



01121
99

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE LOS ABATIMIENTOS EN ACUÍFEROS
OCASIONADOS POR LA EXTRACCIÓN DE AGUA EN
UNA BATERIA DE POZOS

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
ARTURO MORENO REY

DIRECTOR DE TESIS:
ING. MIGUEL ANGEL GONZALEZ LOPEZ



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/110/02

Señor
ARTURO MORENO REY
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. MIGUEL ÁNGEL GONZÁLEZ LÓPEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tema de tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"ESTUDIO DE LOS ABATIMIENTOS EN ACUÍFEROS OCASIONADOS POR LA EXTRACCIÓN DE AGUA EN UNA BATERÍA DE POZOS"

- I. INTRODUCCIÓN
- II. LEGISLACIÓN NACIONAL RELATIVA AL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA
- III. PRINCIPIOS DE GEOHIDROLOGÍA
- IV. ESTUDIO DE LOS ABATIMIENTOS EN ACUÍFEROS OCASIONADOS POR LA EXTRACCIÓN DE AGUA EN UNA BATERÍA DE POZOS
- V. DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE CÓMPUTO QUE PRESENTA EN PLANTA LOS ACUÍFEROS
- VI. CASO ESTUDIO
- VII. RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA BATERÍA DE POZOS
- VIII. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 8 de julio de 2002.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

No sé a dónde voy, pero sé con quién voy.
No sé dónde estoy, pero sé que estoy en mí.
No sé qué es Dios, pero Dios sabe lo que soy.
No sé lo que es el mundo, pero sé que es mío.
No sé lo que valgo, pero sé no compararme.
No sé lo que es el amor, pero sé que gozo tu existencia.
No puedo evitar los golpes, pero sé cómo resistirlos.
No puedo negar la violencia, pero puedo negar la crueldad.
No puedo cambiar al mundo, pero puedo cambiarme a mí mismo.
No sé lo que hago, pero sé que lo que hago me hace.
No sé quién soy, pero sé que no soy el que no sabe.

Alejandro Jodorowsky.

ÍNDICE

| | |
|--|-------|
| Introducción | 1 |
| I Legislación Nacional Relativa al Uso y Manejo del Agua Subterránea. | I.1 |
| I.1 Ley de Aguas Nacionales. | I.1 |
| I.2 Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. | I.9 |
| I.3 Ley Federal de Derechos. | I.12 |
| I.4 Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996. | I.14 |
| II Principios de Geohidrología. | II.1 |
| II.1 Definiciones. | II.1 |
| II.2 Hidráulica del Agua Subterránea. | II.2 |
| II.3 Ecuaciones del Equilibrio del Caudal de Agua en los Pozos. | II.4 |
| II.4 Análisis del No Equilibrio. | II.7 |
| III Estudio de los Abatimientos en el Acuífero Ocasionados por la Extracción de Agua en una Batería de Pozos. | III.1 |
| III.1 Acuíferos Semiconfinados. | III.1 |
| III.2 Acuíferos No Confinados. | III.3 |
| III.3 Análisis de Interferencia. | III.3 |
| IV Desarrollo de un Programa de Cómputo que Presenta en Planta los Acuíferos. | IV.1 |
| IV.1 Diagrama de Flujo. | IV.1 |
| IV.2 Manual de Usuario. | IV.2 |
| V Caso Estudio. | V.1 |
| V.1 Cálculo de Abatimientos Ocasionados por una Batería de Pozos. | V.1 |
| V.2 Análisis de los Abatimientos Presentados en Campo de una Batería de Pozos Utilizando el Programa de Cómputo. | V.4 |
| V.3 Comparación de Resultados. | V.6 |
| VI Recomendaciones para la Construcción de una Batería de Pozos. | VI.1 |
| VI.1 Tipos de Pozos, Características y sus Elementos. | VI.1 |
| VI.2 Muro de Grava y Pozos Colectores. | VI.5 |
| VI.3 Interferencia de Pozos. | VI.7 |
| VII Conclusiones. | VII.1 |
| Bibliografía. | B.1 |

INTRODUCCIÓN

El problema de abastecimiento de agua de las grandes ciudades se ha incrementado con el paso del tiempo, debido al crecimiento de la población y la escasez en las obras de captación de agua, pero concretamente en la Ciudad de México se ha presentado otro, el de la explotación de los mantos acuíferos. Esta explotación la han ocasionado la cercanía de los pozos de captación de agua y la escasez de pozos de recarga del acuífero.

El objetivo primordial de este proyecto de tesis es la realización de un programa de cómputo que calcula y presenta en un plano los abatimientos en el acuífero ocasionados por una batería de pozos, ya que en la mayoría de la bibliografía que estudia el fenómeno, no ejemplifica el problema en dos dimensiones.

Este programa pretende ser una herramienta eficiente de trabajo tanto didácticamente como en lo profesional, pues reduce el tiempo de cálculo y hace una representación gráfica en plano de los abatimientos de un área.

La presente tesis está constituida por seis capítulos y conclusiones. En el Capítulo I, se revisó la legislación correspondiente a la captación del agua subterránea, así como reglamentos y normas vigentes.

Se presenta en el Capítulo II la teoría que sirve de base para el estudio de los acuíferos y para el análisis matemático del cálculo de los abatimientos.

El Capítulo III muestra la teoría y cálculo de abatimientos en el acuífero, así como el problema de interferencia de pozos y su solución.

Dentro del Capítulo IV se presenta el programa de cómputo realizado en Visual Basic 6.0, su Diagrama de Flujo general y el Manual de Usuario del programa para su correcta ejecución.

En el Capítulo V para ejemplificar se realizó un ejercicio de la manera tradicional, paso a paso, comparándolo con el programa realizado, objetivo de esta tesis.

Finalmente se muestra en el Capítulo VI los elementos que conforman un pozo, tipos de pozos, sus características y procedimientos de construcción.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

I. LEGISLACIÓN NACIONAL RELATIVA AL USO Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En este capítulo se expone de forma general la legislación para el uso y manejo del agua subterránea, que se debe tomar en cuenta para su mejor aprovechamiento y tratando de afectar lo menos posible al medio.

Se presenta la Ley de Aguas Nacionales, así como su Reglamento expedidos por la Comisión Nacional del Agua, donde se enuncia de manera general y a nivel nacional los requisitos, condiciones, métodos, etc., para el uso y manejo del agua subterránea.

Posteriormente se describe la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, elaborada por la Comisión Nacional del Agua.

Finalmente se presenta la Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, emitida por la Comisión Nacional del Agua, que da la referencia de construcción, trabajos preliminares y pasos a seguir para controlar la contaminación de los acuíferos.

I.1 Ley de Aguas Nacionales.

La Ley de Aguas Nacionales se deriva del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos donde se menciona el dominio de las aguas.

En la figura I.1 se muestran los extractos relacionados al uso y manejo del agua subterránea.

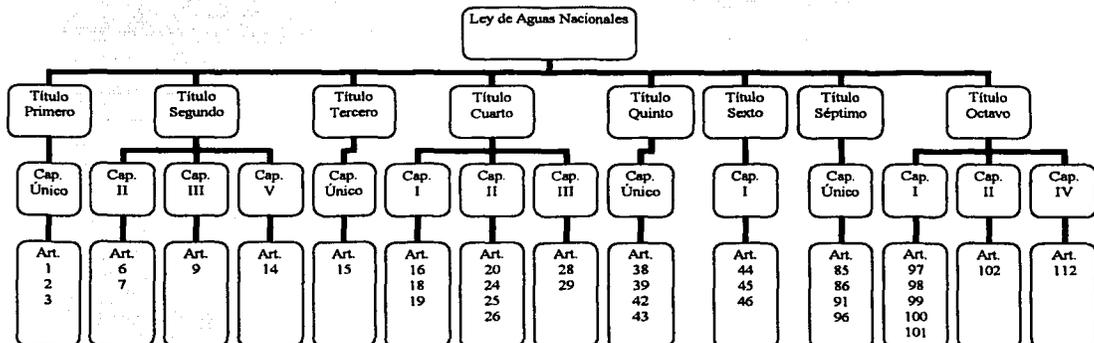


Figura I.1 Extractos Relacionados al Uso y Manejo del Agua Subterránea de la LAN.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TÍTULO PRIMERO
DISPOSICIONES PRELIMINARES

CAPÍTULO ÚNICO

Artículo 1o.— La presente ley es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Artículo 2o.— Las disposiciones de esta ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que la presente ley señala.

Artículo 3o.— Para los efectos de esta ley se entenderá por:

I. "AGUAS NACIONALES": las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos;

II. "ACUÍFERO": cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento;

V. "LA COMISIÓN": La Comisión Nacional del Agua, órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos;

VI. "NORMAS": las normas oficiales mexicanas expedidas por "La Comisión" en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización referidas a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales a los que se refiere el artículo 113;

VII. "PERSONA FÍSICA O MORAL": los individuos, los ejidos, las comunidades, las asociaciones, las sociedades y las demás instituciones a las que la ley reconozca personalidad jurídica, con las modalidades y limitaciones que establezca la misma;

IX. "SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO": el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de servicios públicos de agua potable y alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiendo como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales;

X. "USO CONSUNTIVO": el volumen de agua de una calidad determinada que se consume al llevar a cabo una actividad específica, el cual se determina como la diferencia del volumen de una calidad que se extrae, menos el volumen de una calidad también determinada que se descarga y que se señalan en el título respectivo;

XI. "USO DOMÉSTICO": la utilización de los volúmenes de agua para satisfacer las necesidades de los residentes de las viviendas;

TÍTULO SEGUNDO
ADMINISTRACIÓN DEL AGUA

CAPÍTULO II Ejecutivo Federal

Artículo 6o.— Compete al Ejecutivo Federal:

II. Reglamentar el control de la extracción y utilización de las aguas del subsuelo, inclusive las que hayan sido libremente alumbradas, así como de las aguas superficiales, en los términos del Título Quinto de la presente ley;

Artículo 7o.— Se declara de utilidad pública:

II. La protección, mejoramiento y conservación de cuencas, acuíferos, cauces, vasos y demás depósitos de propiedad nacional, así como la infiltración de aguas para reabastecer mantos acuíferos y la derivación de las aguas de una cuenca o región hidrológica hacia otras;

IV. Reestablecer el equilibrio hidrológico de las aguas nacionales, superficiales o del subsuelo, incluidas las limitaciones de extracción, las vedas, las reservas y el cambio en el uso del agua para destinarlo al uso doméstico;

VIII. La instalación de los dispositivos necesarios para la medición de la cantidad y calidad de las aguas nacionales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III Comisión Nacional del Agua

Artículo 9o.— Son atribuciones de "La Comisión":

VI. Programar, estudiar, construir operar, conservar y mantener las obras hidráulicas federales directamente o a través de contratos o concesiones con terceros, y realizar acciones para el aprovechamiento integral del agua y la conservación de su calidad;

IX. Promover el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico, e impulsar una cultura del agua que considere a este elemento como un recurso vital y escaso;

CAPITULO V Organización y Participación de los Usuarios

ARTICULO 14.— "La Comisión" acreditará, promoverá y apoyará la organización de los usuarios para mejorar el aprovechamiento del agua y la preservación y control de su calidad, y para impulsar la participación de éstos a nivel estatal, regional o de cuenca en los términos de la presente ley y su reglamento.

TÍTULO TERCERO PROGRAMACIÓN HIDRÁULICA

CAPÍTULO ÚNICO

Artículo 15.— La formulación, implantación y evaluación de la programación hidráulica comprenderá:

II. La formulación e integración de subprogramas específicos, regionales, de cuencas, estatales y sectoriales que permitan la concesión o asignación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua, así como el control y preservación de la misma;

III. La formulación y actualización del inventario de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes, así como el de los usos del agua y de la infraestructura para su aprovechamiento y control;

IV. La integración y actualización del catálogo de proyectos para el aprovechamiento del agua y para la preservación y control de su calidad;

V. La clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo con los usos a que se destinen, y la elaboración de los balances hidráulicos en cantidad y calidad y por cuencas y regiones hidrológicas;

VI. La formulación de estrategias y políticas para la regulación del uso o aprovechamiento del agua;

TÍTULO CUARTO DERECHOS DE USO O APROVECHAMIENTO DE AGUAS NACIONALES

CAPITULO I Aguas Nacionales

Artículo 16.— Son aguas nacionales, las que se enuncian en el párrafo quinto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Artículo 18.— Las aguas nacionales del subsuelo podrán ser libremente alumbradas mediante obras artificiales, excepto cuando el Ejecutivo Federal por causa de interés público reglamente su extracción y utilización, establezca zonas de veda o declare su reserva.

Independientemente de lo anterior, la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas del subsuelo causará las contribuciones fiscales que señale la ley. En las declaraciones fiscales correspondientes se deberá señalar que se encuentra inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua, en los términos de la presente ley.

Artículo 19.— Cuando se den los supuestos previstos en el artículo 38, será de interés público el control de la extracción y utilización de las aguas del subsuelo, inclusive de las que hayan sido libremente alumbradas, conforme a las disposiciones que el Ejecutivo Federal dicte, en los términos de lo dispuesto en esta ley.

CAPITULO II Concesiones y Asignaciones

Artículo 20.— La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales por parte de personas físicas o morales se realizará mediante concesión otorgada por el Ejecutivo Federal a través de "La Comisión", de acuerdo con las reglas y condiciones que establece esta ley y su reglamento.

La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales por dependencias y organismos descentralizados de la administración pública federal, estatal o municipal, se podrá realizar mediante asignación otorgada por "La Comisión".

La asignación de agua a que se refiere el párrafo anterior se regirá por las mismas disposiciones que se aplican a las concesiones, y el asignatario se considerará concesionario para efectos de la presente ley.

Artículo 24.— *El término de la concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales no será menor de cinco ni mayor de cincuenta años.*

Las concesiones o asignaciones en los términos del artículo 22, se prorrogarán por igual término por el que se hubieren otorgado si sus titulares no incurrieren en las causales de terminación previstas en la presente ley y lo soliciten dentro de los cinco años previos al término de su vigencia.

En tanto se resuelven las solicitudes de prórroga de concesión o asignación, continuarán en vigor los títulos con respecto a los cuales se formulen.

Artículo 25.— *Una vez otorgado el título de concesión o asignación, el concesionario o asignatario tendrá el derecho de explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales durante el término de la concesión o asignación, conforme a lo dispuesto en esta ley y su reglamento.*

El concesionario o asignatario, cuando no se altere el uso consuntivo establecido en el título correspondiente, podrá cambiar el uso de agua concesionada o asignada, debiendo dar aviso a "La Comisión" para efectos de actualizar o modificar el permiso de descarga respectivo y actualizar en lo conducente el Registro Público de Derechos de Agua. En caso contrario, requerirá de autorización previa de "La Comisión".

El derecho del concesionario o asignatario sólo podrá ser afectado por causas establecidas en la presente ley, debidamente fundadas y motivadas.

Artículo 26.— *Se suspenderá la concesión o asignación para el uso o aprovechamiento de aguas nacionales, independientemente de la aplicación de las sanciones que procedan, cuando:*

I. El concesionario o asignatario no cubra los pagos que conforme a la ley debe efectuar por la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas o por los servicios de suministro de las mismas, hasta que regularice tal situación;

II. El concesionario o asignatario no permita que se efectúe la inspección, la medición o verificación sobre los recursos e infraestructura hidráulica concesionada o asignada, hasta que regularice tal situación; y

III. El concesionario o asignatario no cumpla con el título de concesión o asignación, por causas comprobadas imputables al mismo, hasta que regularice tal situación.

En todo caso, se otorgará al concesionario o asignatario un plazo de quince días hábiles para que regularice su situación, antes de aplicar la suspensión respectiva.

Artículo 27.— *La concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales sólo podrá terminar por:*

I. Vencimiento del plazo establecido en el título, excepto cuando se hubiere prorrogado en los términos del artículo 24, o renuncia del titular;

II. Revocación por incumplimiento, en los siguientes casos:

a) Disponer del agua en volúmenes mayores que los autorizados, cuando por la misma causa el beneficiario haya sido suspendido en su derecho con anterioridad;

b) Dejar de pagar las contribuciones o aprovechamientos que establezca la legislación fiscal por la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales o por los servicios de suministro de las mismas, cuando por la misma causa el beneficiario haya sido suspendido en su derecho con anterioridad;

c) No ejecutar las obras y trabajos autorizados para el aprovechamiento de aguas y control de su calidad, en los términos y condiciones que señala esta ley y su reglamento;

d) Transmitir los derechos del título en contravención a lo dispuesto en esta ley; o

e) Incumplir con lo dispuesto en la ley respecto de la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales o preservación y control de su calidad, cuando por la misma causa al infractor se le hubiere aplicado con anterioridad sanción mediante resolución que quede firme, conforme a las fracciones II y III del artículo 120.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III. Caducidad declarada por "La Comisión", cuando se deje de explotar, usar o aprovechar aguas nacionales durante tres años consecutivos;

IV. Rescate de la concesión o asignación por causa de utilidad o interés público, mediante pago de indemnización cuyo monto será fijado por peritos, en los términos previstos para la concesión en la Ley General de Bienes Nacionales; o

V. Resolución Judicial.

CAPÍTULO III Derechos y Obligaciones de Concesionarios o Asignatarios

Artículo 28.— Los concesionarios o asignatarios tendrán los siguientes derechos:

I. Explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales y los bienes a que se refiere el artículo 113, en los términos de la presente ley y del título respectivo;

II. Realizar a su costa las obras o trabajos para ejercitar el derecho de explotación, uso o aprovechamiento del agua, en los términos de la presente ley y su reglamento;

III. Obtener la constitución de las servidumbres legales en los terrenos indispensables para llevar a cabo el aprovechamiento de agua o su desalajo, tales como la de desagüe, de acueducto y las demás establecidas en la legislación respectiva o que se convengan;

IV. Transmitir los derechos de los títulos que tengan, ajustándose a lo dispuesto por esta ley;

V. Renunciar a las concesiones o asignaciones y a los derechos que de ellas deriven;

VI. Solicitar correcciones administrativas o duplicados de sus títulos;

VII. Obtener prórroga de los títulos por igual término de vigencia, de acuerdo con lo previsto en el artículo 24; y

VIII. Las demás que le otorguen esta ley y su reglamento.

Artículo 29.— Los concesionarios o asignatarios tendrán las siguientes obligaciones :

I. Ejecutar las obras y trabajos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas en los términos y condiciones que establece esta ley y su reglamento, y comprobar su ejecución para prevenir efectos negativos a terceros o al desarrollo hidráulico de las fuentes de abastecimiento o de la cuenca;

II. Cubrir los pagos que les correspondan de acuerdo con lo establecido en la legislación fiscal vigente y en las demás disposiciones aplicables;

III. Sujetarse a las disposiciones generales y normas en materia de seguridad hidráulica y de equilibrio ecológico y protección al ambiente;

IV. Operar, mantener y conservar las obras que sean necesarias para la estabilidad y seguridad de presas, control de avenidas y otras que de acuerdo a las normas se requieran para seguridad hidráulica;

V. Permitir al personal de "La Comisión" la inspección de las obras hidráulicas utilizadas para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales, incluyendo la perforación y alumbramiento de aguas del subsuelo, y permitir la lectura y verificación del funcionamiento de los medidores y las demás actividades que se requieran para comprobar el cumplimiento de lo dispuesto en la presente ley;

VI. Proporcionar la información y documentación que les solicite "La Comisión" para verificar el cumplimiento de las condiciones contenidas en esta ley y en los títulos de concesión, asignación o permiso a que se refiere la presente ley;

VII. Cumplir con los requisitos de uso eficiente del agua y realizar su reuso en los términos de las normas oficiales y de las condiciones particulares que al efecto se emitan; y

VIII. Cumplir con las demás obligaciones establecidas en esta ley y su reglamento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TÍTULO QUINTO
ZONAS REGLAMENTADAS, DE VEDA O DE RESERVA

CAPÍTULO ÚNICO

Artículo 38.— El Ejecutivo Federal, previos los estudios técnicos que al efecto se elaboren y publiquen, conforme a lo dispuesto en el artículo 6o. de la presente ley, podrá reglamentar la extracción y utilización de aguas nacionales, establecer zonas de veda o declarar la reserva de aguas en los siguientes casos de interés público:

- I. Para prevenir o remediar la sobreexplotación de los acuíferos;
- II. Para proteger o restaurar un ecosistema;
- III. Para preservar fuentes de agua potable o protegerlas contra la contaminación;
- IV. Para preservar y controlar la calidad del agua; o
- V. Por escasez o sequía extraordinarias.

Los reglamentos, decretos y sus modificaciones se publicarán en el Diario Oficial de la Federación.

Artículo 39.— En la reglamentación de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales a que se refiere el artículo anterior, el Ejecutivo Federal fijará los volúmenes de extracción y descarga que se podrán autorizar, las modalidades o límites a los derechos de los concesionarios y asignatarios, así como las demás disposiciones especiales que se requieran por causa de interés público.

Igualmente en circunstancias de sequías extraordinarias, de sobreexplotación grave de acuíferos o en estados similares de necesidad o urgencia por causa de fuerza mayor, el decreto del Ejecutivo Federal podrá adoptar las medidas que sean necesarias en relación con la explotación uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, para enfrentar estas situaciones.

Artículo 42.— La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas del subsuelo en las zonas en donde el Ejecutivo Federal las reglamente o decrete su veda, incluso las que hayan sido libremente alumbradas, requerirán de:

- I. Concesión o asignación, para su explotación, uso o aprovechamiento; y
- II. Permisos para las obras de perforación que se realicen a partir del decreto de veda o reglamentación.

Las asignaciones o concesiones se otorgarán con base en el volumen anual de agua usada o aprovechada como promedio en los dos años inmediatamente anteriores al decreto respectivo, y que se hubieran inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua.

A falta de dicha inscripción en el Registro citado, se tomará en cuenta el volumen declarado fiscalmente para efectos del pago del derecho federal por uso o aprovechamiento de agua.

Artículo 43.— En los casos del artículo anterior, será necesario solicitar a "La Comisión" el permiso para realizar:

- I. La perforación con el objeto de completar el volumen autorizado, si una vez terminada la obra hidráulica no se obtiene el mismo;
- II. La reposición de pozo; y
- III. La profundización, relocalización o cambio de equipo del pozo.

El permiso tomará en cuenta las extracciones permitidas en los términos del artículo 40.

TÍTULO SEXTO
USOS DEL AGUA

CAPÍTULO I **Uso Público Urbano**

Artículo 44.— La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales superficiales o del subsuelo por parte de los sistemas estatales o municipales de agua potable y alcantarillado, se efectuarán mediante asignación que otorgue "La Comisión", en la cual se consignará en su caso la forma de garantizar el pago de las contribuciones, productos y aprovechamientos que se establecen en la legislación fiscal, y la forma prevista para generar los recursos necesarios para el cumplimiento de estas obligaciones.

Las asignaciones de aguas nacionales a centros de población que se hubieran otorgado a los ayuntamientos o a las entidades federativas que administren los respectivos sistemas de agua potable y alcantarillado, subsistirán aún cuando estos sistemas sean administrados por entidades paraestatales o paramunicipales, o se concesionen a particulares por la autoridad competente.

Artículo 45.— Es competencia de las autoridades municipales, con el concurso de los gobiernos de los estados en los términos de la ley, la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales que se les hubieran asignado, incluyendo las residuales, desde el punto de su extracción o de su entrega por parte de "La Comisión" hasta el sitio de su descarga a cuerpos receptores que sean bienes nacionales. La explotación, uso o aprovechamiento se podrá efectuar por dichas autoridades a través de sus entidades paraestatales o de concesionarios en los términos de ley.

En el caso del párrafo anterior, en el reuso de aguas residuales, se deberán respetar los derechos que sobre las mismas estén inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua.

Artículo 46.— "La Comisión" podrá realizar en forma parcial o total, previa celebración del acuerdo o convenio con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios correspondientes, las obras de captación o almacenamiento, conducción y, en su caso, tratamiento o potabilización para el abastecimiento de agua, con los fondos pertenecientes al erario federal o con fondos obtenidos con aval o mediante cualquier otra forma de garantía otorgada por la Federación, siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos:

I. Que las obras se localicen en más de una entidad federativa, o que tengan usos múltiples de agua, o que sean solicitadas expresamente por los interesados;

II. Que los gobiernos de las entidades federativas y los municipios respectivos participen, en su caso, con fondos e inversiones en la obra a construir, y que se obtenga el financiamiento necesario;

III. Que se garantice la recuperación de la inversión, de conformidad con la legislación fiscal aplicable, y que el usuario o sistema de usuarios se comprometa a hacer una administración eficiente de los sistemas de agua y a cuidar la calidad de la misma; y

IV. Que en su caso las respectivas entidades federativas y municipios, y sus entidades paraestatales o paramunicipales, o personas morales que al efecto contraten, asuman el compromiso de operar, conservar, mantener y rehabilitar la infraestructura hidráulica.

En los acuerdos o convenios respectivos se establecerán los compromisos relativos.

TÍTULO SÉPTIMO PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

CAPÍTULO ÚNICO

Artículo 85.— Es de interés público la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger la calidad del agua, en los términos de ley.

Artículo 86.— "La Comisión" tendrá a su cargo:

I. Promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con las normas oficiales mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga, en los términos de ley;

II. Formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos, considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua;

III. Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal, de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente;

VI. Promover o realizar las medidas necesarias para evitar que basura, desechos, materiales y sustancias tóxicas, y todos producto de los tratamientos de aguas residuales, contaminen las aguas superficiales o del subsuelo y los bienes que señala el artículo 113; y

VII. Ejercer las atribuciones que corresponden a la Federación en materia de prevención y control de la contaminación del agua y de su fiscalización y sanción, en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, salvo que corresponda a otra dependencia conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Artículo 97.— *La infiltración de aguas residuales para recargar acuíferos, requiere permiso de "La Comisión" y deberá ajustarse a las normas oficiales mexicanas que al efecto se emitan.*

Artículo 98.— *En las zonas de riego y en aquellas zonas de contaminación extendida o dispersa, el manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, deberán cumplir las normas, condiciones y disposiciones que se desprendan de la presente ley y su reglamento.*

"La Comisión" promoverá en el ámbito de su competencia, las normas o disposiciones que se requieran para hacer compatible el uso de los suelos con el de las aguas, con el objeto de preservar la calidad de las mismas dentro de un ecosistema, cuenca o acuífero.

TÍTULO OCTAVO **INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA**

CAPÍTULO I Disposiciones Generales

Artículo 97.— *Los usuarios de las aguas nacionales podrán realizar, por sí o por terceros, cualesquiera obra de infraestructura hidráulica que se requieran para su explotación, uso o aprovechamiento.*

La administración y operación de estas obras serán responsabilidad de los usuarios o de las asociaciones que formen al efecto independientemente de la explotación, uso o aprovechamiento que se efectúe de las aguas nacionales.

Artículo 98.— *Cuando con motivo de dichas obras se pudiera efectuar el régimen hidráulico e hidrológico de los cauces o vasos propiedad nacional o de las zonas federales correspondientes, y en los casos de perforación de pozos en zonas reglamentadas o de veda se requerirá del permiso en los términos de los artículos 23 y 42 de esta ley y su reglamento.*

En estos casos, "La Comisión" podrá expedir las normas oficiales mexicanas que se requieran o las que le soliciten los usuarios. Igualmente, supervisará la construcción de las obras, y podrá en cualquier momento adoptar las medidas correctivas que sea necesario ejecutar para garantizar el cumplimiento del permiso y de dichas normas.

Artículo 99.— *"La Comisión" proporcionará a solicitud de los inversionistas, concesionarios o asignatarios, los apoyos y la asistencia técnica para la adecuada construcción, operación, conservación, mejoramiento y modernización de las obras hidráulicas y los servicios para su operación.*

"La Comisión" proporcionará igualmente los apoyos y la asistencia técnica que le soliciten para la adecuada operación, mejoramiento y modernización de los servicios hidráulicos para su desarrollo autosostenido, mediante programas específicos que incluyan el manejo eficiente y la conservación del agua y el suelo, en colaboración con las organizaciones de usuarios.

Artículo 100.— *"La Comisión" establecerá las normas o realizará las acciones necesarias para evitar que la construcción u operación de una obra altere desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente o pongan en peligro la vida de las personas y la seguridad de sus bienes.*

Artículo 101.— *"La Comisión" realizará por sí o por terceros las obras públicas federales de infraestructura hidráulica que se desprendan de los programas de inversión a su cargo, conforme a la ley y disposiciones reglamentarias. Igualmente, podrá ejecutar las obras que se le soliciten y que se financien total o parcialmente con recursos distintos de los federales.*

En caso de que la inversión se realice total o parcialmente con recursos federales, o que la infraestructura se construya mediante créditos avalados por el Gobierno Federal, "La Comisión" en el ámbito de su competencia establecerá las normas, características y requisitos para su ejecución y supervisión, salvo que por ley correspondan a otra dependencia o entidad.

CAPÍTULO II Participación de Inversión Privada y Social en Obras Hidráulicas Federales

Artículo 102.— *Se considera de interés público la promoción y fomento de la participación de los particulares en el financiamiento, construcción y operación de infraestructura hidráulica federal, así como en la prestación de los servicios respectivos.*

Para tal efecto, "La Comisión" podrá:

I. *Celebrar con particulares contratos de obra pública y servicios con la modalidad de inversión recuperable, para la construcción, equipamiento y operación de infraestructura hidráulica federal, pudiendo quedar a cargo de una empresa la responsabilidad integral de la obra y su operación, en los términos del reglamento;*

II. *Otorgar concesión total o parcial para operar, conservar, mantener, rehabilitar y ampliar la infraestructura hidráulica construida por el Gobierno Federal y la prestación de los servicios respectivos; y*

III. Otorgar concesión total o parcial para construir, equipar y operar la infraestructura hidráulica federal y para prestar el servicio respectivo.

Para el trámite, duración, regulación y terminación de la concesión a la que se refiere la fracción II, se aplicará en lo conducente lo dispuesto en esta ley para las concesiones de explotación, uso o aprovechamiento de agua y lo que disponga el reglamento. Los usuarios de dicha infraestructura tendrán preferencia en el otorgamiento de dichas concesiones.

CAPÍTULO IV Cobro por Explotación, Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales y Bienes Nacionales

Artículo 112.— La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, incluyendo las del subsuelo, así como de los bienes nacionales que administre "La Comisión", motivará el pago por parte del usuario de las cuotas que establece la Ley Federal de Derechos.

La explotación, uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de descargas de aguas residuales motivará el pago del derecho que establece la Ley Federal de Derechos. El pago es independiente del cumplimiento de lo dispuesto en esta ley sobre la prevención y control de la calidad del agua; de lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; y en la Ley General de Salud.

I.2 Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

Se presenta a continuación la figura I.2 con el ordenamiento gráfico de este reglamento referente al uso y manejo de las aguas subterráneas y posteriormente se presenta tanto títulos, capítulos y artículos desglosados.

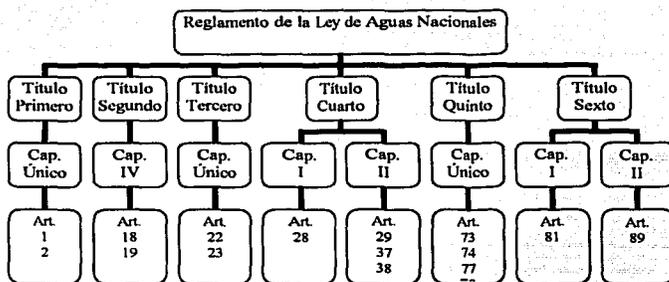


Figura I.2 Extractos del Reglamento de la LAN.

**TÍTULO PRIMERO
DISPOSICIONES PRELIMINARES**

CAPÍTULO UNICO

Artículo 1o. El presente ordenamiento tiene por objeto reglamentar la Ley de Aguas Nacionales. Cuando en el mismo se expresen los vocablos "Ley", "Reglamento", "La Comisión" y "Registro", se entenderá que se refiere a la Ley de Aguas Nacionales, al presente Reglamento, a la Comisión Nacional del Agua y al Registro Público de Derechos de Agua, respectivamente.

Artículo 2o. Para los efectos de este "Reglamento", se entiende por:

I. Aguas continentales: las aguas nacionales, superficiales o del subsuelo, en la parte continental del territorio nacional;

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

XII. Humedales: las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos, originadas por la descarga natural de acuíferos;

XIII. Infraestructura hidráulica federal: las obras de infraestructura hidráulica a que se refiere la fracción VII, del artículo 113 de la "Ley", así como las demás obras, instalaciones, construcciones y, en general, los inmuebles que estén destinados a la prestación de servicios hidráulicos a cargo de la Federación;

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TÍTULO SEGUNDO ADMINISTRACIÓN DEL AGUA

CAPÍTULO IV. Organización y Participación de los Usuarios

Artículo 18. Los usuarios podrán explotar, usar o aprovechar el agua, directamente o a través de la forma de organización que mejor les convenga, para lo cual se podrán constituir en alguna de las personas morales reconocidas en la legislación vigente.

Artículo 19. "La Comisión" promoverá y apoyará la organización de los usuarios del agua para que coadyuven y participen en la explotación, uso o aprovechamiento racional de las aguas nacionales y en la preservación de su cantidad y calidad, en los términos de la "Ley" y este "Reglamento".

Para efectos del párrafo anterior, "La Comisión" podrá acreditar aquellas organizaciones de usuarios del agua que se hubieran constituido al amparo de otras leyes.

TÍTULO TERCERO PROGRAMACIÓN HIDRÁULICA

CAPÍTULO UNICO

Artículo 22. "La Comisión", conforme a lo dispuesto en la fracción II, del artículo 9o., y en el artículo 15 de la "Ley", organizará los trabajos necesarios para formular y poner en ejecución las acciones de corto, mediano y largo plazos que se integren dentro de la programación hidráulica. Para ello, propiciará el concurso de las distintas instancias de gobierno, de los usuarios de las aguas nacionales y, en general, de los grupos sociales interesados, a través de los consejos de cuenca y de los demás mecanismos que se establezcan en los términos de ley.

Artículo 23. La programación hidráulica precisará los objetivos nacionales, regionales y locales de la política en la materia; las prioridades para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, así como para la conservación de su cantidad y calidad; los instrumentos para la implantación de las acciones programadas; los responsables de su ejecución; y el origen y destino de los recursos requeridos, para lo cual tomará en cuenta:

I. Los inventarios de las aguas nacionales y de sus bienes inherentes, los de los usos del agua y los de la infraestructura hidráulica para su aprovechamiento y control.

TÍTULO CUARTO DERECHOS DE USO Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS NACIONALES

CAPÍTULO I. Aguas Nacionales

Artículo 28. Para efectos del artículo 17 de la "Ley", es libre la explotación, uso o aprovechamiento de aguas superficiales por medios manuales para uso doméstico o abrevadero, siempre y cuando no exista una disminución significativa de su caudal. Se presumirá que existe disminución cuando la extracción se efectúe mediante sistemas de bombeo, equipo o cualquier otro medio mecánico o eléctrico que haga presuponer un consumo mayor al que se requiere normalmente para uso doméstico o abrevar el ganado, que conforme a la Ley Agraria se puede tener en los terrenos colindantes con la ribera o zona federal respectiva.

CAPÍTULO II. Concesiones y Asignaciones

Artículo 29. Las solicitudes de concesiones o asignaciones podrán ser presentadas tanto por personas físicas como por personas morales, debiendo acreditar estas últimas su existencia legal, así como la personalidad jurídica del promovente.

Artículo 37. Los estudios de disponibilidad media anual del agua deberán considerar la programación hidráulica, los derechos inscritos en el "Registro", así como las limitaciones que se establezcan en las vedas, reglamentaciones y reservas a que se refiere la "Ley" y este "Reglamento". Los estudios deberán ser revisados por lo menos cada seis años.

Los resultados de los estudios de disponibilidad se publicarán en el Diario Oficial de la Federación. La información respectiva podrá ser consultada por los interesados en las oficinas de "La Comisión", en la cuenca o entidad correspondiente.

Artículo 38. Una vez que esté integrado debidamente el expediente, "La Comisión" conforme a la "Ley" otorgará o denegará la concesión o asignación debiendo fundar y motivar su resolución, para lo cual deberá considerar el programa nacional hidráulico, en su caso el programa de la cuenca respectiva, los derechos existentes de explotación, uso o aprovechamiento de agua, la información del "Registro" y las vedas o reservas establecidas.

En el caso de que exista simultaneidad de solicitudes para una misma concesión o asignación de agua, en los términos de la fracción II, del artículo 22 de la "Ley", se decidirá por aquella petición que mejor se ajuste a los objetivos de la programación hidráulica, que proyecte la más racional utilización del agua, una mejor protección de su entorno y, en su caso, la que permita mayor beneficio social y económico.

TÍTULO QUINTO

ZONAS REGLAMENTADAS, DE VEDA O DE RESERVA

CAPÍTULO UNICO

Artículo 73. Para efectos del artículo 38 de la "Ley", "La Comisión" realizará los estudios técnicos y, de encontrarlos procedentes, formulará los proyectos y tramitará los decretos o reglamentos respectivos, los cuales deberán publicarse por una sola vez en el Diario Oficial de la Federación y en el periódico de mayor circulación en la localidad de que se trate.

En los estudios técnicos a que se refiere el artículo 38 de la "Ley", "La Comisión" promoverá la participación de los usuarios a través de los Consejos de Cuenca, o en su defecto, a través de las organizaciones de los usuarios en las zonas que se quieran vedar o reglamentar.

El decreto o reglamento respectivo, deberá hacer constar que se elaboraron los estudios técnicos a que se refiere el artículo 38 de la "Ley", al igual que sus resultados, y que se dio la participación a que se refiere el párrafo anterior.

Artículo 74. Se entenderá por zona reglamentada, aquella en la que el Ejecutivo Federal mediante reglamento, por causa de interés público, establece restricciones o disposiciones especiales para la explotación, uso o aprovechamiento del agua, conforme a la disponibilidad del recurso y a las características de la zona, a fin de lograr la administración racional e integral del recurso y conservar su calidad.

El reglamento se aplicará, a partir de su entrada en vigor, tanto a los aprovechamientos de aguas superficiales y del subsuelo, existentes al momento de su expedición, como a los que se autoricen con posterioridad.

Artículo 77. Se entenderá como zona de veda aquella en la que el Ejecutivo Federal mediante decreto, por causa de interés público, establece:

I. Que no es posible mantener o incrementar las extracciones de agua superficial o del subsuelo, a partir de un determinado volumen fijado por "La Comisión" conforme a los estudios que al efecto realice, sin afectar el desarrollo integral sustentable del recurso y sin el riesgo de inducir efectos perjudiciales, económicos o ambientales, en las fuentes de agua de la zona en cuestión o en los usuarios del recurso; o

Artículo 79. En las zonas en las cuales el Ejecutivo Federal haya decretado una veda o en las zonas en las que se haya reglamentado la extracción y utilización de aguas nacionales del subsuelo, "La Comisión", en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento", a solicitud de los usuarios, expedirá las concesiones o asignaciones para su explotación, uso o aprovechamiento.

Las aguas nacionales superficiales se podrán continuar explotando, usando o aprovechando al amparo del título de concesión o asignación respectiva, con las limitaciones y modalidades que en su caso establezcan los decretos y reglamentos correspondientes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**TÍTULO SEXTO
USOS DEL AGUA**

CAPÍTULO I. Uso Público Urbano

Artículo 81. La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, superficiales o del subsuelo para centros de población o asentamientos humanos, se efectuará mediante asignación para uso público urbano que otorgue "La Comisión", en los términos del artículo 44 de la "Ley".

"La Comisión" otorgará la asignación a los respectivos municipios o en su caso al Gobierno del Distrito Federal.

CAPÍTULO II. Uso Agrícola

Artículo 89. La transmisión total del derecho de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales provenientes del subsuelo, cuando la extracción se va a efectuar en otro lugar, además de lo dispuesto en los artículos 68 y 69 del presente "Reglamento", requiere de la previa cancelación del pozo respectivo dentro de los diez días hábiles siguientes a la transmisión.

La transmisión parcial del derecho de uso o aprovechamiento de aguas nacionales del subsuelo, requiere del ajuste respectivo en los equipos de bombeo y, en su caso, de la inscripción correspondiente en el "Registro" o en el padrón de usuarios de la unidad o distrito de riego respectivo.

Cuando la transmisión de derechos de agua del subsuelo implique la perforación de algún pozo o su relocalización, se deberá obtener necesariamente el permiso de "La Comisión", conforme a lo dispuesto en la "Ley" y este "Reglamento".

I.3 Ley Federal de Derechos.

La presente Ley Federal de Derechos fue expedida en el año de 1982 y reformada en su última versión en el año 2001, en la figura I.3 se presenta gráficamente esta ley referente al agua y posteriormente se presenta estos extractos.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

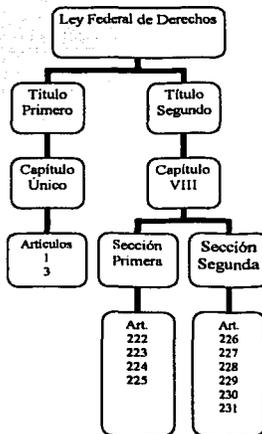


Figura I.3 Extractos de la Ley Federal de Derechos.

**TÍTULO I
DISPOSICIONES GENERALES**

Artículo 1o. Durante el ejercicio fiscal de 1982 se cobrarán los derechos que establece esta Ley, por los servicios que preste al Estado en sus funciones de derecho público o por el uso o aprovechamiento de los bienes del dominio público de la nación.

Artículo 3o. Las personas físicas y las morales pagarán los derechos que establecen en esta Ley en la oficinas que autoriza la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

El pago de los derechos que establece esta Ley deberá hacerse por el contribuyente previamente a la prestación de los servicios, salvo los casos en que expresamente se señale que sea posterior o cuando se trate de servicios que sean de utilización obligatoria.

Cuando no se compruebe que el pago de derechos se ha efectuado previamente a la prestación del servicio y se trate de derechos que deban pagarse por anticipado, el servicio no se proporcionará.

Cuando el pago de derechos deba efectuarse con posterioridad a la prestación del servicio por tratarse de servicios continuos o por que así se establezca, éste dejará de prestarse si no se efectúa dicho pago.

**TÍTULO II
DE LOS DERECHOS POR EL USO O APROVECHAMIENTO DE BIENES DEL DOMINIO PÚBLICO**

CAPÍTULO VIII. Agua

Sección Primera. Distrito de Riego

Artículo 222. En los términos previstos por la Ley Federal de Aguas, los usuarios de los Distritos de Riego, están obligados a pagar las cuotas que se establezcan por el uso aprovechamiento de las aguas que reciban.

Artículo 223. Las cuotas por el uso o aprovechamiento de agua en los Distritos de Riego, serán en la cantidad necesaria, para cubrir los costos de conservación, operación y mantenimiento en cada Distrito de Riego. Los Comités Directivos de cada Distrito de Riego. Los Comités Directivos de cada Distrito propondrán para su aprobación a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, las cuotas de derrama que correspondan por volumen, o por superficie regada que deben cubrir los usuarios, de acuerdo con los artículos 69 y 70 de la Ley Federal de Aguas.

Artículo 224. El derecho a que se refiere esta sección se pagará mediante declaración ante las Oficinas autorizadas, al solicitar el suministro de agua para cada riego.

Artículo 225. Los derechos a que se refiere esta sección quedan afectados a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos para que los destine a la operación, conservación y el mantenimiento del Distrito de Riego en donde se obtengan los derechos.

Sección Segunda. Aguas Distintas de las de Distritos de Riego

Artículo 226. Están obligadas al pago del derecho sobre agua, las personas físicas y las morales que habitual u ocasionalmente, usen o aprovechen aguas nacionales, fuera de los Distritos de Riego señalados en la sección anterior, bien sea de hecho o al amparo de asignación, concesión, autorización o permiso, otorgados por el Gobierno Federal.

Para los efectos de esta sección, se considera usuarios habituales, quienes efectúen su uso o aprovechamiento en forma permanente y usuarios ocasionales quienes lo hagan de manera esporádica.

Artículo 227. Por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales a que se refiere esta sección, se pagará el derecho sobre agua conforme a las cuotas siguientes:

I.-Por las aguas extraídas del subsuelo o derivadas de fuentes superficiales, destinadas a la producción de fuerza motriz usada directamente o transformada en energía eléctrica, conforme a los siguiente:

- a).-Generación hidroeléctrica o geotérmica, por cada kilovatio-hora..... \$ 0.015
- b).-Generación termoeléctrica, incluyendo el enfriamiento de la planta, por metro cúbico..... 0.40
- c).-Fuerza motriz para servicios propios, por caballo métrico-hora producido..... 0.01

II.-Por las aguas extraídas del subsuelo destinadas a usos distintos de los consignados en la fracción anterior, se pagarán el 75% de la cuota que se aplique en el sistema de agua potable del municipio de la extracción o del más cercano a ésta, con excepción de las que se extraigan dentro de los límites de la Cuenca o Valle de México, en cuyo caso se considerarán las cuotas vigentes en el Distrito Federal. Quedan exceptuados de este pago los establecimientos que se dediquen a proporcionar servicios de hospedaje.

III.-Por las aguas derivadas de fuentes superficiales destinadas a:

a).-Acuacultura:

1).-Si solamente atraviesa los estanques de acuacultura y descarga en su fuente original, por metro cúbico..... \$ 0.0025

2).-Cuando se aprovecha para crear condiciones propicias y no descarga en su fuente original, por metro cúbico..... \$ 0.02

b).-Industria, comercio, servicios y otros usos o aprovechamientos distintos de los señalados en el inciso anterior y en otras fracciones de este artículo, por metro cúbico..... 0.04

Artículo 228. No pagarán el derecho a que se refiere esta sección las personas que realicen actividades agropecuarias por las aguas nacionales que extraigan o deriven para satisfacer sus necesidades domésticas.

Tempoco pagarán el derecho a que se refiere esta sección los usuarios que aprovechen aguas nacionales para usos agropecuarios.

Artículo 229. Cuando el usuario no cuente con instrumentos de medición de las aguas que use o aproveche, se tomará como base para el pago de la cuota el volumen que consigne el título de asignación o concesión, la autorización o el permiso. Si no se consignara el volumen, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos lo determinará considerando las características de las instalaciones y estimando el gasto del usuario.

Artículo 230. El usuario habitual calculará el derecho sobre agua por ejercicios fiscales y efectuará pagos provisionales trimestrales a más tardar el día 15 de los meses de enero, abril, julio y octubre, mediante declaración que presentarán en las oficinas que al efecto autorice la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. El pago provisional se hará por el derecho que corresponda al agua que se haya usado o aprovechado durante los 3 meses inmediatos anteriores. El derecho del ejercicio, deducidos los pagos provisionales trimestrales, se pagará mediante declaración que se presentará ante las oficinas autorizadas, dentro de los tres meses siguientes al cierre del mismo ejercicio. Para los efectos de este derecho se entenderá por ejercicio fiscal el que señale la Ley del Impuesto sobre la Renta o, en su defecto el año de calendario.

Artículo 231. El usuario ocasional pagará el derecho sobre agua, mediante declaración, en los mismos términos a que se refiere el artículo anterior durante el tiempo a que dé lugar la autorización que le haya sido otorgada.

I.4 Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996.

0. INTRODUCCIÓN

La necesidad de obtener agua en cantidades económicamente explotables ha originado la perforación de aproximadamente 140,000 pozos distribuidos en 460 acuíferos. Cuando los pozos para extracción de agua están mal construidos, ofrecen una vía de contaminación entre el ambiente externo y los acuíferos.

A diferencia del agua superficial, en la que puede observarse el proceso de contaminación y la localización de las fuentes contaminantes, lo que permite la remediación y depuración del recurso de manera oportuna, en el caso del agua subterránea la contaminación avanza y se efectúa sin que pueda observarse, originando que, a veces, la fuente de abastecimiento de agua tenga que abandonarse temporal o definitivamente. Los estudios para determinar la fuente y características de la contaminación, así como el proceso de remediación o descontaminación, requieren plazos de hasta varios años y originan altos costos que obligan incluso a abandonar definitivamente la fuente local de abastecimiento de agua.

La falta de cuidado en el manejo de las instalaciones que contienen líquidos y depósitos de residuos sólidos degradables cercanos a los pozos para extracción de agua, la ausencia de reglamentación relativa a la distancia a la que se puede construir un pozo para extracción de agua de la fuente de contaminación no suprimible y el diseño y construcción inadecuado de pozos, han dado como resultado la posible contaminación de las aguas subterráneas.

Con el objeto de minimizar este riesgo y establecer los requisitos mínimos durante la construcción de pozos de agua para coadyuvar a la protección de acuíferos, se hace necesario expedir la siguiente:

Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

1. OBJETIVO

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos mínimos de construcción que se deben cumplir durante la perforación de pozos para la extracción de aguas nacionales y trabajos asociados, con objeto de evitar la contaminación de los acuíferos.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma se aplica a la construcción de pozos para la extracción de aguas nacionales destinadas a los usos agrícola, agroindustrial, doméstico, acuacultura, servicios, industrial, pecuario, público urbano y múltiples.

La responsabilidad en la aplicación y cumplimiento de la presente Norma corresponde al concesionario o asignatario que realice la construcción de pozos para la extracción de aguas nacionales.

3. REFERENCIAS

- NOM-008-SCFI-1993 Sistema General de Unidades de Medida. Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 14 de octubre de 1993.
- NOM-012-SCFI-1993 Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos - Medidores para agua potable fría - Especificaciones. Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 14 de octubre de 1993.
- NOM-014-SSA1-1993 Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 12 de noviembre de 1993.
- NOM-127-SSA1-1994 Salud Ambiental Agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 18 de enero de 1996.

4. DEFINICIONES

Para propósitos de esta Norma, las siguientes definiciones y unidades son aplicables:

- 4.1 Acreditamiento:** Acto mediante el cual la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial reconoce organismos nacionales de normalización, organismos de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración y unidades de verificación, para que lleven a cabo las actividades a que se refiere la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.
- 4.2 Acuífero:** Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.
- 4.3 Ademe:** Tubo generalmente metálico o de policloruro de vinilo (PVC), de diámetro y espesor definidos, liso o ranurado, cuya función es evitar el derrumbe o el colapso de las paredes del pozo que afecten la estructura integral del mismo; en su porción ranurada, permite el flujo del agua hacia los elementos mecánicos de impulsión de la bomba.
- 4.4 Asignatario:** Dependencia u organismo descentralizado de la administración pública federal, estatal o municipal que explota, usa o aprovecha aguas nacionales mediante asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua.
- 4.5 Bentonita:** Arcilla plástica que contiene principalmente sílice coloidal, caracterizada por la propiedad de aumentar varias veces su volumen al ponerse en contacto con el agua.
- 4.6 Brocal:** Base de concreto perimetral al ademe del pozo, colocada en el extremo superior del mismo para soportar al cabezal de descarga.
- 4.7 Campo de percolación:** Área preparada para verter agua que se empleará para la recarga artificial de acuíferos, ya sea por inundación directa o en forma de riego.
- 4.8 Concesionario:** Persona física o moral que explote, use o aproveche aguas nacionales mediante concesión otorgada por la Comisión Nacional del Agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.9 Contraademe: Tubería, generalmente de acero, utilizada en la ampliación de la parte superior de un pozo, cuya función es evitar derrumbes, entradas de aguas superficiales e infiltraciones que contaminen al acuífero.

4.10 Degradación: Cambio o modificación de las propiedades físicas y químicas de un elemento, por efecto de un fenómeno o de un agente extraño.

4.11 Depósito de jales: Sitio donde se depositan residuos generados en las operaciones primarias de separación y concentración de minerales.

4.12 Desarrollo del pozo: Conjunto de actividades tendentes a restituir e incrementar la porosidad y permeabilidad del filtro granular y la formación acuífera adyacente al pozo.

4.13 Desinfectante: Sustancia o proceso que destruye o impide la reproducción de microorganismos infecciosos, tales como las bacterias y los enterovirus.

4.14 Filtro granular: Material redondeado de origen natural, exento de materia orgánica o cualquier sustancia que altere o modifique sus propiedades físicas y químicas naturales, cuyo tamaño se selecciona en función de las características del acuífero; se coloca entre el ademe y el contraademe o pared de la unidad geológica horadada y su función principal es la de evitar la entrada de material fino al interior del pozo.

4.15 Fluido de perforación: Agua, agua con bentonita, aire, aire con espumantes, o lodos orgánicos, empleados en las labores de perforación rotatoria de pozos, para remover el recorte del fondo, enfriar y limpiar la barrena, mantener estables las paredes y reducir la fricción entre las paredes del pozo y la herramienta de perforación.

4.16 Fuente contaminante: Conjunto de elementos que generan productos que alteran, en forma negativa, las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua.

4.17 La Comisión: Comisión Nacional del Agua, órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

4.18 Lecho de absorción: Obra de superficie para la recarga artificial de acuíferos, que consiste en adecuaciones del cauce de un río para mantener o aumentar su capacidad de infiltración.

4.19 Material consolidado: Agregado natural de fragmentos de roca unidos unos con otros directamente, o con ayuda de un cementante (material precipitado químicamente) o con matriz (material terrígeno).

4.20 Material no consolidado: Agregado natural de partículas poco cohesivas, no cementadas entre sí.

4.21 Nivel freático: Nivel superior de la zona saturada, en el cual el agua, contenida en los poros, se encuentra sometida a la presión atmosférica.

4.22 Perforista: Persona física o moral con quien el concesionario o asignatario ha convenido la perforación.

4.23 Permeabilidad: Capacidad de un material para transmitir un fluido.

4.24 Plantilla: Losa de concreto perimetral al brocal para protección superficial del pozo.

4.25 Pozo: Obra de ingeniería, en la que se utilizan maquinarias y herramientas mecánicas para su construcción, para permitir extraer agua del subsuelo.

4.26 Pozo de absorción: Obra de ingeniería diseñada especialmente para infiltrar agua de lluvia al subsuelo, constituida por una captación o alcantarilla, una caja desarenadora y una caja de infiltración; esta última funciona como pozo o puede derivar sus excedentes a uno. En este tipo de pozos no se controla la calidad del agua, ya que ésta es infiltrada en la zona no saturada en la que se espera se obtenga una depuración adicional antes de llegar al acuífero.

4.27 Pozo de infiltración o inyección: Obra de ingeniería que permite la recarga artificial del acuífero.

4.28 Rejilla; cedazo: Ademe con aberturas de forma, tamaño y espaciamiento diseñados en función de las características granulométricas del acuífero, que permite el paso del agua al interior del pozo.

4.29 Relleno sanitario: Sitio para el confinamiento controlado de residuos sólidos municipales.

4.30 Unidad de verificación: Personas físicas o morales que hayan sido acreditadas para realizar actos de verificación por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, en coordinación con las dependencias competentes.

4.31 Uso agrícola: La utilización de agua nacional, destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

4.32 Uso agroindustrial: La utilización de agua nacional, para la actividad de transformación industrial de los productos agrícolas y pecuarios.

4.33 Uso doméstico: Utilización del agua nacional, destinada al uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de sus árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de sus animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa.

4.34 Uso en acuicultura: La utilización de agua nacional, destinada al cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna y flora acuáticas.

4.35 Uso industrial: La utilización de agua nacional en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aun en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación.

4.36 Uso pecuario: La utilización de agua nacional para la actividad consistente en la cría y engorda de ganado, aves de corral y animales, y su preparación para la primera enajenación, siempre que no comprendan la transformación industrial.

4.37 Uso público urbano: La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, a través de la red municipal.

4.38 Uso en servicios: La utilización de agua nacional para servicios distintos a los señalados en las fracciones 4.31 a 4.39 de esta Norma.

4.39 Usos múltiples: La utilización de agua nacional aprovechada en más de uno de los usos definidos en párrafos anteriores, salvo el uso para conservación ecológica, el cual está implícito en todos los aprovechamientos.

4.40 Verificación: Constatación ocular o comprobación mediante muestreo y análisis de laboratorio acreditado, del cumplimiento de las normas.

5. CLASIFICACIÓN

Para propósitos de esta Norma, los pozos se pueden clasificar, en cuanto a su uso, en agrícola, agroindustrial, doméstico, en acuicultura, en servicios, industrial, pecuario, público urbano y múltiples.

6. ESPECIFICACIONES

6.1 Materiales usados en la construcción de pozos

Las piezas y sustancias utilizadas en la construcción de pozos deben ser de calidad comercial.

6.2 Área restringida de emplazamiento del pozo

El área de protección entre el sitio seleccionado para construir un pozo y las fuentes potenciales de contaminación existentes que no pueden ser suprimidas, tendrá un radio mínimo de 30 m con respecto al pozo.

Las fuentes de contaminación son las siguientes (esta lista no es limitativa, sino que depende de lo que, para situaciones y condiciones particulares, la Comisión considere necesarias):

- Alcantarillado sanitario
- Campos de percolación
- Canales de aguas residuales
- Cloacas
- Depósitos de jales
- Fosas sépticas
- Gasolineras y depósitos de hidrocarburos
- Lechos de absorción
- Letrinas
- Pozos abandonados no sellados
- Pozos de absorción

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Puntos de descarga de aguas residuales de uso industrial
- Rellenos sanitarios
- Ríos y cauces con aguas residuales provenientes de los usos definidos en los puntos 4.31 a 4.39
- Rastros y establos

El radio mínimo podrá ser modificado por la Comisión o por la autoridad local competente, a través de la disposición legal o reglamentaria aplicable, con base en un estudio específico del sitio que considere la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y la extensión de su área de influencia, para diferentes tiempos.

Cuando no sea posible cumplir el radio mínimo especificado en la presente Norma o en la disposición local reglamentaria, el concesionario o asignatario deberá presentar a la Comisión el diseño que propone, para evitar la contaminación del acuífero, basado en estudios hidrogeológicos.

6.3 Desinfección de la herramienta en la etapa de perforación del pozo

La herramienta y la tubería de perforación se deben desinfectar antes de iniciar los trabajos de perforación. Previa a la desinfección, es necesario remover las grasas, aceites y otras sustancias adheridas a las herramientas.

6.4 Preparación y disposición adecuada de los fluidos de perforación

En la perforación de pozos con fluidos, cuya base principal sea el agua y la bentonita, éstos no deben contener ninguna sustancia que degrade las características químicas del agua subterránea.

6.4.1 Preparación de los fluidos

El agua utilizada en la preparación del fluido de perforación debe tener características físico-químicas tales que no inhiban las propiedades del fluido y no degraden al agua del subsuelo. Debe estar libre de organismos patógenos y poseer un pH entre 6 y 10.

Bejo ninguna circunstancia se debe permitir el uso de aguas residuales.

6.4.2 Protección de acuíferos por pérdida de circulación

No se deben añadir al fluido de perforación materiales que puedan contaminar o reducir la propiedades hidráulicas del acuífero.

6.4.3 Disposición de los residuos

Concluidos los trabajos de construcción del pozo, el perforista debe retirar los residuos de lodo y materiales de construcción del área de trabajo, de acuerdo a la reglamentación federal o estatal.

Los residuos se podrán esparcir en sitios cercanos, previa autorización de los propietarios de los terrenos. En todo caso se deberá realizar una limpieza del área de trabajo con el fin de restaurar el sitio a sus condiciones originales.

6.5 Protección superficial e interna de la estructura del pozo

Todos los aprovechamientos hidráulicos subterráneos deben contar con protección sanitaria. De acuerdo con la estructura del pozo, el espacio anular entre las paredes de la formación y el ademe, así como la terminal superior del pozo, son las áreas que presentan mayor riesgo de contaminación.

6.5.1 Ademe para protección del pozo

6.5.1.1 Sobre elevación del ademe por encima del nivel del suelo

El extremo superior del ademe debe sobresalir cuando menos 0.50 m por encima del nivel del terreno natural o sobre elevado.

6.5.1.2 Cedazo o rejilla

El material del cedazo o rejilla y sus elementos de unión (soldadura o pegamento) deben ser de calidad comercial y uniforme.

6.5.1.3 Filtro granular

En caso de que sea necesario el uso de filtro granular, éste debe estar conformado por partículas inertes redondeadas, de origen natural; asimismo, no deberá tener un porcentaje mayor del 5% de material carbonatado. En ningún caso se deben utilizar filtros de material triturado.

6.5.2 Contraademe

El contraademe debe tener la longitud necesaria para evitar la infiltración de agua superficial o agua contaminada, contenida en el subsuelo, hacia el interior del pozo. El contraademe debe tener una longitud mínima de seis metros y debe sobresalir 0.20 m del nivel del terreno natural o sobre elevado, o bien 0.50 m, dependiendo del diseño del pozo (ver figuras ilustrativas 1 y 2). El espacio anular entre el contraademe y la formación adyacente será rellenado por completo con una lechada de cemento normal.

En el caso de que se perforen pozos donde existan acuíferos con agua de diferente calidad, el concesionario o asignatario deberá presentar a la Comisión el diseño del pozo para evitar la mezcla del agua de ellos por efecto del pozo, y que pueda causar la degradación de la calidad del agua de alguno de los acuíferos.

6.5.3 Sobreelevación y protección del área de emplazamiento del pozo

6.5.3.1 Tipo y dimensiones del brocal

Cuando el diseño del pozo sea como se presenta en la figura ilustrativa 1, la forma exterior del brocal será la de un prisma cuadrangular, cuyos lados tendrán una longitud igual al diámetro total superficial de la perforación, con una altura de 0.50 m a partir del nivel del terreno natural o sobreelevado. En el momento de la construcción del brocal, se deben colocar dos tubos para la colocación del filtro granular.

Cuando el diseño del pozo sea como el presentado en la figura ilustrativa 2, el contraademe debe tener la misma altura que el ademe, sin que sea necesario poner tubos engravadores, ya que el espacio anular sólo lleva una tapa removible.

En ambos casos, la plantilla y la parte superficial de la cementación del contraademe, deben formar estructuralmente un solo cuerpo.

Cuando el pozo esté emplazado en unidades de material consolidado, el ademe debe estar ahogado en el brocal. Cuando el pozo esté perforado en material no consolidado, se debe dejar un espacio anular mínimo de 0.0063 m entre el brocal y el ademe.

Cuando el concesionario o asignatario, y sólo por razones técnicas, considere otro diseño de brocal, deberá presentarlo a la Comisión para su aprobación.

6.5.3.2 Plantilla

La superficie de la plantilla alrededor del pozo debe construirse con una pendiente del 2% (dos por ciento), de tal modo que el agua u otro fluido que escurra se aleje del pozo en todas las direcciones.

La forma exterior de la losa será cuadrada, y debe tener una longitud mínima por lado de 3 (tres) veces el diámetro total de la perforación. El espesor total de la losa será de 0.15 m, de los cuales los 0.05 m inferiores estarán por debajo del nivel del terreno natural o sobreelevado, previo desplante y apisonamiento de este último (véase figura 1).

En caso de existir evidencia de inundaciones en el área, la plantilla debe estar sobreelevada. Para ello, el usuario debe considerar el nivel de la máxima inundación registrada en los últimos 30 años, la orientación geográfica y la elevación topográfica del sitio de emplazamiento del pozo.

6.5.4 Tipo y dimensiones de la protección del pozo

En pozos de uso público urbano se debe contar, además de la cerca de malla ciclónica, con una caseta para garantizar la protección y buen funcionamiento del pozo. En caso de que sea necesario construir casetas subterráneas, éstas deben tener un drenaje adecuado o, en su defecto, contar con una estación de bombeo para desalojar el agua. En pozos de uso industrial ubicados dentro de instalaciones industriales cerradas, el concesionario o asignatario deberá garantizar la adecuada protección superficial del pozo.

En los demás usos definidos en la presente Norma, los pozos deben contar con una cerca perimetral de protección de malla ciclónica de al menos 3 x 3 m en planta. En caso de que las características y el espacio del terreno lo permitan, podrán construirse obras civiles complementarias.

6.6 Desinfección del pozo

La desinfección del pozo debe ser realizada durante la etapa de desarrollo del mismo, antes de que el equipo permanente haya sido instalado, el cual debe también ser desinfectado.

Para ello, deberá aplicarse el desinfectante necesario para que la concentración de cloro en el agua contenida en el pozo sea de 200 mg/L como mínimo. El agua en el pozo deberá tratarse con cloro, tabletas de hipoclorito de calcio, solución de hipoclorito de sodio o cualquier otro desinfectante de efecto similar, con la concentración apropiada y aprobada por la Secretaría de Salud.

Después de que el desinfectante haya sido aplicado, se agitará el agua del pozo para lograr una buena mezcla y se inducirá el contacto de la mezcla agua-desinfectante con las paredes del ademe, rejilla, filtro y formación del acuífero.

Posteriormente, se debe circular la mezcla dentro del ademe con la columna de bombeo, y luego extraerla mediante bombeo. Después de que el pozo haya sido desinfectado, debe ser bombeado hasta que no se detecten residuos del desinfectante utilizado.

6.7 Dispositivos de medición y monitoreo

6.7.1 Medidor de volúmenes

Con el objeto de disponer de un medio seguro para conocer los caudales de extracción del pozo, es indispensable la instalación de un dispositivo de medición compatible con los volúmenes proyectados de extracción. Para uso público urbano, el medidor debe cumplir con

los requisitos estipulados en la Norma Oficial Mexicana de medidores de agua NOM-012-SCFI o usar dispositivos similares que cumplan con las normas vigentes.

6.7.2 Toma lateral

Se requiere instalar un dispositivo lateral en la tubería principal de descarga para el muestreo del agua.

6.7.3 Medición de niveles

También se requiere la instalación de un dispositivo que permita medir la profundidad del nivel del agua en el pozo.

6.8 Documentos requeridos para la aprobación de operación del pozo

Para aprobar la operación del pozo por parte de la Comisión, es necesario que el concesionario o asignatario entregue los siguientes documentos:

- a) Croquis de localización del pozo, indicando las posibles fuentes de contaminación
- b) Registro eléctrico del pozo, integrado por:
 - Curvas de resistividad (normal corta, normal larga y lateral)
 - Curva de potencial espontáneo (S.P.)
- c) Registro estratigráfico (corte litológico)
- d) Diseño final del pozo
- e) Requisitos y memoria de cálculo y resultado del aforo
- f) Análisis físico-químico del agua que incluya determinación del pH, conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, cloruros, dureza total, calcio, sodio, potasio y sólidos disueltos totales.

7. VERIFICACIÓN

La verificación de las especificaciones indicadas en el inciso 6 se realizará en forma periódica, aleatoriamente o cuando la Comisión lo estime necesario, utilizando los métodos de muestreo estadístico establecidos en las normas oficiales mexicanas, y considerando las especificaciones que en el momento de la visita sea posible verificar. Dicha verificación podrá ser realizada por personal de la Comisión o por unidades de verificación acreditadas para tal efecto.

7.1 Desinfección del pozo (especificación del inciso 6.6)

El método de muestreo se realizará conforme a la Norma NOM-014-SSA1 y los límites utilizados para verificar la desinfección del pozo serán de acuerdo a la Norma NOM-127-SSA1 en cuanto a los parámetros bacteriológicos.

7.2 Disposición de los residuos (especificación del inciso 6.4.3)

La disposición de los lodos de perforación y otros residuos, se verificará visualmente tanto en el sitio del pozo como en el de la disposición final.

7.3 Especificaciones de la distancia mínima a las fuentes contaminantes; dimensiones del ademe, contraademe, plantilla y dispositivo de medición (especificaciones de los apartados 6.2, 6.5 y 6.7)

La verificación de las especificaciones de las dimensiones será hecha in situ, con los instrumentos de medición pertinentes y con una tolerancia de $\pm 10\%$.

7.4 Especificaciones restantes

Las restantes especificaciones se verificarán visualmente y mediante la lectura del registro en la bitácora de perforación.

7.5 Informe de las verificaciones

El informe de las verificaciones efectuadas debe incluir lo siguiente:

- Identificación completa del pozo, con una fotografía del sitio
- Resultados obtenidos de las verificaciones
- Nombre y firma del responsable de las verificaciones
- Fecha de ejecución de las verificaciones.

8. RECOMENDACIONES

Para los procesos constructivos, desarrollo, aforo y desinfección, se pueden consultar los libros de Perforación de Pozos y Rehabilitación de Pozos del "Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento", editado por la Comisión Nacional del Agua, mismo que se pone a disposición del público para poder ser consultado en las oficinas de dicho órgano administrativo desconcentrado, ubicadas en cerrada de Sánchez Azcona número 1723, piso 7, colonia Del Valle, 03100, México, D. F.

II. PRINCIPIOS DE GEOHIDROLOGÍA

Para el estudio que se pretende realizar, se deberá conocer algunas definiciones y teoría aplicada a este fenómeno, por lo que este capítulo dará la introducción teórica necesaria que servirá como base.

En este capítulo se expondrán algunas definiciones elementales, se revisará el análisis matemático del comportamiento de las aguas subterráneas, se estudiarán las ecuaciones de equilibrio del caudal en el pozo, así como el análisis del no equilibrio.

II.1 Definiciones.

Acuífero. Estrato del subsuelo que contiene volúmenes de agua dulce en cantidades tales que su extracción constituye un aprovechamiento hidráulico.

Acuífero Confinado. Es aquel que está limitado superior e inferiormente por estratos impermeables y que contiene agua a una presión mayor que la atmosférica. Los estratos impermeables ofrecen mucha resistencia al flujo de agua.

Acuífero Libre. Es aquel cuyo límite superior coincide con el nivel freático, esto es, la superficie del agua que está a la presión atmosférica.

Porosidad. Relación del volumen de intersticios (espacios abiertos) en el suelo a su volumen total. Es una medida de la cantidad de agua que, puede ser almacenada en los espacios entre partículas. No indica qué cantidad de agua está disponible para desarrollo. Ver Cuadro II.1.

Rendimiento Específico. Porcentaje de agua que está libre para drenar del acuífero bajo la influencia de la gravedad. El rendimiento específico no es igual a la porosidad debido a que las fuerzas de tensión superficial y molecular en los espacios abiertos mantienen algo de agua. El rendimiento específico refleja la cantidad de agua disponible para desarrollo. Ver Cuadro II.1.

$$\text{Rendimiento Específico} = \frac{\text{Volumen Agua}}{\text{Volumen Suelo}} \times 100$$

Coefficiente de Almacenamiento. En un acuífero confinado S, es la cantidad de agua liberada por una columna de área horizontal unitaria y de altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando la superficie piezométrica desciende una unidad. Los valores de S varían de 1×10^{-5} a 1×10^{-2} (adimensional).

Gradiente Hidráulico. Es la pendiente de la superficie piezométrica. La diferencia en elevación de un punto a otro a lo largo del gradiente hidráulico es una medida de presión.

Permeabilidad.

Medida de la facilidad de movimiento del agua subterránea a través de una roca. Esta propiedad depende de la porosidad y, principalmente, de la interconexión de los intersticios. Ver Cuadro II.1

Transmisibilidad.

Capacidad de un acuífero para transmitir el agua a través de todo su espesor y es igual al producto del coeficiente de permeabilidad por el espesor saturado del acuífero.

$$\text{Transmisibilidad} = \text{Permeabilidad} \times \text{Espesor}$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| Material Acífero | Porosidad % | Rendimiento Específico % | Permeabilidad m/s |
|------------------|-------------|--------------------------|-----------------------|
| No Consolidado | | | |
| Arcilla | 55 | 3 | 1.2×10^{-6} |
| Marga | 35 | 5 | 6.4×10^{-6} |
| Arena Fina | 45 | 10 | 3.5×10^{-5} |
| Arena Media | 37 | 25 | 1.5×10^{-4} |
| Arena Gruesa | 30 | 25 | 6.9×10^{-4} |
| Arena y Grava | 20 | 16 | 6.1×10^{-4} |
| Grava | 25 | 22 | 6.4×10^{-3} |
| Consolidados | | | |
| Esquisto | < 5 | 3 | 1.2×10^{-12} |
| Granito | < 1 | 0 | 1.2×10^{-10} |
| Roca Fracturada | 5 | 2 | 5.8×10^{-5} |

Cuadro II.1. Valores Típicos de Parámetros del Acuífero.

II.2 Hidráulica del Agua Subterránea.

Las investigaciones de Darcy indican que la velocidad de flujo en un medio poroso es directamente proporcional a la pérdida de carga debida al gradiente hidráulico. Sus conclusiones pueden expresarse por la ecuación:

$$V = K \frac{dh}{dl} \quad \text{ó} \quad V = K i \quad (2.1)$$

En la cual V es la velocidad del agua, h la diferencia de cargas piezométricas entre dos puntos separados por una distancia igual a l, i es el gradiente hidráulico y K una constante que depende de las características del acuífero y que debe determinarse experimentalmente para cada tipo de material. Sin embargo, debe reconocerse que las fórmulas originadas por muchos investigadores para la evaluación de K sólo son aplicables a arenas relativamente uniformes, y no a los materiales que normalmente se encuentran en los acuíferos.

La permeabilidad, expresada por el coeficiente P, se ha determinado en el laboratorio para varios materiales, pero la toma de muestras y la reproducción de las condiciones de terreno conlleva grandes errores.

Al efectuarse la extracción de agua de un pozo con equipo de bombeo, ocurre un abatimiento de la superficie libre del agua dentro del ademe, deteniéndose hasta que ocurra el equilibrio con la aportación de los mantos acuíferos. En el subsuelo que rodea el pozo, debido al escurrimiento del agua hacia el mismo se provoca una depresión cónica denominada "Cono de Abatimiento", cuya influencia se deja sentir según el caudal extraído y la clase de material que rodea el pozo. (Figura II.1).

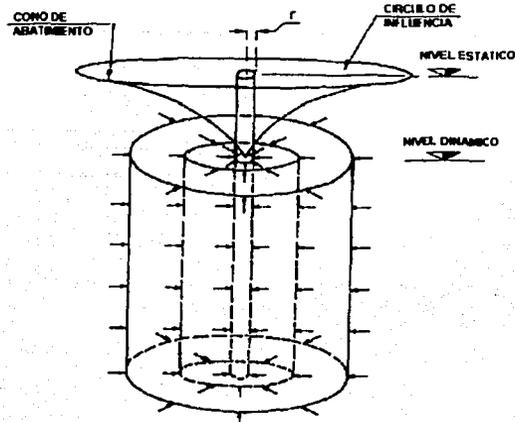


Figura II.1. Cono de Abatimiento

Thiem, un hidrólogo alemán que estudio la permeabilidad de los materiales, propuso una determinación de la permeabilidad sobre el terreno. Consiste en perforar "pozos de observación" en el cono de abatimiento de un pozo de explotación, observando los descensos del cono por medio de sondcos. Su fórmula es:

$$P = \frac{527.7 Q \log_{10} (r_2/r_1)}{b (h_2 - h_1)} \quad (2.2)$$

En la que P es el coeficiente de permeabilidad, Q es el gasto producido por el pozo de explotación en m³/min, r₁ y r₂ son las distancias a los pozos de observación, h₁ y h₂ son sus respectivas cargas hidráulicas y b es el espesor medio del acuífero, todo ello expresado en metros. (Figura II.2).

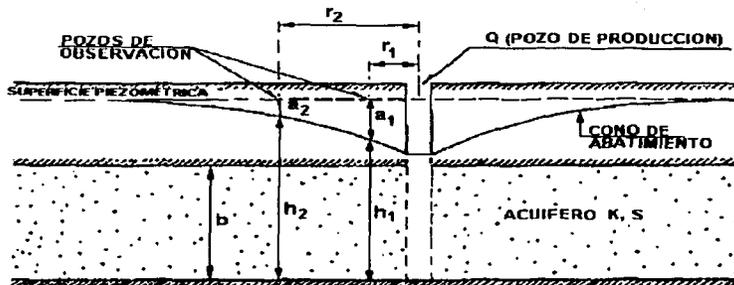


Figura II.2. Representación Gráfica de las Variables

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Alternativamente, la ecuación (2.2) puede escribirse:

$$P = \frac{527.7 Q \log_{10} (r_2/r_1)}{b (a_1 - a_2)} \quad (2.3)$$

El valor de P así obtenido será aplicable a una gran parte del acuífero.

La ley de Darcy puede expresarse:

$$V = P \frac{dh}{dl}$$

En donde V es la velocidad [m/s], P es la permeabilidad [m/s] y dh/dl es la pendiente del gradiente hidráulico [adimensional].

La descarga bruta de agua es el producto de la velocidad de flujo V y del área A a través de la cual fluye.

$$Q = V A = P A \frac{dh}{dl} \quad (2.4)$$

Esta ecuación ha sido resuelta para estado estable (equilibrio) e inestable (no equilibrio) o flujo transiente.

El estado estable o de equilibrio es la condición bajo la cual no ocurren cambios con el tiempo. Su ocurrencia en la práctica es rara, pero puede asumirse estado estable después de un largo tiempo de bombeo. El estado inestable (no equilibrio) o flujo transiente sí considera el factor tiempo.

II.3 Ecuaciones del Equilibrio del Caudal de Agua en los Pozos.

Se supone que en la circunferencia del "círculo de influencia" del cono de abatimiento hay equilibrio; no habrá más descenso y toda el agua que pase a través del cilindro cuya base es justamente el círculo de influencia, será extraída del pozo. La fórmula para el caudal del pozo se obtiene suponiendo que toda el agua elevada por el mismo pasa a través de una sucesión de cilindros con diámetros que varían desde r, radio del pozo, hasta R, radio del círculo de influencia, con alturas que varían desde h hasta H. (Figura II.3).

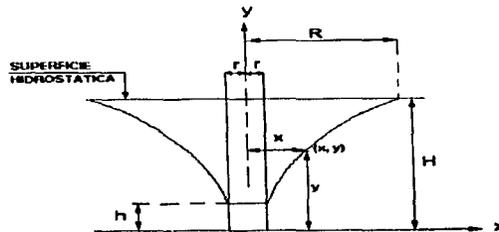


Figura II.3. Acuífero no confinado para la deducción de la fórmula de Dupuit.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A partir de la Ley de Darcy, se obtiene la fórmula de los pozos para acuíferos no confinados de acuerdo al "método de equilibrio". En el subsuelo, el área por donde fluye el agua es sólo la libre (A_L), es decir, por los poros, o sea que:

$$A_L = A_n \quad (2.5)$$

Y por la ecuación del gasto $Q = A_L V$

Sustituyendo la ecuación (2.4) y (2.5) en Q , se obtiene:

$$Q = A \pi i \quad (2.6)$$

Haciendo referencia a la Figura II.3, tomamos un punto (x , y) cualquiera del cono de abatimiento y el área de aportación resulta $A = 2 \pi x y$.

Así $Q = 2 \pi x y P \frac{dy}{dx}$ donde $i = \frac{dy}{dx}$

$$Q \frac{dx}{x} = 2 \pi P y dy$$

Integrando y valuando la constante de integración, si $x = R$, $y = H$

$$C = Q \ln R - \pi P H^2$$

Entonces:

$$Q \ln x - \pi P y^2 = Q \ln R - \pi P H^2$$

$$\pi P H^2 - \pi P y^2 = Q \ln R - Q \ln x$$

$$\pi P (H^2 - y^2) = Q (\ln R - \ln x)$$

$$Q = \pi P \frac{H^2 - y^2}{\ln (R/x)}$$

Y si $y = h$ y $x = r$, queda:

$$Q = \pi P \frac{H^2 - h^2}{\ln (R/r)} \quad (2.7a)$$

O con logaritmos decimales:

$$Q = \pi P \frac{H^2 - h^2}{2.31 \log (R/r)} \quad (2.7b)$$

La ecuación (2.7) es la expresión de Dupuit para acuíferos no confinados suponiendo estado estable (equilibrio).

En el Cuadro II.1 se presentan valores típicos de la permeabilidad para diversos materiales.

La fórmula del gasto para un pozo perforado en un acuífero confinado se deduce de un modo semejante. Para las condiciones ilustradas en la Figura II.4, donde b es el espesor del acuífero.

$$Q = 2 \pi P \times b \frac{dy}{dx} \quad (2.8)$$

Integrando entre límites $x = r$ para $y = h$ y $x = R$ para $y = H$:

$$Q = \frac{2 \pi P b (H - h)}{\ln(R/r)} = \frac{2 \pi P b a_0}{\ln(R/r)} \quad (2.9)$$

Obsérvese que la descarga es proporcional al abatimiento $H - h = a_0$

La ecuación (2.9) puede escribirse como sigue:

$$a_0 = \frac{Q \ln(R/r)}{2 \pi P b} \quad (2.10)$$

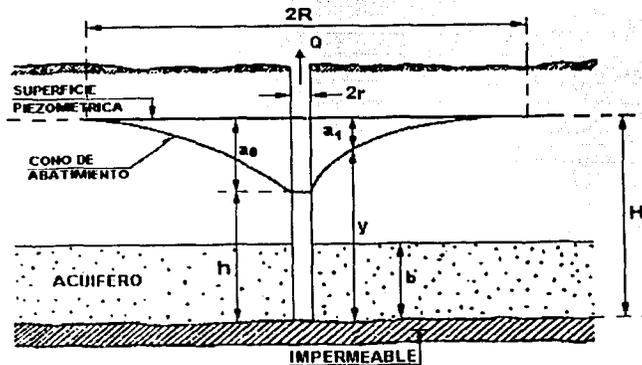


Figura II.4. Pozo en acuífero confinado con flujo radial estable (equilibrio) desde un límite circular concéntrico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El radio de influencia R depende de las características del acuífero y en realidad es ligeramente creciente con el tiempo transcurrido desde el comienzo del bombeo. Para tiempos muy largos es constante a efectos prácticos. Para acuíferos confinados su valor suele variar entre 200 y 10,000 m. Los errores en su estimación afectan de forma menos sensible al valor del descenso ya que está afectado del signo logarítmico.

En efecto:

$$\ln 200 = 5.3 \text{ y } \ln 10,000 = 9.2$$

Es decir, para un valor R cincuenta veces mayor, el logaritmo solo se multiplica por 1.7.

Es un acuífero no confinado los valores de R son inferiores y suelen oscilar entre 10 y 500 m.

Si se tienen los valores de transmisibilidad, el radio de influencia y el diámetro del pozo, y se desea calcular el descenso teórico en el pozo de bombeo y en pozos de observación situados a cierta distancia, el procedimiento de cálculo deberá ser el siguiente:

1. Por tratarse de un pozo en un acuífero confinado, se aplicará la ecuación (2.10)

$$a_0 = \frac{Q \cdot \ln(R/r)}{2 \pi P b}$$

El producto Pb es la transmisibilidad, en consecuencia

$$a_0 = \frac{Q \cdot \ln(R/r)}{2 \pi T}$$

Obteniéndose con esto el descenso o abatimiento en el pozo [m].

2. Deberá sustituirse el valor de r a la distancia que se requiera hacer el cálculo de abatimiento a cualquier distancia del pozo.

Sin embargo, el nivel freático o la superficie piezométrica rara vez son horizontales, como supone la teoría del equilibrio, y el flujo es estable en todas ocasiones. El valor R es también muy inseguro, puesto que el círculo de influencia no es nunca un círculo

II.4 Análisis del No Equilibrio.

La exposición hecha para el caso anterior supone que el equilibrio se dará cuando el agua que fluye por un cono de abatimiento fijo y medible se halla en equilibrio con el agua elevada por el pozo. En 1935 Theis desarrolló un procedimiento que actualmente se emplea para las investigaciones subterráneas encaminadas a la predicción de los rendimientos a largo plazo de los acuíferos. La fórmula del abatimiento se basa en las siguientes hipótesis:

1. El acuífero es homogéneo e isótropo.
2. El espesor saturado del acuífero es constante.
3. El acuífero tiene extensión lateral infinita.
4. El gasto bombeado procede del abatimiento del acuífero.
5. El pozo es totalmente penetrante.
6. El acuífero libera el agua instantáneamente al abatirse la superficie piezométrica.

Usando la teoría del flujo de calor como una analogía, Theis obtuvo la siguiente expresión matemática para un pozo de diámetro infinitesimalmente pequeño con flujo radial:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} \int_{\mu}^{\infty} \left(\frac{e^{-\mu}}{\mu} \right) d\mu \quad (2.11)$$

En la cual:

| | |
|-------|---|
| a | es el abatimiento registrado a la distancia r del pozo de bombeo [m]. |
| Q | es el gasto de extracción [m ³ /s] |
| T | es la transmisibilidad [m ² /s] |
| μ | es el argumento de la función de pozo |

$$\mu = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (2.12)$$

| | |
|---|--|
| S | es el coeficiente de almacenamiento [adimensional] |
| t | es el tiempo de explotación del pozo [segundos] |

La integral de la ecuación (2.11) es llamada función de pozo y se evalúa mediante la expansión de la serie:

$$w(\mu) = -0.577216 - \ln(\mu) + \mu - \frac{\mu^2}{2 \cdot 2!} + \frac{\mu^3}{3 \cdot 3!} - \dots \quad (2.13)$$

El procedimiento para obtener T y S a partir de pruebas practicadas en campo, es el siguiente:

1. Trazar gráfica abatimiento vs. tiempo del pozo de observación, en papel idéntico al de la curva tipo (Figura II.5). Los tiempos en los que se deberán medir los abatimientos son: inmediatamente antes de empezar el bombeo, 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1h, 2h, 4h, 8h, 16h, 24h, 32h, 40h, 48h.

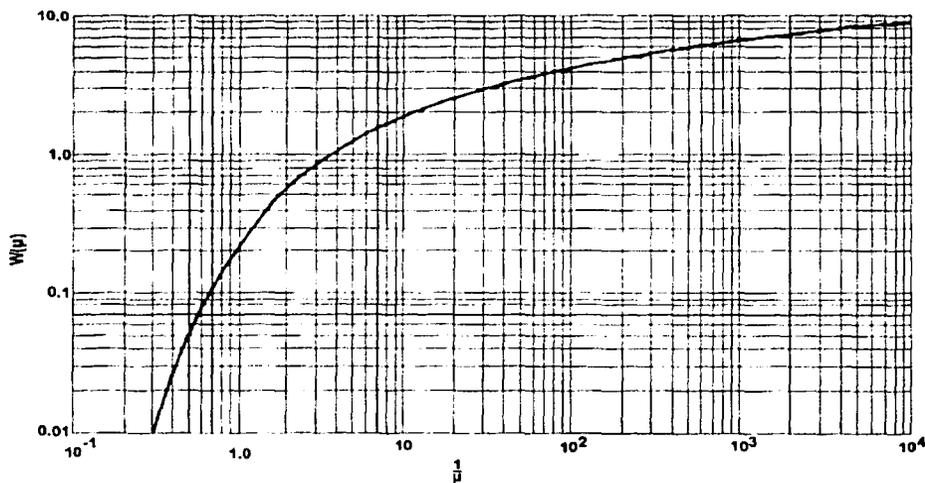


Figura II.5. Acuíferos confinados, función de pozo $w(\mu)$ contra $1/\mu$

2. Sobreponer la gráfica construida en 1 en la curva tipo (Figura II.5) manteniendo los ejes paralelos y buscar la coincidencia de la curva de campo y la curva tipo.
3. Seleccionar un punto de ajuste arbitrario (incluso puede ser fuera de la curva) y obtener sus coordenadas en los cuatro ejes.
4. Sustituir los valores de las coordenadas en las ecuaciones (2.11) y (2.12), despejando los valores de T y S.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III. ESTUDIO DE LOS ABATIMIENTOS EN ACUÍFEROS OCASIONADOS POR LA EXTRACCIÓN DE AGUA EN UNA BATERÍA DE POZOS

En este capítulo se desarrollará la teoría para el cálculo de abatimiento en los acuíferos semiconfinados, haciendo un análisis matemático para llegar a este cálculo, además se hará una revisión del análisis de interferencia para el estudio del abatimiento ocasionado por la localización de dos o más pozos dentro de un área específica.

III.1 Acuíferos Semiconfinados.

Cuando se tienen estratos de granulometría variada, se puede tener un acuífero semiconfinado. Esto es, cuando un estrato de material permeable queda limitado verticalmente por materiales, también saturados, de menor permeabilidad, se tiene un acuífero semiconfinado (Figura III.1).

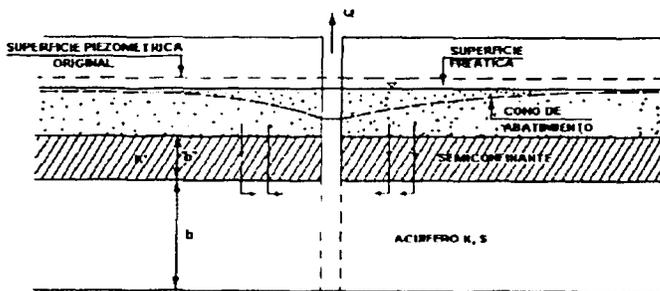


Figura III.1. Acuífero Semiconfinado

La solución correspondiente a estos acuíferos es:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} \omega \left(\mu, \frac{r}{B} \right) \quad (3.1)$$

En la cual:

- a es el abatimiento registrado a la distancia r del pozo de bombeo [m].
- Q es el gasto de extracción [m³/s].
- T es la transmisibilidad [m²/s].
- μ es el argumento de la función de pozo

$$\mu = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (2.12)$$

- S es el coeficiente de almacenamiento [adimensional]
- t es el tiempo de explotación del pozo [segundos]

TESIS COM
 FALLA DE ORIGEN

$$B = \sqrt{\frac{Tb'}{K'}} \quad (3.2)$$

K' es la permeabilidad vertical
 b' es el espesor del estrato semiconfinante.

Las curvas tipo correspondientes a esta solución, se presentan en la Figura III.2.

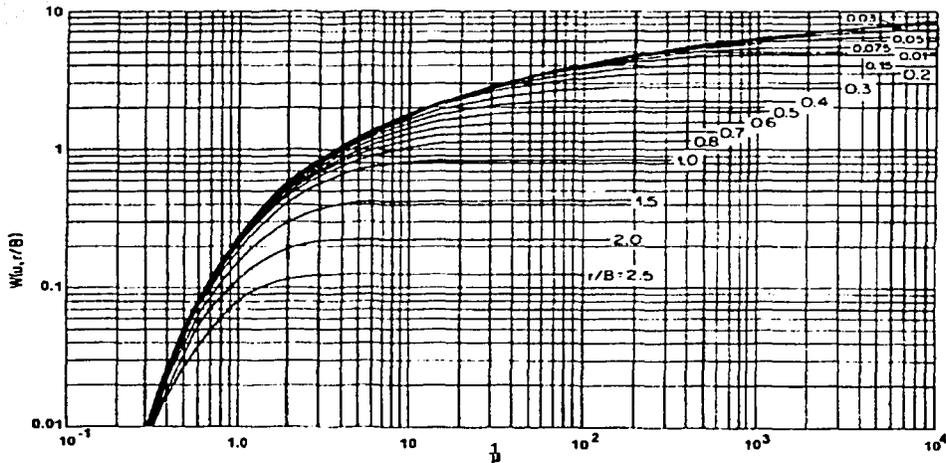


Figura III.2 Acuíferos Semiconfinados, curvas tipo $w(\mu, r/B)$ contra $1/\mu$

La interpretación de las pruebas de bombeo para este caso, es similar al procedimiento para acuíferos confinados, solo que se busca la coincidencia de la curva de campo con alguna de las curvas tipo. Mediante las ecuaciones III.1 y III.2, se obtienen T y S.

Si por ejemplo se tiene el coeficiente de almacenaje y la transmisibilidad, se podrá calcular el abatimiento que resultará al final de cierto tiempo de bombeo de un pozo de diámetro y gasto conocidos, y el procedimiento sería el siguiente:

1. Cálculo del radio.
2. Se deberá con el radio calcular μ .
3. Con el valor de μ deberá utilizarse para la ecuación 2.13, obteniéndose el valor de la función $\omega(\mu)$
4. Y finalmente calcular el abatimiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.2 Acuíferos No Confinados

No hay solución exacta para el problema de flujo transiente en acuíferos no confinados debido a que T cambia con el tiempo y r conforme el nivel del agua es abatido. Más aún, las componentes del flujo vertical cercano al pozo invalidan la suposición de flujo radial que se requiere para obtener una solución analítica. Si el acuífero no confinado es muy profundo en comparación con el abatimiento, la solución del flujo transiente de un acuífero confinado puede usarse como una solución aproximada. En general, sin embargo, los métodos numéricos dan soluciones más satisfactorias.

III.3 Análisis de Interferencia.

Los conos de depresión de pozos localizados muy juntos pueden sobreponerse; esta interferencia reducirá la producción (rendimiento) potencial de ambos pozos. En circunstancias severas la interferencia puede causar que pozos poco profundos se sequen.

Una solución al problema de la interferencia puede obtenerse por el método de superposición. Este método asume que el abatimiento en un punto en particular es igual a la suma de los abatimientos de todos los pozos de influencia. Matemáticamente esto puede representarse como sigue:

$$a = \sum_{i=1}^n a_i \quad (3.3)$$

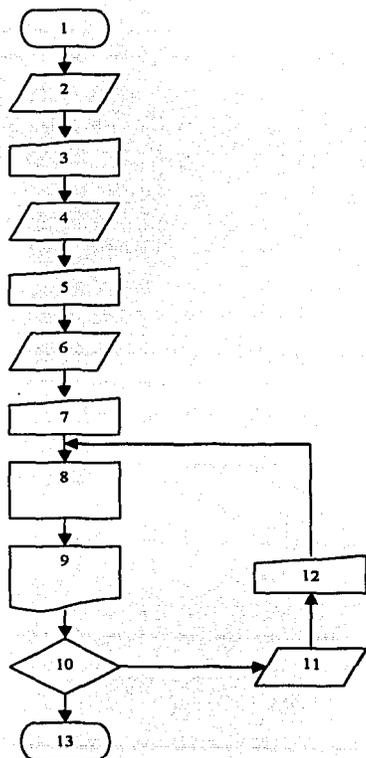
Donde a_i = abatimiento individual causado por el pozo i en la localización r .

IV. DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE CÓMPUTO QUE PRESENTA EN PLANTA LOS ACUÍFEROS

Este capítulo comprende el desarrollo en Visual Basic 6.0 de un programa que calcula los abatimientos en el acuífero y su representación gráfica en planta, que servirá de herramienta de trabajo tanto para estudiantes en su formación, como para la aplicación en la práctica profesional.

Se verá el diagrama de flujo general del programa, que sirvió de base para la programación final, también se presentará el Manual de Usuario que servirá de guía detallada para la ejecución correcta del programa y lograr con esto, que el uso del programa sea sencillo, así como la obtención de resultados y sus interpretaciones.

IV.1 Diagrama de Flujo.



| No. | Actividad |
|-----|--|
| 1 | Inicio del Programa. |
| 2 | Dame el valor de la Transmisibilidad y del Coeficiente de Almacenamiento del Acuífero. |
| 3 | Introducción de datos de la Transmisibilidad y del Coeficiente de Almacenamiento del Acuífero. |
| 4 | Dame el Nombre, Diámetro, Gasto y Coordenadas de los Pozos. |
| 5 | Introducción del Nombre, Diámetro, Gasto y Coordenadas de los Pozos. |
| 6 | Dame el Nombre y Coordenadas de los Puntos del Cálculo y dame el Tiempo de Explotación del Acuífero. |
| 7 | Introducción del Nombre y Coordenadas de los Puntos del Cálculo e introducción del Tiempo de Explotación del Acuífero. |
| 8 | Para cada Punto del Cálculo y Punto de la Red Abatimientos, calcular: <ul style="list-style-type: none"> a) Radio r b) M c) Función m d) Abatimiento |
| 9 | Asignar un símbolo y un color para cada Punto del Cálculo y para cada Punto de la Red de Abatimientos. |
| 9 | Impresión en pantalla de: <ul style="list-style-type: none"> a) Representación gráfica de los abatimientos en planta. b) Cuadro resumen de los abatimientos de los Puntos del Cálculo. |
| 10 | ¿Quieres editar algún dato inicial para recálculo? |
| 11 | Dame los datos a modificar. |
| 12 | Introducción de los datos que se quieran modificar. |
| 13 | Salir del Programa. |

IV.2 Manual de Usuario.

El objetivo de este programa es el cálculo de los abatimientos y su representación gráfica en un plano, por lo que como datos iniciales se necesitan las características del acuífero, que el programa muestra en su primera pantalla. Figura IV.1

Características del Acuífero

| | |
|--------------------------------------|----------------------|
| Transmisibilidad [m ² /s] | <input type="text"/> |
| Coefficiente de almacenamiento | <input type="text"/> |

Siguiente

Figura IV.1 Características del Acuífero

Como se puede observar en la Figura IV.1 el programa solicita los valores de la Transmisibilidad y el Coeficiente de Almacenamiento. El programa no podrá continuar si no se dan estos dos valores. Al tener ya los valores numéricos en sus respectivas casillas, deberá seleccionarse el botón Siguiente, que abrirá la otra pantalla.

Pozos de Explotación en el Acuífero

| No. | Nombre | Diámetro[m] | Gasto[m ³ /s] | Coordenada x [m] | Coordenada y [m] |
|-------------------|--------|-------------|--------------------------|------------------|------------------|
| [Grilla de datos] | | | | | |

Agregar pozo

Quitar pozo

Siguiente

Figura IV.2 Pozos de Explotación en el Acuífero

TESIS CON
FALLA DE URGEN

En la Figura IV.2 de la página anterior se presenta la pantalla donde se deberá dar de alta los datos de los pozos que están actuando en la explotación del acuífero y que producen los abatimientos.

Para iniciar la introducción de datos se deberá seleccionar el botón Agregar pozo, el cual preguntará en pantalla, interactivamente, los datos del Pozo 1, primero su nombre, posteriormente el diámetro, gasto y sus coordenadas. Conforme se introduzcan los datos, estos aparecerán en su respectiva casilla dentro del cuadro de datos.

Si se necesitara dar de alta otro pozo, se seleccionará nuevamente el botón Agregar pozo, hasta que se tengan los pozos que se encuentran en el área. Ver Figura IV.3.

Pozos de Explotación en el Acuífero

| No. | Nombre | Diámetro[m] | Gasto[m ³ /s] | Coordenada x [m] | Coordenada y [m] |
|-----|-----------|-------------|--------------------------|------------------|------------------|
| 1 | Temuñín | 0.5 | 0.0442 | 200 | 100 |
| 2 | Chacarita | 0.8 | 0.0532 | 500 | 800 |
| 3 | Xochi | 0.6 | | | |

Agregar pozo

Quitar pozo

Siguiente

Pozo 3

Introduzca el gasto del pozo, en m³/s

4.95E-2

Aceptar

Cancelar

Figura IV.3 Introducción de Datos de los Pozos

Si en la introducción de datos se tuviera un valor erróneo, se podrá editar dentro de la casilla correspondiente dando un doble clic con el botón derecho del mouse ó presionando la tecla Enter del teclado, al finalizar la corrección podrá salirse de la casilla presionando nuevamente la tecla Enter del teclado.

El botón Quitar pozo, al ser seleccionado preguntará en una ventana, cuál pozo se desea eliminar, en esta casilla deberá escribirse el número de pozo que aparece dentro de la primera columna del cuadro de datos.

Al tenerse todos los pozos necesarios deberá seleccionarse el botón Siguiente que llevará a la pantalla de los puntos para el cálculo de abatimientos.

En esta pantalla, como puede observarse en la Figura IV.4 de la página siguiente, se encuentra dividida en dos secciones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Puntos para el Cálculo del Abatimiento

| No. | Nombre | Coordenada x [m] | Coordenada y [m] |
|-----|--------|------------------|------------------|
| | | | |

Agregar punto

Quitar punto

Tiempo de Explotación [días]

Siguiente

Figura IV.4 Puntos para el Cálculo del Abatimiento

En la primera sección se introducirán los puntos que se requieran para el cálculo de los abatimientos referente a cada pozo, así como la interferencia de los mismos sobre cada punto. Al igual que para los pozos, el procedimiento de introducción de datos y de edición es la misma para los puntos.

La segunda sección de esta pantalla se refiere al número de días en el que estarán actuando los pozos en batería, explotando al acuífero.

De igual manera que la pantallas anteriores se presionará el botón Siguiente, hasta que se tengan datos en las dos secciones.

La siguiente pantalla presenta los abatimientos en planta, la ubicación de los pozos y puntos de cálculo, así como también el cuadro resumen de cálculo de los abatimientos en cada punto, por cada pozo y por su interferencia. Ver Figura IV.5.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

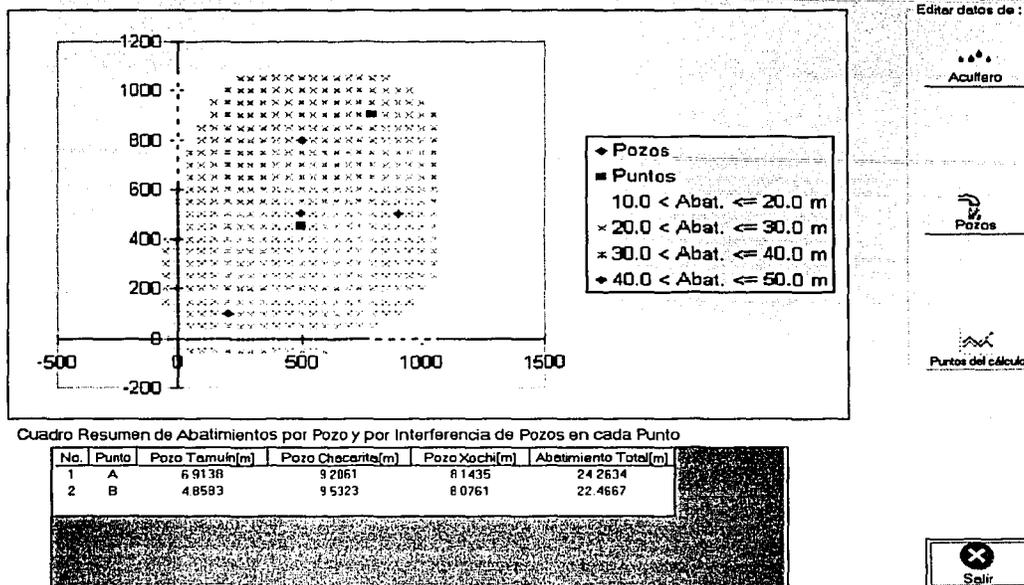


Figura IV.5 Representación Gráfica y Cuadro Resumen de Abatimientos

Dentro de esta pantalla (Figura IV.5) se presentan 3 secciones, en la primera la representación gráfica de abatimientos, en la segunda el cuadro resumen de abatimientos y en la tercera la edición de datos.

La representación gráfica de los abatimientos presenta los valores que circundan a los pozos y puntos de interés, estos abatimientos se clasifican con símbolos y colores diferentes para que se observe el comportamiento de la explotación del acuífero en estudio. En esta representación gráfica, nos ubica tanto los pozos como los puntos del cálculo.

La segunda sección, Cuadro Resumen de Abatimientos por Pozo y por Interferencia de Pozos en cada Punto, presenta los valores en metros de los abatimientos que afecta cada pozo para cada punto, así como el abatimiento total en el punto afectado por todos los pozos.

En la sección de edición se podrá presionar el botón que se necesite para modificar algún dato, posteriormente presentará la pantalla de la edición que se haya seleccionado y aparecerá en lugar del botón Siguiente, el botón Actualizar, que al presionarlo efectuará el programa nuevamente el cálculo con los nuevos valores y devolverá a la pantalla de la Figura IV.5 con los nuevos resultados.

Finalmente en la parte inferior derecha de la pantalla aparece el botón de Salir, el cual finalizará el programa confirmando nuestra decisión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V. CASO ESTUDIO

En este capítulo se estudia un caso real de abatimientos por una batería de pozos, se utilizan dos métodos para obtener los resultados.

Primero, el análisis se efectúa utilizando las fórmulas y gráficas correspondientes a la teoría, revisados en los Capítulos II y III de esta tesis.

Posteriormente los cálculos se realizarán utilizando el programa de cómputo, objetivo principal de este proyecto de tesis.

Finalmente se hará una comparación de resultados y algunos comentarios.

El caso estudio que se analizará es el siguiente:

Para la batería de pozos con datos del Cuadro V.1, determine el abatimiento en el punto A(1200,800) y en el punto B(250,250). Asuma que todos los pozos son bombeados por 40 días y que el coeficiente de almacenaje tiene un valor de $2.86E-4$ y $1.77E-3$ m^2/s de transmisibilidad.

| Pozo No. | Diámetro [m] | Gasto [m^3/s] | Coordenada x [m] | Coordenada y [m] |
|----------|--------------|-------------------|------------------|------------------|
| 1 | 0.80 | 0.0426 | 1580 | 150 |
| 2 | 0.90 | 0.0473 | 100 | 1350 |
| 3 | 0.75 | 0.0405 | 60 | 50 |
| 4 | 0.60 | 0.0351 | 1450 | 1500 |
| 5 | 0.95 | 0.0457 | 900 | 1200 |
| 6 | 0.85 | 0.0503 | 450 | 280 |

Cuadro V.1 Valores de los Pozos en el Campo.

V.1 Cálculo de Abatimientos Ocasionados por una Batería de Pozos.

1. Cálculo de r. Donde r es la distancia que existe entre cada punto de cálculo y cada pozo, y se realiza con la fórmula de distancia entre dos puntos.

$$r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (5.1)$$

A continuación se presenta el Cuadro V.2 con los valores de r obtenidos con la Fórmula 5.1.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

| Pozo No. | Punto | r [m] |
|----------|-------|---------|
| 1 | A | 752.93 |
| 2 | A | 1229.84 |
| 3 | A | 1364.59 |
| 4 | A | 743.30 |
| 5 | A | 500.00 |
| 6 | A | 912.63 |
| 1 | B | 1333.75 |
| 2 | B | 1110.18 |
| 3 | B | 275.86 |
| 4 | B | 1732.77 |
| 5 | B | 1151.09 |
| 6 | B | 202.24 |

Cuadro V.2. Valores de r.

2. Cálculo del argumento de la función del pozo. Fórmula 5.2

$$\mu = \frac{r^2 S}{4Tl} \quad (5.2)$$

En el Cuadro V.3, se muestran los resultados obtenidos con la aplicación de la fórmula anterior.

| Pozo No. | Punto | r [m] | μ | $1/\mu$ |
|----------|-------|---------|----------|----------|
| 1 | A | 752.93 | 6.64E-03 | 1.51E+02 |
| 2 | A | 1229.84 | 1.77E-02 | 5.64E+01 |
| 3 | A | 1364.59 | 2.18E-02 | 4.58E+01 |
| 4 | A | 743.30 | 6.47E-03 | 1.54E+02 |
| 5 | A | 500.00 | 2.93E-03 | 3.41E+02 |
| 6 | A | 912.63 | 9.76E-03 | 1.02E+02 |
| 1 | B | 1333.75 | 2.08E-02 | 4.80E+01 |
| 2 | B | 1110.18 | 1.44E-02 | 6.93E+01 |
| 3 | B | 275.86 | 8.92E-04 | 1.12E+03 |
| 4 | B | 1732.77 | 3.52E-02 | 2.84E+01 |
| 5 | B | 1151.09 | 1.55E-02 | 6.44E+01 |
| 6 | B | 202.24 | 4.79E-04 | 2.09E+03 |

Cuadro V.3. Argumento de la Función del Pozo

3. Obtención de la Función del Pozo. Esta función esta dada por la serie siguiente:

$$w(\mu) = -0.577216 - \ln(\mu) + \mu - \frac{\mu^2}{2 \cdot 2!} + \frac{\mu^3}{3 \cdot 3!} - \dots$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Debido a la complejidad para obtener el valor de esta función, se utiliza la gráfica de la Figura II.5 en la página II.9, los valores obtenidos se presentan en el Cuadro V.4.

| Pozo No. | Punto | r [m] | μ | $1/\mu$ | $w(\mu)$ |
|----------|-------|---------|----------|----------|----------|
| 1 | A | 752.93 | 6.64E-03 | 1.51E+02 | 9.00 |
| 2 | A | 1229.84 | 1.77E-02 | 5.64E+01 | 8.50 |
| 3 | A | 1364.59 | 2.18E-02 | 4.58E+01 | 9.50 |
| 4 | A | 743.30 | 6.47E-03 | 1.54E+02 | 9.00 |
| 5 | A | 500.00 | 2.93E-03 | 3.41E+02 | 10.00 |
| 6 | A | 912.63 | 9.76E-03 | 1.02E+02 | 9.00 |
| 1 | B | 1333.75 | 2.08E-02 | 4.80E+01 | 10.00 |
| 2 | B | 1110.18 | 1.44E-02 | 6.93E+01 | 10.50 |
| 3 | B | 275.86 | 8.92E-04 | 1.12E+03 | 10.50 |
| 4 | B | 1732.77 | 3.52E-02 | 2.84E+01 | 10.00 |
| 5 | B | 1151.09 | 1.55E-02 | 6.44E+01 | 10.50 |
| 6 | B | 202.24 | 4.79E-04 | 2.09E+03 | 9.00 |

Cuadro V.4. Valores de la Función del Pozo

4. Cálculo de los Abatimientos en el acuífero. Con la Fórmula 5.3 se realiza este cálculo.

$$a_i = \frac{Q}{4\pi T} w(\mu) \quad (5.3)$$

5. Cálculo de Interferencia. Fórmula (5.4)

$$a = \sum_{i=1}^n a_i \quad (5.4)$$

En el Cuadro V.5 se presenta los resultados al cálculo de abatimiento en cada punto por cada pozo, así como el cálculo de interferencia.

| | Pozo 1 | Pozo 2 | Pozo 3 | Pozo 4 | Pozo 5 | Pozo 6 | Interferencia |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| Punto A | 8.64 | 7.46 | 5.47 | 7.12 | 10.30 | 9.07 | 48.05 |
| Punto B | 6.72 | 7.46 | 11.86 | 4.74 | 7.21 | 15.87 | 53.86 |

Cuadro V.5. Resumen de Abatimientos e Interferencia

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

V.2 Análisis de los Abatimientos Presentados en Campo de una Batería de Pozos Utilizando el Programa de Cómputo.

A continuación se presentara la ejecución del programa, pantalla por pantalla, hasta la obtención de resultados y de la representación gráfica de los abatimientos.

Características del Acuífero

Transmisibilidad [m²/s]

Coefficiente de almacenamiento

Figura V.1. Transmisibilidad y Coeficiente de Almacenamiento.

Pozos de Explotación en el Acuífero

| No. | Nombre | Diámetro[m] | Gasto[m ³ /s] | Coordenada x [m] | Coordenada y [m] |
|-----|--------|-------------|--------------------------|------------------|------------------|
| 1 | 1 | 0.80 | 0.0426 | 1580 | 150 |
| 2 | 2 | 0.90 | 0.0473 | 100 | 1350 |
| 3 | 3 | 0.75 | 0.0405 | 60 | 50 |
| 4 | 4 | 0.60 | 0.0351 | 1450 | 1500 |
| 5 | 5 | 0.95 | 0.0457 | 900 | 1200 |
| 6 | 6 | 0.80 | 0.0503 | 450 | 280 |

Figura V.2. Datos de los Pozos de Explotación en el Acuífero

Puntos para el Cálculo del Abatimiento

| No. | Nombre | Coordenada x [m] | Coordenada y [m] |
|-----|--------|------------------|------------------|
| 1 | A | 1200 | 800 |
| 2 | B | 250 | 250 |

Agregar punto

Quitar punto

Tiempo de Explotación [días]

40

Siguiente

Figura V.3. Datos de los Puntos para el Cálculo de Abatimientos y Tiempo de Explotación.

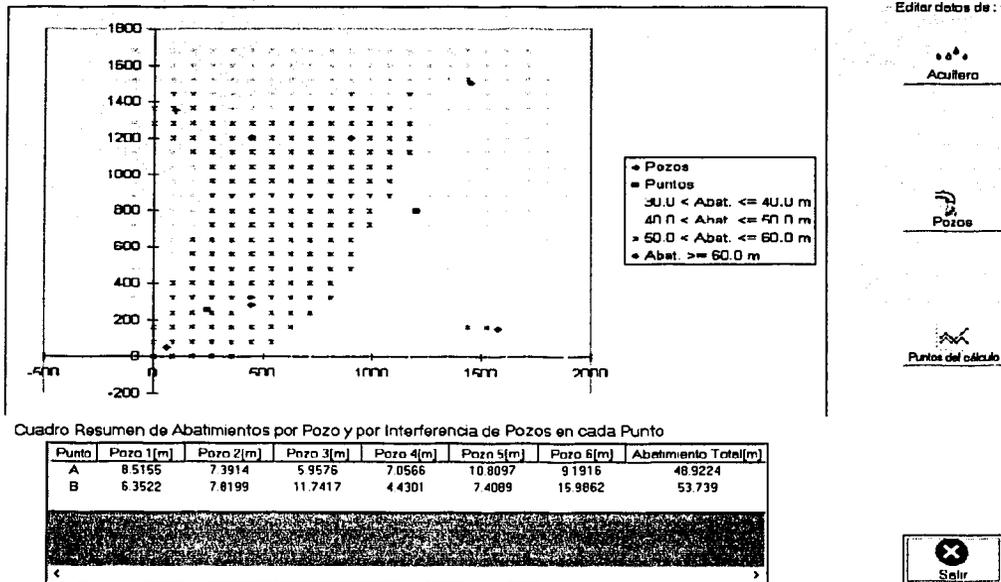


Figura V.4. Resultados y Representación Gráfica de los Abatimientos.

V.3 Comparación de Resultados.

Los resultados obtenidos con el programa de cómputo son más exactos, ya que el programa resuelve la serie de la función del pozo, mientras que por el otro método aumentamos el porcentaje de error al obtener este valor de una gráfica y puede fallar la interpretación del valor correspondiente.

Puede apreciarse la velocidad en la obtención de varios resultados hechos con el programa de cómputo, con lo que lo hace una herramienta eficiente para el estudio de este fenómeno.

VI. RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA BATERÍA DE POZOS

Se mostrará en este capítulo de una manera general los diferentes tipos de pozos, características, elementos que los forman y los materiales y herramientas necesarios para su construcción.

Deberá tomarse en cuenta que para la construcción de cualquier pozo se estará obligado a contar con estudios preliminares para evitar anomalías, entre ellas el de interferencia, objeto de este proyecto de tesis.

VI.1 Tipos de Pozos, Características y sus Elementos.

Normalmente los pozos son construidos por organizaciones especializadas en este tipo de trabajo. A fin de garantizar que el resultado de un proyecto de aguas subterráneas sea satisfactorio, la fuente a ser utilizada debe ser objeto de un cuidadoso estudio, debiéndose preparar minuciosamente las especificaciones y otros documentos contractuales. Los análisis de los acuíferos y sus características deben ser realizados por personas con experiencia en hidrología de aguas subterráneas. La asistencia y los datos de CNA y las entidades que competan deben obtenerse siempre durante la planeación de un nuevo proyecto de pozos.

Un pozo es una perforación vertical, en general de forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo de tipo radial. Se acostumbra clasificar a los pozos en:

- Poco profundos (Someros)
- Profundos

Los pozos someros "excavados" son aquellos que permiten la explotación del agua freática y o subálvea, (Figura VI.1). Se construyen con picos y pala; tienen diámetros mínimos de 1.5 metros y no más de 15 metros de profundidad. Para permitir el paso del agua a través de las paredes del pozo se dejan perforaciones de 25 mm de diámetro con espaciamiento entre 15 y 25 cm centro a centro. Si las paredes del pozo son de mampostería de piedra o tabique, se dejan espacios sin juntear en el estrato permeable para permitir el paso del agua. (Figura VI.2).



Figura VI.1 Esquema de la Zona de Intersticios.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO DEBE
SER UTILIZADA SIN
EL CONSENTIMIENTO
DE LA BIBLIOTECA

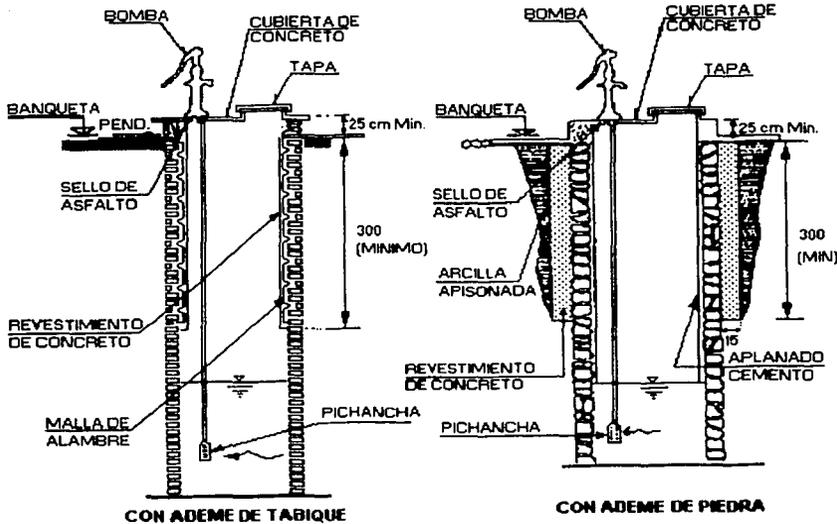


Figura VI.2 Pozos Someros

Los pozos poco profundos pueden construirse también por perforación o entubado. El pozo entubado, (Figura VI.3), consiste en un tubo forrado, que tiene en su extremo un taladro de diámetro ligeramente superior al del revestimiento. Encima del taladro se disponen orificios, o una rejilla, a través de los cuales penetra el agua en el revestimiento. La hincas se efectúa por medio de un mazo o por la caída de un peso. Los pozos entubados tienen un diámetro de 25 mm a 75 mm y pueden emplearse sólo en terrenos que no estén muy consolidados.

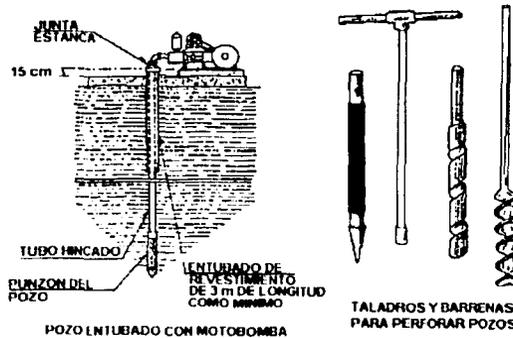


Figura VI.3 Pozo hincado o entubado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Al uso de los pozos someros o poco profundos para suministros públicos pueden hacerse las siguientes objeciones:

1. Dan un rendimiento incierto porque el nivel freático fluctúa con facilidad y considerablemente.
2. La calidad sanitaria del agua es probable que sea deficiente. Por las razones anteriores, las poblaciones que consumen agua subterránea disponen ordinariamente de pozos profundos. Los pozos profundos tienen la ventaja de perforar capas acuíferas profundas y extensas, circunstancias que evitan rápidas fluctuaciones en el nivel de la superficie piezométrica y dan por resultado un rendimiento uniforme y considerable. El agua profunda es adecuada para obtener una buena calidad sanitaria, a menos que esté contaminada por infiltraciones en la capa acuífera, por cavernas o fisuras en las rocas que las recubren. Los inconvenientes son el gran costo de los pozos y el hecho de que largo recorrido subterráneo del agua puede dar lugar a que se disuelvan materias minerales que pueden hacerla dura, corrosiva o inadecuada. En el "pozo ordinario o de capa libre", el agua se eleva a la altura del material saturado que le rodea, y no se halla sometida en el acuífero a otra presión más que la atmosférica. Un "pozo artesiano" es aquel en el que el agua se eleva por encima del nivel en que se encuentra el acuífero debido a la presión del agua aprisionada o bloqueada en el acuífero. (Figura VI.4).

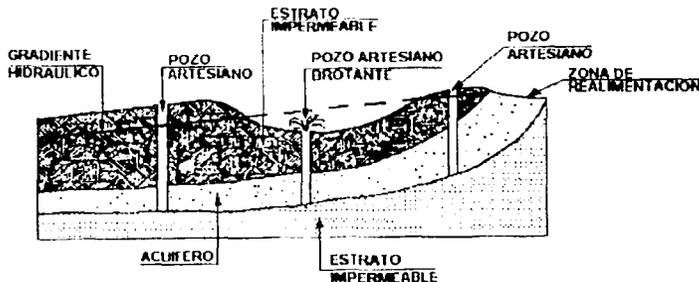


Figura VI.4 Esquema de pozos artesianos.

Haciendo referencia a la Figura VI.5 los componentes de los pozos son:

a) Ademe del Pozo.

Es una tubería, generalmente de acero, colocada con holgura dentro de la perforación. Este componente proporciona una conexión directa entre la superficie y el acuífero, y sella el pozo de las aguas indeseables superficiales o poco profundas; además soporta las paredes del agujero de perforación.

b) Cedazo, Filtro o Ademe Rasurado.

El cedazo es un tubo rasurado colocado a continuación del ademe, que tiene las siguientes funciones:

1. Estabilizar las paredes de la perforación.
2. Mantener la arena fuera del pozo.
3. Facilitar la entrada de agua al interior del pozo.

TESIS CON
FIRMAS DE ORIGEN

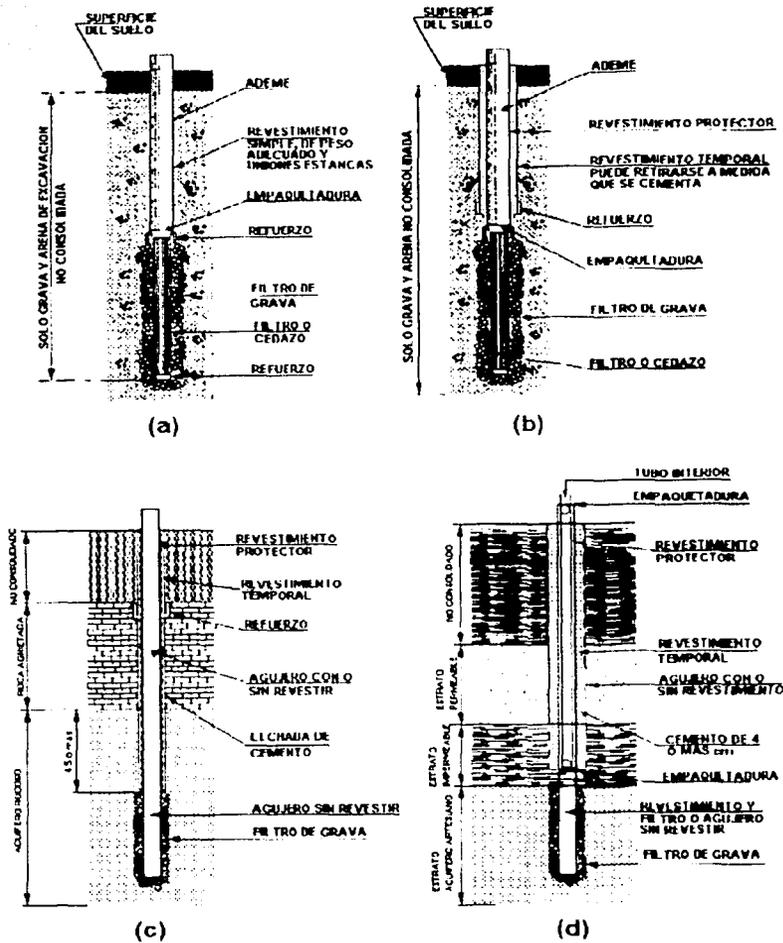


Figura VI.5 Algunos tipos de pozos.
(a) Para terrenos no consolidados. (b) Como el tipo (a), pero cementado para protección contra la contaminación. (c) Pozo en terreno consolidado sustentado con roca agrietada. (d) Pozo artésiano, impide la pérdida de agua hacia el estrato impermeable. De producirse erosión se necesitará revestimiento y filtro en el acuífero. El tubo interior puede sustituirse si se corroe.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Si las ranuras o perforaciones del cedazo no son de la dimensión precisa para el acuífero, los pozos bombearán arena. Los cedazos se fabrican en tubo de metales diferentes con protección o sin ella, en aleaciones de plástico, concreto, asbesto-cemento o fibra de vidrio. Los más económicos y comúnmente usados son los fabricados en tubo de acero con bajo contenido de carbón. El cedazo del pozo es particularmente susceptible al ataque corrosivo y a la incrustación por depósito de minerales, debido a la gran cantidad de área expuesta que presenta al medio poroso donde se localiza, además de que el agua que lo atraviesa constantemente, trae un suministro de sólidos disueltos que pueden reaccionar con el material del cedazo o entre sí.

c) Empaque de Grava

Las funciones principales del empaque de grava son:

1. Estabilizar el acuífero y minimizar el bombeo de arena.
2. Permitir el uso del cedazo con la mayor área abierta posible.
3. Proporcionar una zona anular de alta permeabilidad, aumentando el radio efectivo del pozo y su gasto de explotación.

d) Cimentación de Bombas.

Las bombas montadas superficialmente se soportan mediante cimentaciones capaces de resistir todas las cargas que obren sobre ellas. No se deben apoyar las bombas directamente sobre el ademe del pozo.

VI.2 Muro de Grava y Pozos Colectores.

El área de influencia de los pozos puede aumentarse mediante el incremento de su diámetro efectivo, esta es la función principal del muro de grava y de los pozos colectores.

Como se muestra en la figura VI.6, una cubierta de grava colocada fuera de la rejilla del pozo, crea un muro de grava y con él, una mayor cubierta para la toma. Esto reduce la velocidad del agua que sale del acuífero y forma un filtro que mantiene la arena fuera del pozo. Primero se perfora realizando un hoyo del tamaño deseado para el pozo (61 cm o más). A continuación se coloca en su lugar un revestimiento externo y se limpia el acuífero antes de aplicar una cubierta interna más pequeña, que lleva la rejilla del pozo. Posteriormente, se depositará grava al anillo colocado entre ambas cubiertas. Un pistón operado con rapidez hacia arriba y hacia abajo dentro de la cubierta, ayuda a compactar la grava. Los pozos con muro de grava pueden succionar arena inicialmente al ser puestos en operación y también puede resbalar algo de arena hacia las partes circundantes; esta arena deberá reponerse como mantenimiento.

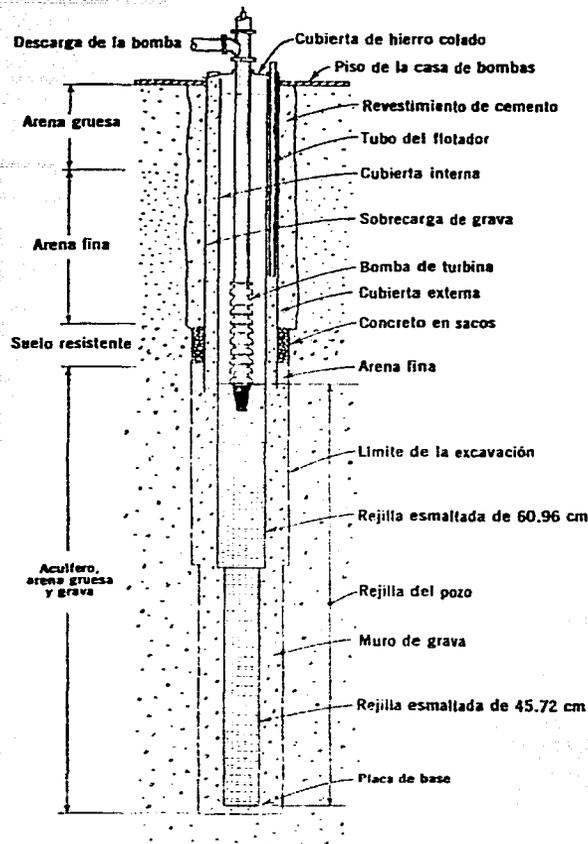


Figura VI.6 Pozo con empaque de arena.

Los pozos colectores extraerán suministros relativamente grandes de agua subterránea de rellenos de valles y otros depósitos aluviales de gran permeabilidad y relación de recarga alta. La flecha central de los pozos colectores es una caja de concreto de aproximadamente 4.5 m de diámetro y terminada bajo el nivel freático en un grueso tapón de concreto. Desde esta flecha, se extienden colectores radiales de 152 o 253 mm, de diámetro horizontal hacia la formación acuífera a través de aberturas cercanas al fondo de la caja. Pueden instalarse y desarrollarse una serie de tubos colectores en la misma forma que los pozos verticales ordinarios.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI.3 Interferencia de Pozos.

Cuando las áreas de influencia de dos o más pozos sujetos a bombeo se sobreponen, el consumo de cada pozo afecta al abatimiento del otro u otros. La interferencia puede llegar a ser tan severa en pozos con espaciamiento cercano, que los grupos de pozos pueden comportarse como un sólo pozo que produce un cono sencillo y grande de depresión. Cuando esto es así, las relaciones de descarga-abatimiento pueden estudiarse bajo esta norma.

Una batería de pozos bombeada fuertemente puede tener un círculo de influencia de muchos kilómetros de diámetro. Los pozos dentro de su propio círculo, de 1.609 kilómetros (1 milla) de diámetro aproximadamente, podrían entonces comportarse como un sólo grupo. En contraste, puede ser que los pozos profundos ligeramente bombeados en acuíferos no confinados, no registren interferencia cuando se encuentran distanciados a 30.48 metros (100 pies).

VII. CONCLUSIONES

Es notable la diferencia que existe en la ejecución de cualquier problema o ejemplo a través del programa que se presenta en este proyecto de tesis con respecto al cálculo manual de manera tradicional.

La rapidez en la obtención de resultados y la exactitud de los mismos, es una ventaja primordial, pues además de los puntos de interés donde el abatimiento se requiere obtener, el programa calcula toda la red de abatimientos del área.

Con la utilización del programa se evitarán errores humanos comunes durante el proceso del cálculo de abatimientos.

Otra ventaja de este programa de cómputo es la representación gráfica de los abatimientos en la zona, pues visualiza claramente el comportamiento del acuífero debido a la extracción de agua por una batería de pozos.

Este programa, por tanto, sirve en la preparación didáctica de los estudiantes de ingeniería civil, con el cual podrán darse cuenta de una manera mas representativa del fenómeno de abatimientos en el acuífero por la localización de varios pozos en un área, ya que en la mayoría de los libros que estudian el tema, no presentan el cálculo dentro de un plano (dos dimensiones), sino lo realizan en forma lineal (una dimensión).

Para la práctica profesional, este programa sirve de apoyo en los cálculos de abatimientos y con esto, la presentación de proyectos será de mejor calidad y en un corto tiempo, sobre todo que no existe en el mercado un programa similar.

BIBLIOGRAFÍA

I. Textos.

1. Valdez, Enrique César. Abastecimiento de Agua Potable. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuarta Edición. México, D.F. 1990.
2. Custodio, Emilio y Llamás, Manuel Ramón. Hidrología Subterránea. Segunda Edición. Omega, S.A. Barcelona, España. 1983.
3. Driscoll, Fletcher G. Groundwater and Wells. Second Edition. Johnson Filtration Systems Inc. Minnesota, U.S.A. 1986.
4. Fair, Gordon M. Geyer, John C. Okun, Daniel A. Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales. Editorial Limusa. México, D.F. 1990.
5. Pimienta, Jean. La Captación de Aguas Subterráneas. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. 1973.

II. Leyes y Reglamentos.

1. Ley de Aguas Nacionales. Comisión Nacional del Agua. México, 1999.
2. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Comisión Nacional del Agua. México, 1999.
3. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua. Comisión Nacional del Agua. México, 2001.
4. Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996. Comisión Nacional del Agua. México, 1996.

III. Manuales.

1. Balena, Francisco. Programación Avanzada con Microsoft Visual Basic Versión 6. Mc. Graw Hill. México, D.F. 1999.
2. Perry, Greg. Aprendiendo Visual Basic 6 en 21 Días. Prentice Hall. México, 1999.