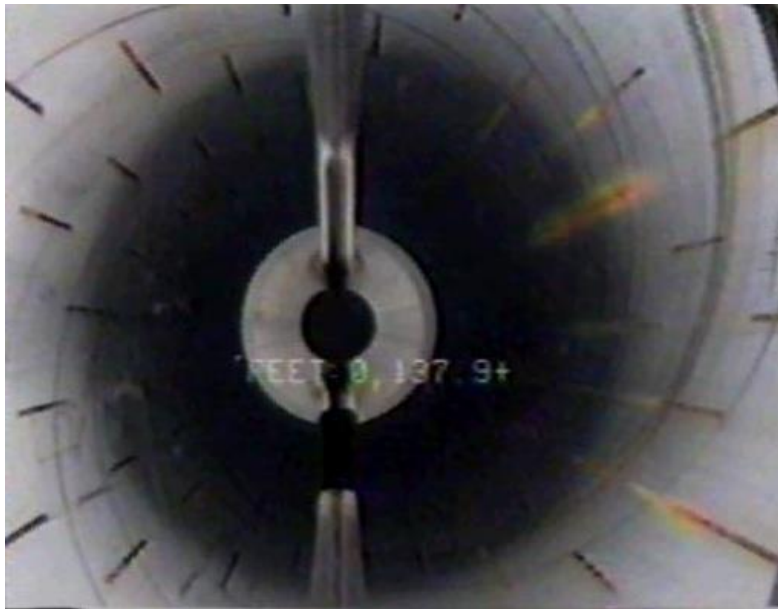
$$HP = \frac{GPM \times CDT \times 100}{3960 \times \text{eficiencia bomba}}$$

#### **4.3.3. Inspección con cámara**

Cuando se corre el registro de video en la fase inicial a los trabajos de rehabilitación, suele resultar incompleto, pues no es posible bajar la cámara hasta el extremo del pozo, por impedirlo algún obstáculo, por lo que es

conveniente correr un nuevo registro para completar la información y comprobar los resultados de la rehabilitación.

Figura 11. **Condición del pozo después de la rehabilitación**



Fuente: ServiPozos de Centroamérica S. A.

[http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p\\_p\\_id=15&p\\_p\\_action=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&](http://www.servipozos.com/web/guest/inicio?p_p_id=15&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&)

Consulta: 3 de marzo de 2015.

#### **4.3.4. Análisis de la calidad del agua**

El procedimiento para realizar el análisis de la calidad del agua en esta fase se realiza de la misma manera que como se llevó a cabo en la primera fase del proyecto, que fue la evaluación inicial. Este análisis se realiza con el objeto de determinar las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua, y de esta manera comparar estos resultados con los resultados del primer análisis y determinar el éxito de la rehabilitación.

También es importante determinar si estos resultados se encuentran dentro de los valores permitidos por la norma Coguanor NGO 29001, asimismo determinar si es considerada como agua potable o necesita más tratamiento.

#### **4.3.5. Instalación de equipo mecánico**

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





## CONCLUSIONES

1. Es necesario realizar periódicamente la rehabilitación a los pozos mecánicos para que se garantice el abastecimiento de agua potable, cuya finalidad primordial es recuperar las condiciones del diseño original, evitando pérdidas económicas y escasez en la disponibilidad del agua en el proyecto.
2. La rehabilitación de un pozo mecánico se lleva a cabo por obstrucción por bacterias en el *casing*, acumulación de sólidos, incremento de costos de energía y por ser más económico que perforar un pozo nuevo.
3. Se debe realizar una inspección previa del pozo; dicha inspección incluye la medición de profundidad de niveles de agua, aforos, estado del equipo mecánico y sistema eléctrico.
4. Los resultados del análisis de la calidad del agua y de la inspección con cámara son de mucha importancia, ya que estos develarán los contaminantes del agua y la condición del *casing* y rejillas, respectivamente. De esta forma se establece el tratamiento químico que se realizará en la rehabilitación.
5. Con el afán de buscar un caudal con una estabilización del nivel dinámico y que el material no arrastre material fino ni arena, es necesario tomar en cuenta el comportamiento caudal-nivel dinámico en las pruebas de bombeo, observando contenido de sólidos en el agua, si los tiene.

6. Los diagramas tanto de Gantt o ruta crítica, ayudan a realizar programa de ejecución de cualquier índole y con ello se garantiza que no existan períodos de ociosos, así también que se dé un máximo aprovechamiento a los recursos disponibles para cualquier actividad, evitando así pérdidas económicas y de tiempo.
  
7. Se debe realizar un informe técnico del pozo rehabilitado, que incluya información, como el estado del pozo antes y después de la rehabilitación, medición de los niveles estáticos y dinámicos, informe del equipo desinstalado y el instalado, así como los materiales usados.

## RECOMENDACIONES

1. El personal de operaciones en la rehabilitación debe poseer la capacitación necesaria para maniobrar la maquinaria y herramienta, con el fin de no afectar el cronograma de trabajo.
2. El personal técnico debe realizar un cronograma de ejecución para la rehabilitación, evitando pérdidas materiales y económicas debido a una mala planificación.
3. El equipo de bombeo debe colocarse en un orden mayor de profundidad que el actual al momento de realizar la rehabilitación, por cualquier eventualidad en el descenso del nivel dinámico del pozo.
4. Es necesario que el personal responsable de mantenimiento del pozo pueda observar la variación de los niveles en el pozo, así como la calidad del agua y los parámetros eléctricos de operación.
5. Realizar mantenimientos preventivos al equipo electromecánico periódicos no más de cinco años.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BRUNI GONZÁLEZ, Eugenio. *Manual de métodos de planificación, programación y control de procesos constructivos CPM-PERT-RAMPS*. Guatemala: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (Intecap), 1971. 89 p.
2. ECHEVERRÍA SOLÍS, Antonio de Jesús. *Perforación de pozo mecánico cálculo e instalación del sistema del bombeo, para la aldea Buena Vista, Chinautla*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 110 p.
3. Grundfos, *Catálogo para bombas sumergibles*. Bombas Grundfos de México, S.A. de C.V., 2003. 126 p.
4. Instituto Geográfico Nacional. *Diccionario geográfico de Guatemala*. Tomo IV. Guatemala 1983. 889 p.
5. KELLER, Gabriell. *Manual de capacitación con énfasis sobre la planificación ambiental, drenajes, estabilización de taludes y control de erosión*. Guatemala: USAID, 1995. 258 p.
6. SCREENS Johnson, *El agua subterránea y los pozos*. Estados Unidos: American Public Health Associatons, 1975. 120 p.

7. XOY CÓRDOVA, Rodolfo Guillermo. *Mantenimiento preventivo y correctivo para torres de perforación de pozos petroleros*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 166 p.

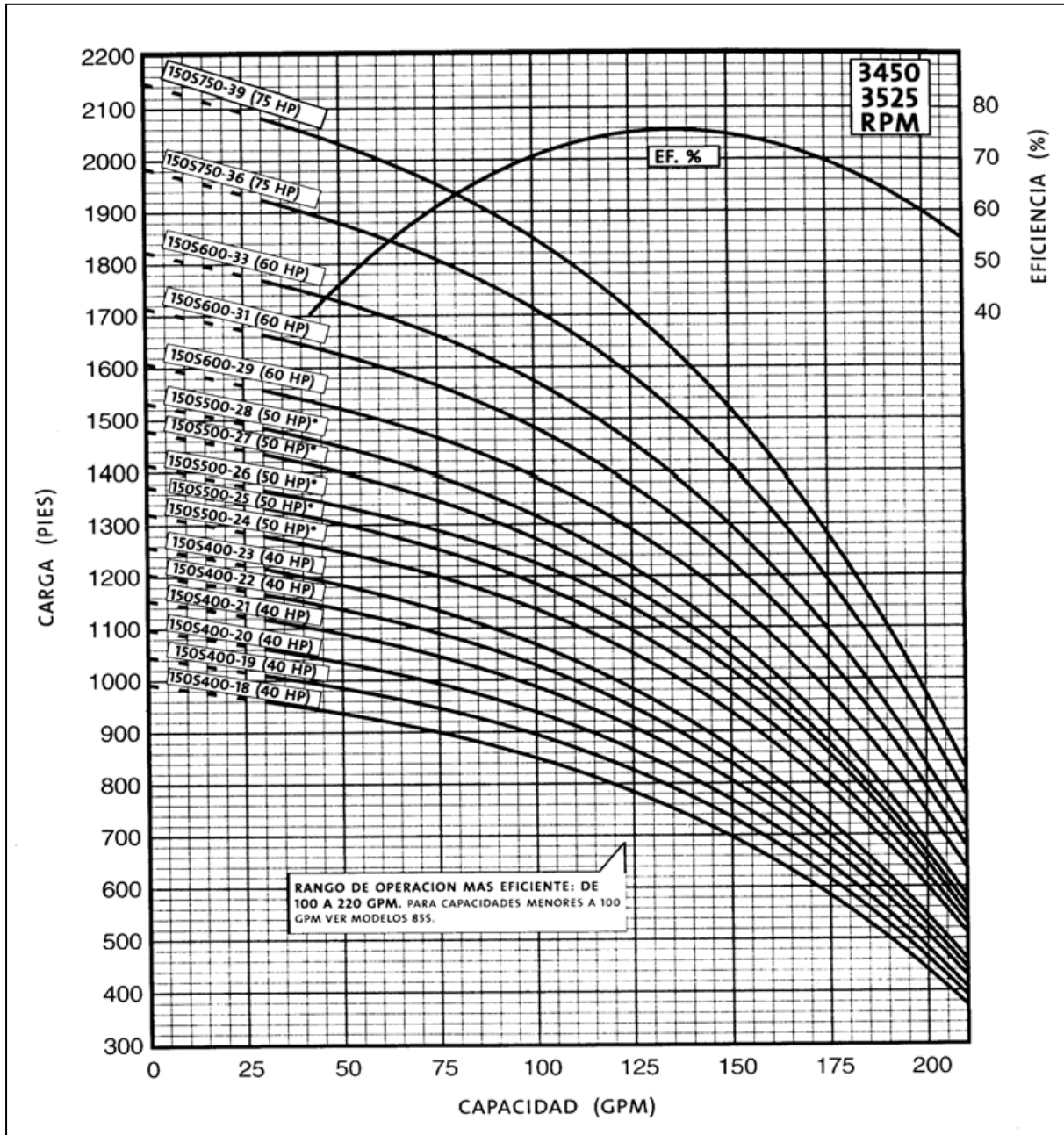
## ANEXOS

### Anexo 1. Pérdidas por fricción

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

Fuente: Grudfos Inc. *Catálogo para bombas sumergibles. Información Técnica.* p. 8.

Anexo 2. Curvas de rendimiento



Fuente: Grudfos Inc. *Catálogo para bombas sumergibles. Información Técnica.* p. 4.



Anexo 3. **Características y especificaciones físicas y químicas del agua potable, norma Coguanor NGO 29001**

Características	LMA (1)	LMP(2)
Color	5.0 u	35.0 u ( 3 )
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (4)
Conductividad eléctrica	-----	< de 1 500 $\mu$ S/cm
Cloro libre residual (5) (6)	0.5 mg/l	1 mg/l
Cloruros ( $Cl^-$ )	100 mg/l	250 mg/l
Dureza total ( $CaCO_3$ )	100 mg/l	500 mg/l
pH	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Sólidos totales disueltos	500 mg/l	1 000 mg/l
Sulfatos ( $SO_4^{--}$ )	100 mg/l	250 mg/l
Temperatura	15 - 25 °C	34 ° C
Calcio ( Ca )	75 mg/l	150 mg/l
Fluoruros ( $F^-$ )	-----	1.7 mg/l
Hierro total (Fe)	0.1000 mg/l	1.000 mg/l
Manganeso (Mn)	0.050 mg/l	0.500 mg/l
Nitratos ( $NO_3^-$ )	-----	10 mg/l
Nitritos ( $NO_2^-$ )	-----	1 mg/l

Fuente: Norma Coguanor NGO 29001. p. 87.

