



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**  
**CAMPUS GUADALAJARA**

**“SISTEMA DE POZO RADIAL, UNA  
ALTERNATIVA TÉCNICA PARA  
ABASTO DE AGUA POTABLE”**

**JOSE SILVESTRE ERNESTO FERNÁNDEZ CUEVAS**

**Tesis presentada para optar por el Grado de Maestro en  
Administración de la Construcción con Reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
según acuerdo número 994188 con fecha 09-VII-99**

**Zapopan, Jal. Junio del 2004**



56564



UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
SEDE GUADALAJARA  
BIBLIOTECA

CLASIF: TE MAC 200A F82

ADQUIS: 50564 CF 2

FECHA: 01/04/05

DONATIVO DE \_\_\_\_\_

\$ \_\_\_\_\_

agregar d 57792





**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**  
**CAMPUS GUADALAJARA**

**“SISTEMA DE POZO RADIAL, UNA  
ALTERNATIVA TÉCNICA PARA  
ABASTO DE AGUA POTABLE”**

**JOSE SILVESTRE ERNESTO FERNÁNDEZ CUEVAS**

Tesis presentada para optar por el Grado de Maestro en  
Administración de la Construcción con Reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
según acuerdo número 994188 con fecha 09-VII-99

Zapopan, Jal. Junio del 2004



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

Zapopan, Jalisco, Junio de 2003

ING. PEDRO ÁNGEL GONZÁLEZ LÓPEZ  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE  
EXÁMENES DE GRADO  
P R E S E N T E.

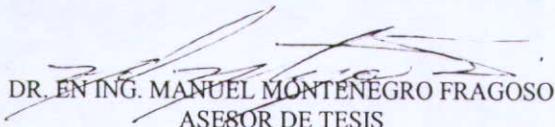
Me permito hacer de su conocimiento que Sr. Ing. José Silvestre Ernesto Fernández Cuevas de la Maestría en Administración de la Construcción, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa TESIS, titulado:

“SISTEMA DE POZO RADIAL, UNA ALTERNATIVA TECNICA PARA ABASTO DE  
AGUA POTABLE “

Manifiesto que, después de haber sido dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención prestada y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE

  
DR. EN ING. MANUEL MONTENEGRO FRAGOSO  
ASESOR DE TESIS



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

## DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO

C. Sr. Ing. José Silvestre Ernesto Fernández Cuevas  
Presente.

En mi calidad de presidente de la Comisión de Exámenes de Grado, y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por usted en la alternativa de TESIS, titulado:

“SISTEMA DE POZO RADIAL, UNA ALTERNATIVA TECNICA PARA ABASTO DE  
AGUA POTABLE “

Le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado del Examen de Grado, por lo que deberá de entregar siete ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

ATENTAMENTE

ING. PEDRO ÁNGEL GONZÁLEZ LÓPEZ  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN

## DEDICATORIAS

A mi esposa Arcelia, de quien he recibido todo el apoyo siempre y me ha dado su compañía en los momentos difíciles de mi carrera y de mi crecimiento.

A mis hijos, Ernesto, Luz Arcelia, Katia, Claudia y Lorena, por su aliento y comprensión en mi preparación y le doy gracias a Dios por tenerlos como hijos.

A la memoria de mis padres, de quienes recibí los mejores ejemplos de vida y las bases sólidas en mi educación.

A mis hermanos, por su apoyo y comprensión en los momentos difíciles.

A mis yernos Luis, Carlos, Toño y mi nuera Lolis, a quienes les agradezco sus atenciones y ánimo incondicional.

A mis nietos, en quienes me he inspirado para renovar mis conocimientos y me brindan aliento nuevo para continuar mejorando.

A mis maestros de la Universidad Panamericana, por su paciencia y dedicación en los temas que nos enseñaron, en la maestría.

Al Gobierno del Estado de Jalisco, por su respaldo y apoyo para terminar esta maestría.

A las autoridades del SEAPAL, VALLARTA por su disponibilidad siempre presente al requerirle aportar datos complementarios y aclaraciones necesarias en la realización de este trabajo.

## DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

| Figura      | Texto  | Página |
|-------------|--|--------|
| Figura 1.1  | Esquema de un Pozo Radial  | 2      |
| Figura 2.1  | El ciclo hidrológico   | 8      |
| Figura 3.1  | Esquema de aprovechamiento de un pozo radial                                   | 13     |
| Figura 3.2  | Instalación de un pozo radial y su impacto en el entorno                       | 14     |
| Figura 3.3  | Galerías de infiltración tipo Ranney y diseño de colectores radiales           | 16     |
| Figura 3.4  | Tomas directas por gravedad tipo Ranney  | 17     |
| Figura 3.5  | Etapas constructivas de un pozo radial   | 18     |
| Figura 3.6  | Proceso de hincado del cilindro  | 19     |
| Figura 3.7  | Preparación de tapón de fondo del cilindro                                     | 20     |
| Figura 3.8  | Barrenación de drenes horizontales   | 21     |
| Figura 3.9  | Tubería ranurada en la barrenación   | 22     |
| Figura 3.10 | Sistema de drenado   | 23     |
| Figura 3.11 | Instalación de tuberías y bombas para la operación del sistema                 | 24     |
| Figura 4.1  | Ubicación en los Estados Unidos Mexicanos                                      | 33     |
| Figura 4.2  | Localización en el estado de Jalisco   | 33     |
| Figura 4.3  | Croquis de localización del pozo radial en la confluencia ríos Ameca y Mascota | 34     |
| Figura 5.1  | Esquema del pozo radial río Ameca  | 41     |
| Figura 5.2  | Distribución de los drenes radiales  | 42     |
| Figura 5.3  | Plantilla para hincado de pilotes  | 47     |
| Figura 5.4  | Colado de pilotes con bomba de concretos                                       | 47     |
| Figura 5.5  | Equipo utilizado en el proceso del colado del cilindro                         | 47     |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 5.6  | Cucharón de almeja para la excavación del cilindro   | 47 |
| Figura 5.7  | Grúa viajera para instalación del equipo de hincado horizontal   | 48 |
| Figura 5.8  | Cedazo para los drenes aportantes del acuífero   | 48 |
| Figura 5.9  | Plataforma de trabajo para hincado de los drenes horizontales  | 48 |
| Figura 5.10 | Compuertas de control individual para extracción del acuífero  | 48 |
| Figura 5.11 | Prueba de operación de los drenes  | 49 |
| Figura 5.12 | Colado del cilindro en su prolongación   | 49 |
| Figura 5.13 | Proceso de cimbrado para caseta de operación   | 49 |
| Figura 5.14 | Instrumentación y monitoreo de la estructura   | 49 |
| Figura 6.1  | Grafica de costos de inversión inicial entre el sistema de pozos convencionales y el del pozo radial                   | 54 |
| Figura 6.2  | Grafica de costos comparativos de los gastos de operación y mantenimiento entre pozos convencionales y el pozo radial. | 56 |
| Figura 6.3  | Inversiones totales a considerar y diferencia entre los sistemas convencionales y el del pozo radial                   | 56 |

### TABLA DE SIMBOLOGÍA

| <b>Símbolo</b>      | <b>Descripción</b>                     |
|---------------------|--|
| l.p.s.              | Litros por segundo                     |
| E.U.A.              | Estados Unidos de América              |
| M <sup>3</sup> /seg | Metros cúbicos por segundo             |
| Fe                  | Fierro                                 |
| Mn                  | Manganeso                              |
| M <sup>3</sup> /año | Metros cúbicos por año                 |
| l.p.s./m            | Litros por segundo por metro lineal    |
| Cm/s                | Centímetros por segundo                |
| Q                   | Gasto en litros por segundo            |
| ND                  | Nivel dinámico                         |
| C.N.A.              | Comisión Nacional del Agua             |
| NAME                | Nivel de aguas máximas extraordinarias |

# INDICE

Página

## **CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN**

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 1.1.- POZO RADIAL                | 1 |
| 1.2.- ANTECEDENTES DE APLICACIÓN | 2 |
| 1.3.- OBJETIVO                   | 3 |
| 1.4.- ALCANCE DE LA TESIS        | 4 |
| 1.5.- DESCRIPCIÓN DE LA TESIS    | 4 |

## **CAPITULO 2.- EL AGUA EN LA NATURALEZA**

|   |    |
|---|----|
| 2.1.- DISPONIBILIDAD ACTUAL                           | 6  |
| 2.2.- LAS RESERVAS EXISTENTES DE AGUA A NIVEL MUNDIAL | 6  |
| 2.3.- EL CICLO HIDROLÓGICO                            | 7  |
| 2.4.- LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO            | 9  |
| 2.5.- LA DEMANDA Y USO DEL AGUA EN MÉXICO             | 10 |
| 2.6.- LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN MÉXICO             | 10 |
| 2.7.- LA IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA             | 10 |

## **CAPITULO 3.- SISTEMA DEL POZO RADIAL**

|   |    |
|---|----|
| 3.1.- ANTECEDENTES HISTORICOS Y CARACTERÍSTICAS DEL POZO RADIAL | 13 |
| 3.2.- EXPERIENCIAS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS EN EL EXTRANJERO     | 15 |
| 3.3.- ETAPAS CONSTRUCTIVAS DE UN POZO RADIAL                    | 18 |
| 3.4.- VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL POZO RADIAL                   | 25 |
| 3.5.- EXPERIENCIAS EN MÉXICO                                    | 26 |
| 3.6.- AREAS POTENCIALES PARA EXPLOTACIÓN SUSTENTABLE EN JALISCO | 27 |

## **CAPITULO 4.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO POZO RADIAL EN JALISCO.**

|   |    |
|---|----|
| 4.1.- ANTECEDENTES  | 29 |
| 4.2.- EVALUACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO              | 31 |
| 4.3.- LOCALIZACIÓN Y ESTUDIOS PRELIMINARES DEL SITIO SELECCIONADO | 32 |
| 4.4.- MÉTODO UTILIZADO EN JALISCO CON INNOVACIÓN AL SISTEMA       | 37 |

## **CAPITULO 5.- CRONOLOGÍA DE LA EJECUCIÓN DEL POZO RADIAL EN EL RÍO AMECA PARA LA CIUDAD DE PUERTO VALLARTA, JAL.**

|  |    |
|--|----|
| 5.1.- ANTECEDENTES DE LA OBRA                      | 39 |
| 5.2.- DESCRIPCIÓN DE LA OBRA EJECUTADA             | 40 |
| 5.3.- CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO                 | 43 |
| 5.4.- RECURSOS UTILIZADOS EN LA OBRA               | 43 |
| 5.5.- INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO DE LA ESTRUCTURA | 45 |
| 5.6.- RESEÑA FOTOGRÁFICA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO  | 47 |
| 5.7.- PROGRAMA DE INVERSIONES                      | 50 |

## **CAPITULO 6.- COSTOS COMPARATIVOS CON LOS SISTEMAS CONVENCIONALES**

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 6.1.- PREMISAS DE PARTIDA | 52 |
| 6.2.- TABLAS COMPARATIVAS | 52 |
| 6.3.- COMENTARIOS         | 57 |

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

## CAPÍTULO 1

# **INTRODUCCIÓN**

## 1.1.- POZO RADIAL

Un pozo radial ( figura 1.1) esta constituido por un cajón tipo indio de 4 a 6 metros de diámetro interior libre y esta hincado en un manto freático constituido a base de depósitos aluviales permeables predominando las gravas y arenas naturales que le garantizan una recarga permanente gracias a su condición litológica. Los drenes horizontales de penetración variable en el filtro natural circundante alimentan y concentran sus aportaciones al cajón que cuenta con un ademe de concreto reforzado y su profundidad esta definida por el alcance del manto acuífero detectado en los sondeos geotécnicos previos, siendo económicamente recomendable un bombeo entre 20 y 70 metros .

Los drenes horizontales circundantes y perpendiculares al pozo se construyen con ademes ranurados que funcionan como cedazos y filtros de los materiales granulares existentes.

El impacto visual del pozo radial en el medio ambiente es mínimo, ya que solo se advierte su estructura coronada por una caseta de control de operación de bombas, que puede ser construida con materiales regionales.

Existen otras ventajas hidrológicas, operacionales y sanitarias en este sistema comparadas con las fuentes tradicionales como son los pozos profundos convencionales que se encuentran limitados en su producción y presentan salinidad prematura en las franjas costeras; con las galerías filtrantes de poca profundidad y calidad deficiente del agua captada que requieren plantas de potabilización con un alto costo operativo.

Estas ventajas permiten calificar al pozo radial como una alternativa muy conveniente considerándole las siguientes determinantes:

- A.- Explotación uniforme de una gran superficie del subsuelo.
- B.- Mínimo asolvamiento en el pozo colector por la casi nula extracción de arenas, dadas las bajas velocidades de entrada del agua a los drenes filtrantes.
- C.- Las fluctuaciones del nivel dinámico no afectan tanto el rendimiento del pozo como en los pozos convencionales.
- D.- La instalación de los drenes en la parte inferior del acuífero permite aprovechar al máximo su capacidad de grandes volúmenes de explotación.
- E.- Operacionalmente permite regular el caudal de cada colector, sin necesidad de paros en su operación y la automatización concentra la producción en un solo punto, brindando una reducción del personal de vigilancia, así como ahorros importantes en el consumo de energía.
- F.- La vida útil de los drenes se prolonga al permanecer siempre sumergidos y el revestimiento impermeable del pozo protege el agua de contaminaciones externas.

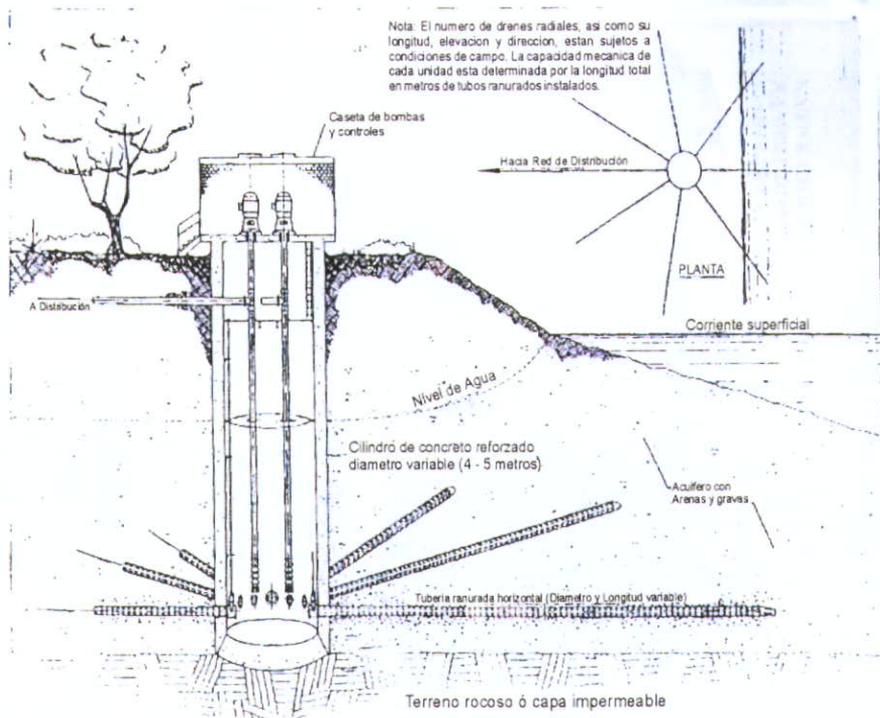


Figura 1.1.- Esquema de un pozo radial

En la figura 1.1.- se aprecia un pozo radial en forma esquemática y las perforaciones con drenes horizontales, protegidas con ademes ranurados que hacen la función de cedazos y filtros eficientes. Estos tienen longitudes y diámetros variables según la dimensión del acuífero, recomendándose diámetros mínimos de 8 a 10 pulgadas (20.32 mm. a 25.40 mm.)

## 1.2.- ANTECEDENTES DE APLICACIONES

*El primer registro de un pozo radial , data desde 1933 en Londres, Inglaterra, por el Ingeniero Leo Ranney, ingeniero petrolero y este primer pozo continua hoy trabajando con el mismo gasto de aforo con el que fue iniciada su explotación del orden de 105 l.p.s. (litros por segundo).*

Desde entonces cientos de estos sistemas han sido desarrollados en todo el mundo, particularmente en la Unión Americana y en el Canadá.

En México existen solamente dos experiencias de este sistema, una en el estado de Guerrero, donde fueron construidos 2 pozos radiales sobre el río Papagayo, para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Acapulco con un gasto de explotación de 500 l.p.s. y otro en el estado de Jalisco, con el desarrollo reciente de un pozo radial sobre el río Ameca, para aumentar la cobertura del servicio de agua potable a la ciudad de Puerto Vallarta, con una capacidad disponible en su aforo de 710 l.p.s. En esta tesis se describe este proyecto y la metodología seguida en su aplicación.

Para resaltar la importancia de contar con esta alternativa de solución en los problemas de abasto de agua potable en México y en Jalisco, es necesario contar con medios y herramientas de trabajo que permitan disponer de los estudios preliminares utilizando métodos actualizados en la teledetección con bases satelitales para localizar los sitios mas favorables en los meandros de los ríos potenciales y aprovechar los mantos disponibles con recargas seguras en sus cuencas de captación .

La información actual disponible en el Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco, con imágenes de satélite actualizadas para la detección de mega estructuras geológicas susceptibles de contener agua dulce subterránea en el estado de Jalisco así como la cartografía vigente del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), permite contar con elementos básicos para lograr definiciones del potencial de los acuíferos disponibles y diseñar los programas y estudios de campo definitivos para una cuantificación confiable del manto explotable.

Estos estudios brindan además un conocimiento morfológico integral de las cuencas y le otorgan un valor agregado importante a su utilización, con la detección de los recursos existentes del medio ambiente como el estado actual de los bosques y su capacidad de retención de agua con lo cual se lograrían acciones conjuntas para su conservación y el manejo adecuado de estos recursos, calificándolos como verdaderas fabricas de agua.

Esta información preliminar nos permite además conocer de la existencia de contaminantes cercanos en la selección de sitios de explotación y vigilar que estas descargas no los afecten, tanto aguas arriba de su cauce principal como en los afluentes alimentadores al mismo que aportan volúmenes importantes a ser utilizados.

### **1.3.- OBJETIVO**

Con este trabajo se propone difundir la aplicación del sistema del pozo radial y su tecnología como una alternativa de solución para futuros proyectos de abastecimiento de agua potable.

Con la aplicación del sistema del pozo radial se pretende optimizar el costo de extracción y potabilización del agua dulce disponible y evitar la dependencia y dispendio de recursos en la explotación de aguas superficiales en lagos y cuerpos de agua almacenados, mismos que provocan fuertes perdidas por evaporación y son sujetos a

contaminaciones externas, implicando con ello tratamientos costosos en su potabilización para fines de uso urbano.

Este sistema evita el consumo excesivo de energía eléctrica en el bombeo de pozos profundos convencionales y controla la sobreexplotación de mantos de agua subterránea y sus consecuencias en su vida útil. Permite así mismo vigilar y monitorear la tendencia a salinizarse en la explotación de mantos de acuíferos de agua dulce cercanos a las costas.

Esta aplicación de el sistema de los pozos radiales, se puede considerar que prácticamente no tiene antecedentes a nivel nacional y las experiencias recientes inéditas logradas en el río Papagayo en Acapulco, Guerrero y del río Ameca para la cobertura de agua potable en Puerto Vallarta, Jalisco pueden ser tomadas en cuenta en futuros proyectos.

#### **1.4.- ALCANCE DE LA TESIS**

En esta tesis se pretende dar a conocer la metodología utilizada en la concepción de proyectos con el sistema del pozo radial y describe su realización en poblaciones importantes de nuestro país, particularmente en los estados de Guerrero y de Jalisco con sus resultados y las posibilidades de considerarla como una alternativa en cuencas de recarga asegurada.

Se describe un ejemplo practico de este sistema del pozo radial, con la explotación del acuífero del río Ameca y el estudio de su geología superficial, con apoyo de fotografías aéreas y su posterior análisis geotécnico que permitió conocer las características hidrológicas mas favorables hasta llegar a la selección del sitio definitivo para su explotación.

Esta tesis muestra un análisis comparativo desde el punto de vista económico entre este sistema del pozo radial y la utilización de pozos convencionales para cuantificar las condiciones de operación en ambos, observándose una mayor vida útil en el sistema del pozo radial así como un eficiente control de los gastos de extracción en los mantos acuíferos.

#### **1.5.- DESCRIPCIÓN DE LA TESIS**

Esta tesis consta de siete capítulos que se describen a continuación :

En el primer capitulo de este trabajo se pretende dar a conocer en que consiste el sistema del pozo radial y su importancia en ser considerado dentro de las alternativas de proyectos de abastecimiento de agua potable, para lograr optimizar los recursos disponibles de agua en la naturaleza y mejorar sus costos de extracción y potabilización.

En el segundo capítulo se expone la disponibilidad actual del agua en el entorno mundial, en el país y en el estado así como la conveniencia de utilizar el agua subterránea mediante una explotación sustentable.

El tercer capítulo describe el sistema de un pozo radial, sus antecedentes históricos y las principales características del mismo, enumerando sus ventajas y limitaciones.

En el cuarto capítulo se enumeran los aspectos técnicos y la metodología seguida en el desarrollo de el proyecto ejecutivo para un pozo radial en Jalisco y su utilización con innovación al sistema utilizado en otros países.

En el capítulo quinto se muestra una cronología constructiva del proceso de la obra ejecutada en el pozo radial recientemente construido en el río Ameca, para ampliar la cobertura de agua potable a la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. El equipo utilizado en la perforación especializada de los drenes horizontales, las características del proyecto y los resultados obtenidos en su programación y aplicación de recursos. Este mismo capítulo trata sobre la necesaria instrumentación para la estabilidad de la estructuras principales de esta obra y su monitoreo programado para su conservación oportuna.

El capítulo seis se compara el aspecto económico entre este sistema y el de pozos convencionales, para un abastecimiento de agua potable a una población con demanda requerida de 500 l.p.s considerando inversiones iniciales y el costo de operación y mantenimiento en ambos sistemas.

En el capítulo séptimo se dan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron como consecuencias del desarrollo de esta tesis, recomendando una mayor investigación al respecto y el respeto al recurso agua cada día mas escaso y difícil de obtener.

## CAPÍTULO 2

# **EL AGUA EN LA NATURALEZA**

## 2.1.- DISPONIBILIDAD ACTUAL

Uno de los problemas más serios a los que se enfrenta el hombre a nivel mundial, es la disponibilidad de agua dulce para uso humano, tales como el abastecimiento de agua potable a poblaciones y su utilización para el uso industrial y agropecuario a costos razonables.

Algunos sociólogos afirman que en el siglo que acaba de iniciar, la posesión y el uso del recurso del agua dulce, motivará conflictos bélicos entre naciones.

Numerosas personas no se explican la razón del problema pues casi el 75% de la superficie de la tierra, esta cubierto por el agua, pero de esta cantidad de líquido, solamente el 3% del volumen de esa, es agua dulce y 2/3 partes de este porcentaje están en los glaciares y casquetes polares.

Se puede estimar que de esta agua, que continuamente se esta reciclando en la naturaleza, menos del 1% se encuentra razonablemente disponible en su explotación para fines de agua potable y otros usos.

Existen tecnologías para aumentar la disposición del agua, como la desalación del agua de mar, pero por ahora, los costos son muy elevados para aplicar este tipo de soluciones a la escala que se requiere, por otra parte las técnicas de explotación de acuíferos que generalmente se utilizan en numerosas naciones para extraer mayor cantidad de agua dulce demandada, usada posteriormente en la agricultura, propicia grandes pérdidas en su aplicación.

Se acentúa la preocupación por la escasa disponibilidad del recurso hídrico, si se toma en cuenta que durante el siglo que acaba de terminar, la demanda de este vital liquido, se incremento a más de el doble que el aumento de la población y en numerosas ocasiones esto se da en poblaciones donde la disponibilidad del agua es menor.

## 2.2.- LAS RESERVAS EXISTENTES DE AGUA A NIVEL MUNDIAL

*En "Más allá de los límites del crecimiento", estudio de Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows y Jorge Randers realizado para el Club de Roma (1991), revisado y publicado posteriormente, contiene un análisis detallado de los recursos mundiales del potencial de agua dulce la tecnología para su explotación y su relación con el medio ambiente. Limitaciones existentes para su explotación y las perspectivas sobre consecuencias de sus usos y su disponibilidad en el futuro.*

Acerca del agua dulce sobre los continentes, establece que se trata de un volumen enorme  $140,000 \text{ Km}^3$  anuales, para tener una idea de lo que significa esta cantidad de

agua, podemos apreciar que la capacidad normal del lago de Chapala anda del orden de  $8.2 \text{ Km}^3$ , menos de  $10 \text{ Km}^3$ , aunque a estas fechas solo almacena  $2 \text{ Km}^3$ .

Según este autor Meadows, el límite de la explotación del agua dulce parecería remoto, si se considera el consumo humano anual que es del orden de  $3,500 \text{ km}^3$ , sin embargo mucha de esta demanda es estacional y destaca que no existe forma económica de almacenar esa cantidad de agua, ya que cada año se escurren hacia el mar  $28,000 \text{ Km}^3$  en forma de torrentes incontrolables .

Derivado de lo anterior sólo  $12,000 \text{ Km}^3$  pueden ser contabilizados como disponibles pero recordemos que algunos ríos fluyen en zonas de escasa población, en especial en los trópicos y en las cercanías de los polos, por lo que se considera que los recursos del agua accesibles y estables representan sólo  $7,000 \text{ Km}^3$  anuales. *El conductor de este estudio estima que a fines del pasado siglo la capacidad de almacenamiento de agua, construida por el hombre, alcanzaba sólo  $3,000 \text{ Km}^3$  al año y según Meadows con esta capacidad instalada se tendría pequeño margen de operatividad pero con el agravante denunciado de que la contaminación del agua es tan grande como la cantidad usada para el consumo humano y además se presentan grandes desperdicios por evaporación en las presas de almacenamiento construidas. De este modo gran cantidad del agua disponible almacenada queda inutilizada y al encontrarse contaminada, se reduce más su operatividad.*

Dada la tendencia de crecimiento demográfico en el siglo XXI y su concentración en nuestras ciudades principales, medias e intermedias, la búsqueda de fuentes de agua dulce esta convertida en prioridad número 1 y el desarrollo de tecnología que facilite la obtención del mencionado elemento y que permita abatir costos, se convierte en un bien cada vez más preciado.

*□Hay que llevar agua a quien lo necesite y asegurar este vital líquido hasta el 2015□ fue manifestado en el foro mundial del agua , celebrado recientemente en Kyoto, Japón, en Marzo de 2003.*

## **2.3.- EL CICLO HIDROLÓGICO**

*Estos mismos autores Meadows (1991), exponen el ciclo hidrológico que es el foco central de la hidrología. El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. En la figura 2.1 se muestra en forma esquemática como el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie*

terrestre para volverse parte de la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o en los océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través de el suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos, a través de los cauces naturales. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolarse profundamente para recargar el agua subterránea, de donde emerge en manantiales o se desliza hacia los ríos para formar la escorrentía superficial y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa.

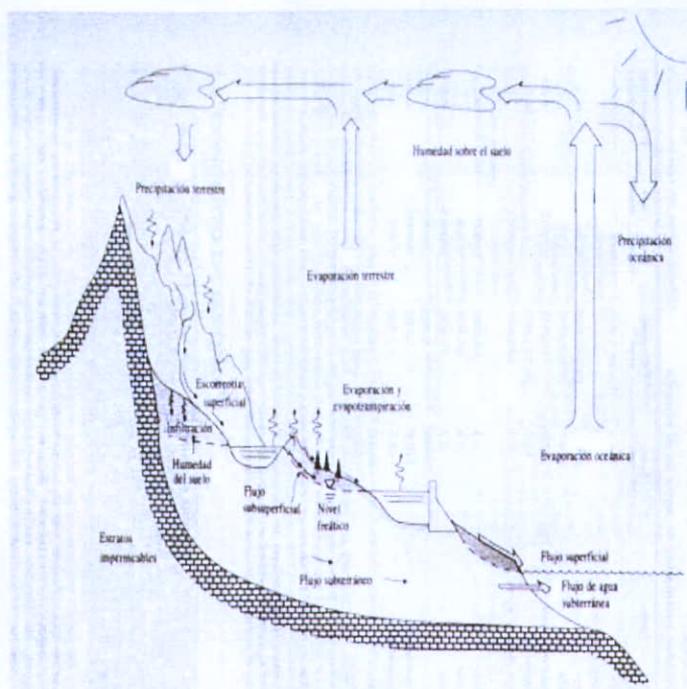


Figura 2.1.- El ciclo hidrológico con un balance de agua promedio global anual en unidades relativas a un valor de 100 para la tasa de precipitación terrestre

El cálculo de la cantidad total de agua en la tierra y en los numerosos procesos del ciclo hidrológico, ha sido tema de exploración científica desde la segunda mitad del siglo XIX. Sin embargo, la información cuantitativa es escasa, particularmente en los océanos, lo cual significa que las cantidades de agua en varios componentes del ciclo hidrológico global, todavía no se conocen en forma precisa.

La hidrología de una región esta determinada por sus patrones de clima tales como la topografía, la geología y la vegetación. A medida que la civilización progresa, las actividades humanas invaden gradualmente el medio ambiente natural del agua y alteran lamentablemente su equilibrio dinámico del ciclo hidrológico, dando lugar al inicio de nuevos procesos y eventos. En esta región se están sintiendo los efectos en el clima por la baja captación del lago de Chapala y la deforestación en la cuenca del mismo.

## 2.4.- LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

Sobre casi dos millones de Km<sup>2</sup> de superficie en la Republica Mexicana, se presenta una gran diversidad de climas que permite la evolución de ecosistemas diversos y han dado lugar a una de las más grandes biodiversidades del mundo. La precipitación anual promedio sobre México es de 780 mm y esa cantidad representa un volumen aproximado de 1,520 Km<sup>3</sup>, de los cuales la mayor parte se evapora y sólo un 27 % , 410 Km<sup>3</sup>, se escurre a través de las 314 cuencas localizadas en el país . De esta cantidad solamente un 3%, pasa al subsuelo a recargar los acuíferos.

*En un documento de Cecilia Tortajada , de la Comisión Nacional del Agua y de Asit K. Biswas del Instituto de Ingeniería de la UNAM (1990), que aparece en Internet, se encuentran las citadas cifras y se dice la disponibilidad de agua por habitante en México, tomando como base una población de 90 millones de habitantes, a los cuales corresponderían 5 mil 125 metros cúbicos anuales ( unos 14,000 litros diarios ), esto equivale a una dotación de 170 veces más de lo que se dispone en Arabia Saudita y 34 veces más que en Libia, y 15 veces superior a lo disponible en Israel. Sin embargo en E.U.A. tienen el doble que México y los canadienses 20 veces más.*

En este mismo artículo se encuentra que México usa 186.7 Km<sup>3</sup> de aguas superficiales y subterráneas y que de ese volumen destina para generación de energía eléctrica el 61%; para irrigación un 33% y sólo utiliza el 4.5% para el consumo humano; el 1.3 % para propósitos industriales.

En cuanto a su disponibilidad, el 80% de estos recursos en México, se encuentran entre 0 y 500 metros sobre el nivel del mar, mientras que la tercera parte de la población y el 66% de la actividad industrial, se localizan en sitios con mucho mayor altitud, lo que se transforma en una gran presión sobre los recursos acuíferos disponibles, en especial los que se utilizan en zonas agrícolas y de mayor concentración urbanística.

## 2.5.- LA DEMANDA Y USO DEL AGUA EN MÉXICO

Es importante observar que cerca del 49% del volumen total utilizado para el consumo humano, se destina para el abasto de las tres zonas metropolitanas más grandes en el país: la Cd. de México, Guadalajara y Monterrey e importantes cantidades de agua son consumidas por las poblaciones de Tijuana, Mexicali, Cd. Juárez y Matamoros.

Teóricamente la mayor parte del agua usada debería regresar a su cauce original, para su reutilización, pero no sucede así, sólo en el caso de la utilizada para generación hidroeléctrica, pero en el resto de los usos, se manifiestan pérdidas considerables y en otros se cambia de cuencas, como sucede con los 10 m<sup>3</sup>/s que se extraen de la cuenca del río Lerma para la Cd. de México. En general se estima que en la República, 53 mil millones de m<sup>3</sup> no son regresados a los cursos de los ríos; siendo un 88% proveniente del sector agrícola, 6% del sector industrial y 5 % de las comunidades urbanas.

## 2.6.- LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN MÉXICO

*En el documento de Cecilia Tortajada y Biswas (1990), se expone que la cantidad de aguas de desecho que se generan y que presentan un grado variable de contaminación, alcanzan 20 mil millones de m<sup>3</sup> anuales.*

De éstas, corresponde un 62% a la irrigación, por los agroquímicos que van a los ríos o son infiltradas a los acuíferos. Un 28.7% lo constituyen las descargas municipales, contaminando con residuos orgánicos y bacteriológicos. La industria contribuye con el 10.3% principalmente con materia orgánica, metales pesados y otras substancias tóxicas. Señala también el citado documento, que en 218 cuencas que representan el 78% del país se tiene el 93% de los asentamientos humanos y el 80% de las áreas de cultivo irrigadas. De éstas, la mayor contaminación se establece en 15 cuencas y sólo 4 de ellas ( Lerma, Panuco, San Juan y el Balsas ) reciben el 50% de las descargas generadas por desecho. La cuenca del Lerma es la más contaminada de nuestra República y la tercera con mayores problemas a nivel mundial, por lo que resulta imperativo mejorar y modernizar los sistemas de riego.

## 2.7.- LA IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En la tabla 1 se encuentran las cantidades estimadas de agua en las diferentes formas que existen en la tierra. En esta , podemos observar que cerca del 96.5 % del agua en el planeta se encuentra en los océanos y solamente el 1.7 % se localiza en el agua subterránea, de la cual el 0.76 % esta constituido por agua dulce y el 0.93 % es agua salada.

**Tabla No.1.- Cantidades estimadas de agua en el mundo.**

| Item                      | Area<br>(10 <sup>6</sup> Km <sup>2</sup> ) | Volumen<br>(km <sup>3</sup> ) | Porcentaje<br>de agua total | Porcentaje<br>agua dulce |
|---------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Océanos                   | 361.3                                      | 1,338,000,000                 | 96.5                        |                          |
| Agua subterránea          |  |                               |                             |                          |
| Dulce                     | 134.8                                      | 10,530,000                    | 0.76                        | 30.1                     |
| Salada                    | 134.8                                      | 12,870,000                    | 0.93                        |                          |
| Humedad del suelo         | 82.0                                       | 16,500                        | 0.0012                      | 0.05                     |
| Hielo polar               | 16.0                                       | 24,023,500                    | 1.7                         | 68.6                     |
| Hielo no polar y<br>nieve | 0.3  | 340,600                       | 0.025                       | 1.0                      |
| Lagos                     | 1.2  | 91,000                        | 0.007                       | 0.26                     |
| Dulces                    | 0.8  | 85,400                        | 0.006                       |                          |
| Salinos                   | 2.7  | 11,470                        | 0.0008                      | 0.03                     |
| Pantanos                  | 148.8                                      | 2,120                         | 0.0002                      | 0.006                    |
| Rios                      | 510.0                                      | 1,120                         | 0.0001                      | 0.003                    |
| Agua biológica            | 510.0                                      | 12,900                        | 0.001                       | 0.04                     |
| Agua atmosferica          | 510.0                                      | 1,385,984,610                 | 100                         |                          |
| Agua total                | 148.8                                      | 35,029,210                    | 2.5                         | 100                      |
| Agua dulce                |  |                               |                             |                          |

Sin embargo , del 100 % del agua dulce ubicamos que un 30.1 % esta disponible en aguas subterráneas , contra un 0.26 % existente en los cuerpos superficiales como los lagos.

A pesar de que el contenido de agua en los sistemas de agua superficiales y subterráneos, así como los atmosféricos es relativamente pequeño, inmensas cantidades de agua pasan anualmente a través de ellos.

*En el libro de texto de Hidrología Aplicada de Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W. Mays (2000), nos exponen claramente que el nivel del agua subterránea es posible determinarlo, utilizando el método de pozos de exploración los cuales tienen mecanismos a base de*

*flotadores de tal manera que cualquier movimiento vertical del agua en el pozo, se transmite por medio de un sistema de poleas al lugar de su registro en la superficie. Algunos aparatos bajan al pozo una sonda conectada a un cable para determinar el nivel del agua que puede ser utilizada para obtener mediciones instantáneas.*

La velocidad del flujo de la corriente subterránea también es factible determinarla por medio de trazadores, incluyendo la sal común. Una cierta cantidad del trazador se introduce en un pozo aguas arriba y luego se registra el tiempo necesario para que un pulso del trazador sea registrado alcanzando a detectarse en un cierto lugar aguas abajo.

Estas medidas son también utilizadas para determinar la cantidad de dispersión de contaminantes introducidos en el agua subterránea.

*La División Ranney de Layne Christensen Company (1990), en E.U.A., en sus experiencias como constructor de sistemas de agua potable en diversas municipalidades norteamericanas, muestra la ventaja de utilizar el agua subterránea sobre el bombeo directo de ríos y/o lagos, ya que las autoridades actuales de la planeación municipal, así como los organismos de salubridad, están previniendo riesgos para la salud al no ser eficientemente tratadas las aguas tomadas en forma directa de los cuerpos de agua en ríos y lagos, por detectarse organismos microscópicos abundantes en estas aguas superficiales como cryptosporidium y giardias difíciles de eliminar. A menudo es requerido adicionar un tratamiento químico caro a estos sistemas para lograr eficientar la remoción de estos patógenos en el suministro de agua potable municipal.*

## CAPÍTULO 3

# **SISTEMA DEL POZO RADIAL**

### 3.1.- ANTECEDENTES HISTORICOS Y CARACTERÍSTICAS DEL POZO RADIAL

Aun cuando los pozos de agua con sistema de drenes horizontales aparecen en la literatura tecnológica desde fechas tan lejanas como el año 1740, le corresponde al ingeniero de origen inglés, Leo Ranney, (año de 1933), el desarrollo de el pozo radial, que con algunas diferencias en los cedazos utilizados y en el método de hincado o barrenado de los drenes, se continúan utilizando en estos sistemas actualmente.

*El primer pozo radial de esta clase lo construyó el mismo ingeniero Ranney, basado en su experiencia de pozos petroleros y al existir una crisis en el mercado petrolero incursiona en Londres, Inglaterra, en la explotación de acuíferos para paliar una aguda escasez de agua potable en la ciudad utilizando la tecnología de perforaciones horizontales, logrando captar con los drenes alrededor del pozo, los escurrimientos del acuífero circundante. Este primer pozo construido en 1933, continua trabajando hoy con el mismo gasto del aforo con que fue iniciada su explotación del orden de 105 l.p.s. Leo Ranney continuó desarrollando otros sistemas, en acuíferos en el Estado de Texas y en el de Ohio, E.U.A., con ahorros substanciales en su aprovechamiento.*

En las figuras 3.1, 3.2 y 3.3, se aprecian diferentes esquemas de aprovechamientos del sistema del pozo radial y sus características principales.

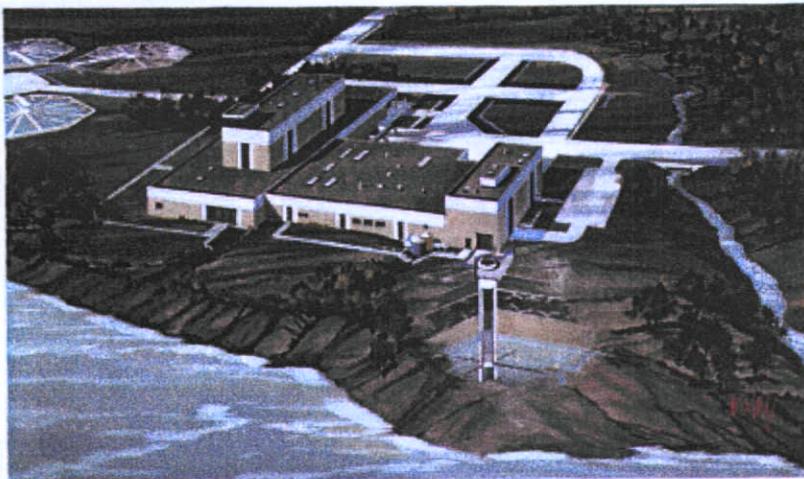


Figura 3.1.- Esquema de aprovechamiento de un pozo radial

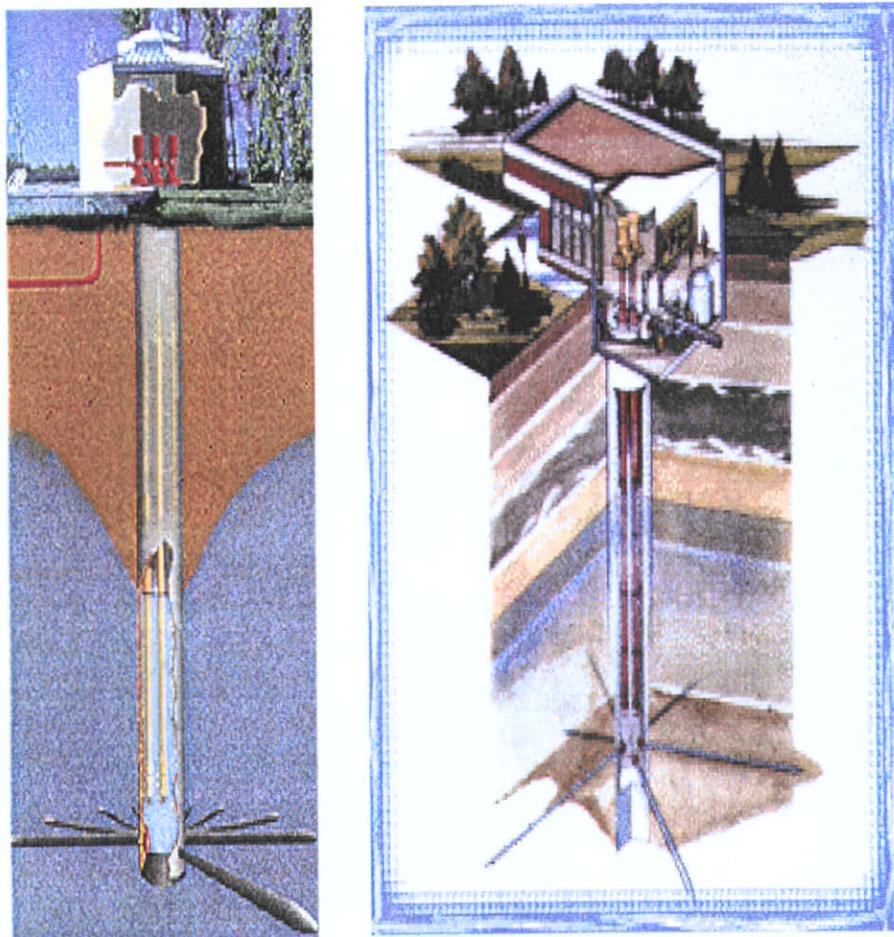


Figura 3.2.- Instalación de un pozo radial y su impacto en el entorno

En la figura 3.2.- se muestra la aplicación del sistema radial tipo Ranney en acuíferos potenciales con fines de usos urbano. Se observa la caseta de bombas para su operación con impacto visual sin afectación al entorno del medio ambiente.

## **3.2.- EXPERIENCIAS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS EN EL EXTRANJERO**

Apoyados en este sistema, algunas empresas norteamericanas y canadienses han desarrollado y perfeccionado técnicas para instalaciones diversas, que permiten ejemplificar las ventajas del uso de estos métodos .

Una de estas empresas es Layne Christensen Company, Ranney Division de Sunbury Ohio, E.U.A., quien nos describe algunas instalaciones típicas que han venido desarrollando con variantes en su optimización :

- 3.2.1.- Galerías de infiltración tipo Ranney.
- 3.2.2.- Colectores radiales en sistemas Ranney.
- 3.2.3.- Tomas directas por gravedad en cuerpos de agua cruda.
- 3.2.4.- Unidades para recarga de acuíferos tipo Ranney.

La descripción de estos sistemas y los croquis de su funcionamiento aparecen en las figuras 3.3 y 3.4 en las cuales se muestra el aprovechamiento de diferentes fuentes de acuíferos disponibles.

En todos estos diseños, con variantes sólo en las fuentes de captación, se conservan los principios de diseño que caracterizan el sistema de pozo radial en sus aspectos fundamentales. Estos principios consisten en el aprovechamiento de la geometría del cilindro vertical al fondo del cual, se instalan tubos horizontales perforados que interceptan y colectan el agua subterránea derivada de la filtración del agua superficial . Los colectores se instalan por lo general en depósitos de grava-arena contiguos e hidráulicamente conectados a corrientes y depósitos superficiales como son los ríos y lagos.

Algunos ejemplos de diseños para explotaciones son los siguientes:

Figura 3.3.- Galerías de infiltración en acuíferos de grava – arena tipo Ranney con drenes colectores en forma radial.

Figura 3.4.- Extracción en cuerpos de agua con tomas directas por gravedad, tipo Ranney.

Ver figuras 3.3 y 3.4. que a continuación se muestran.

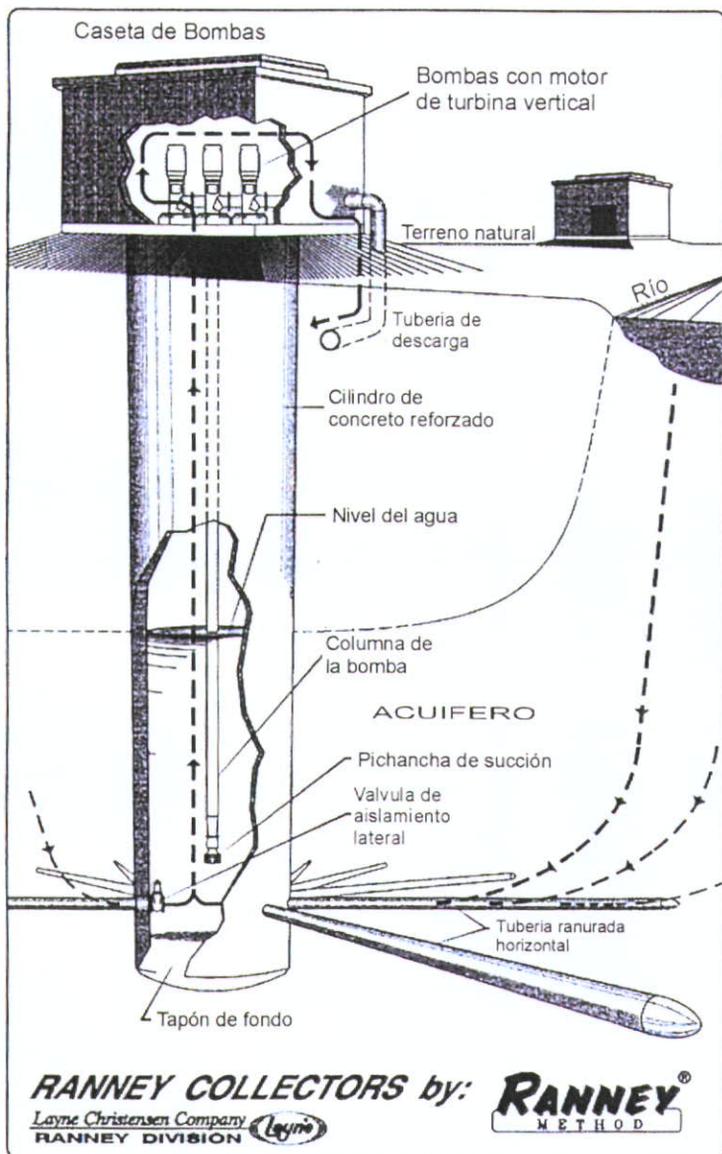
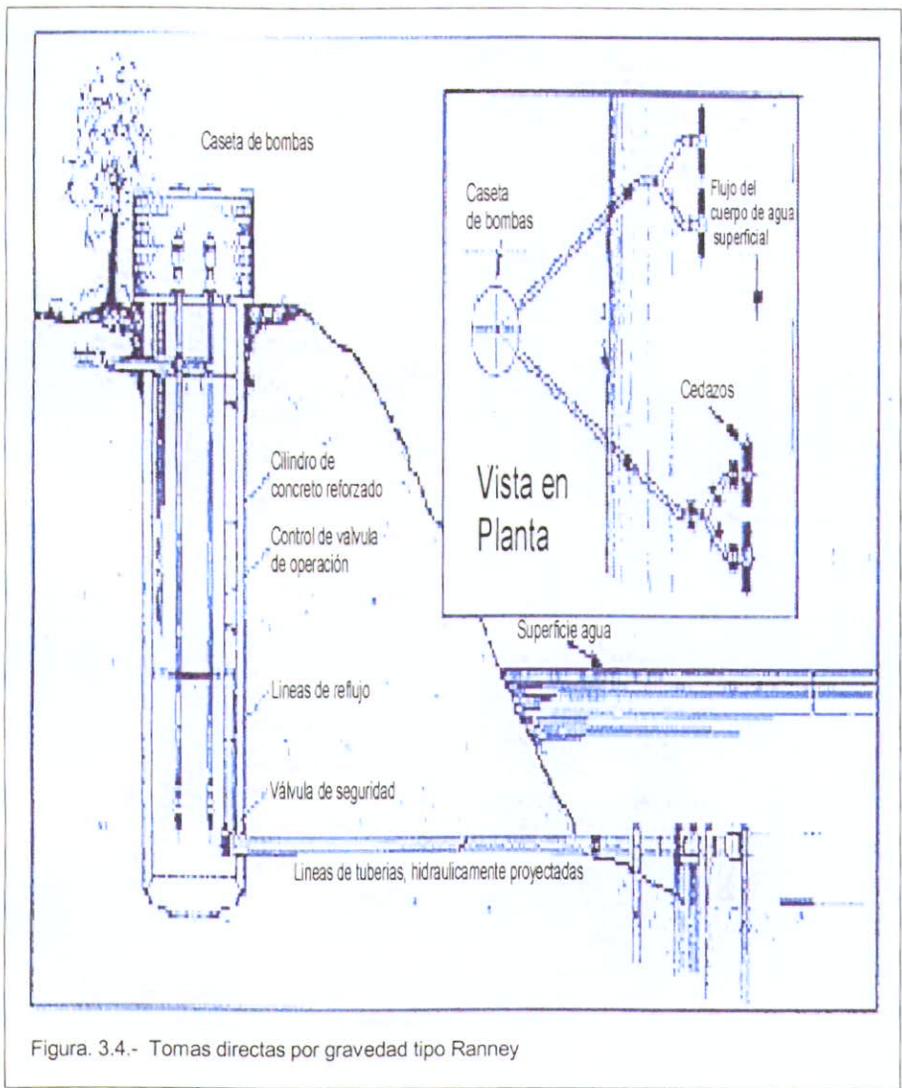


Fig. 3.3.- Galerías de Infiltración tipo Ranney y diseño de colectores radiales



### 3.3.- ETAPAS CONSTRUCTIVAS DE UN POZO RADIAL

El sistema de pozo radial y colector tipo "Fehlmann", consiste en un cilindro de concreto hincado en el acuífero rodeado de un manto de materiales de alta permeabilidad. Drenes horizontales radiales construidos en el fondo del cilindro, permiten coleccionar el agua captada la cual es bombeada a la superficie del terreno natural. La mayoría de estas aplicaciones se hacen para la dotación de agua potable, donde se requiere de una gran capacidad de agua dulce potable para las áreas urbanas y son muy apropiados particularmente para acuíferos de poca profundidad. Las bajas velocidades de entrada producen un efecto desarenador que evita el azolve en el cilindro y la operación individual en cada uno de los diferentes drenes, permite lograr el desempeño del sistema con muy bajo costo de energía en su operación y mantenimiento, dadas las condiciones de competitividad con otros sistemas.

*Las etapas fueron diseñadas por la empresa Fehlmann, Radial Collectors, de Reynolds, Inc. en Indianápolis, In., E.U.A., quienes transmiten las ventajas del sistema radial, así como los procedimientos constructivos necesarios en estos procesos. La figura siguiente muestra las fases para su seguimiento.*

Fase 1.- Hincado del cilindro

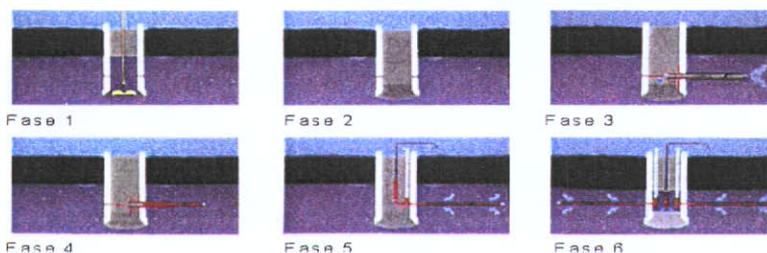
Fase 2.- Preparación del tapón de fondo del cilindro para su sello.

Fase 3.- Barrenación de los drenes horizontales .

Fase 4.- Colocación de la tubería ranurada en la de barrenación.

Fase 5.- Desarrollo del sistema de drenado.

Fase 6.- Instalación de tuberías y bombas para la operación del sistema.



3.5.- Etapas constructivas de un pozo radial tipo Reynolds, en sus diferentes fases constructivas.

A continuación se describen con mayor detalle cada una de las fases mencionadas anteriormente.

### 3.3.1.- Hincado del cilindro

Una vez colado el primer anillo del cilindro (por lo general 2 m. de altura) sobre una cuchilla guía de perfiles de acero, como se ilustra en la figura, se da inicio al proceso de hincado, por peso propio. Una vez desalojado el centro de la excavación, se desliza el cuerpo sobre las paredes de la excavación en el suelo del acuífero hasta encontrar el manto rocoso y/o material impermeable (arcillas).

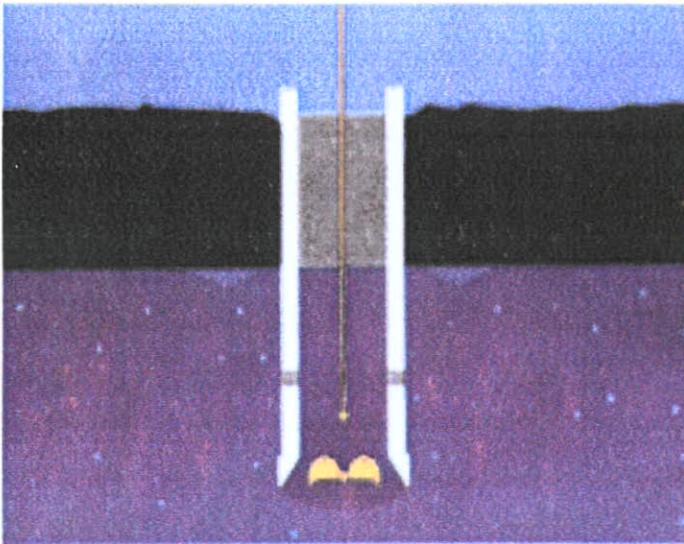


Fig. 3.6.- Proceso de hincado del cilindro

Previamente a los colados de los anillos se sitúan los puertos, ventanas diseñadas para alojar las compuertas a diferentes alturas en las paredes de concreto, donde confluyen posteriormente los drenes radiales horizontales con las tuberías ranuradas de acero inoxidable o de plástico rígido controladas con sus válvulas de control para su operación independiente.

### 3.3.2.- Preparación del tapón de fondo del cilindro para su sello.

Terminado el proceso de hincado del cilindro, se desaloja el material del centro del mismo, se bombean lodos y se inicia el sellado del tapón de fondo del cajón, colando el concreto diseñado en presencia de agua, hasta las paredes del cilindro para formar el piso impermeable del pozo y evitar siga penetrando agua y materiales al mismo.

Una vez colocado el tapón de concreto, se bombea el agua y excedentes de materiales y se procede a instalar la plataforma metálica, apoyada en las paredes del cilindro para instalar el mecanismo que se utilizará para apoyar los gatos hidráulicos necesarios en el proceso de barrenación e hincado de tuberías ranuradas en el manto freático, hasta su longitud de diseño y constituir los drenes radiales que alimentaran el cajón receptor. (carcamo)

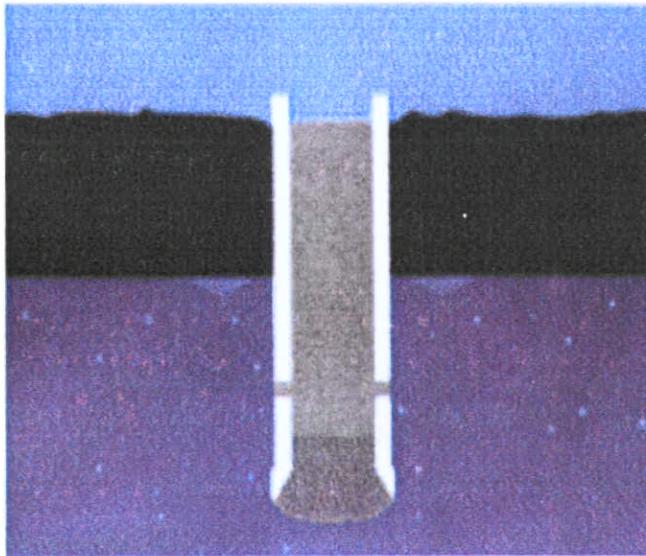


Fig. 3.7.- Preparación de tapón de fondo del cilindro

En esta plataforma de trabajo se instalan además las bombas de achique, personal de operación, la herramienta y el equipo menor que será utilizado por los operadores para verificar el diseño de la tubería ranurada (cedazos), la toma de muestras de las gravas y arenas para verificar granulometrías y la instalación de las compuertas de operación de los drenes radiales para su manejo individual.

### 3.3.3.- Barrenación de los drenes horizontales.

En la plataforma de operación con los gatos hidráulicos instalados, se identifica el sitio previsto para iniciar la barrenación de los drenes, utilizándose taladros apropiados para el material detectado en los sondeos y se inicia la perforación y el ademado con un escudo drenante en su punta.

Se ejecuta la excavación hasta la longitud prevista o bien hasta donde el material lo permite, ya que al encontrarse bolsas de arcilla no detectadas ocasionaría taponamientos en los conductos drenantes, y es preferible detener la excavación.

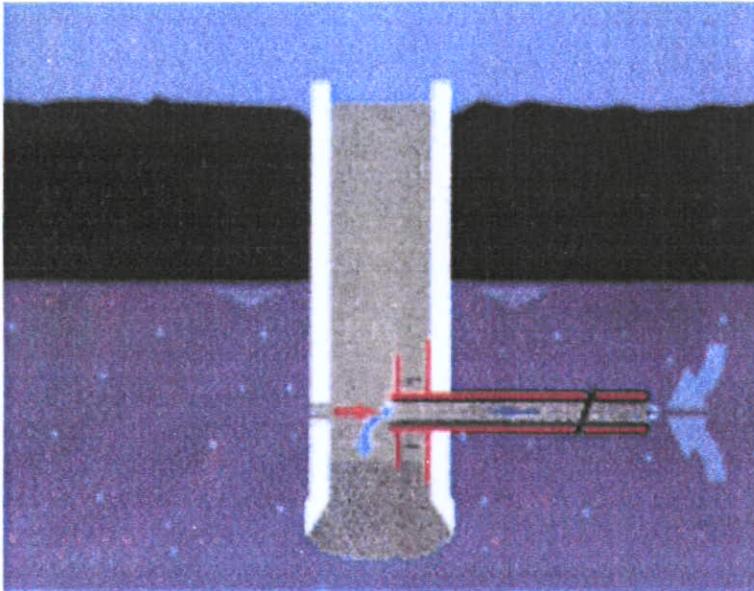


Fig. 3.8.- Barrenación de drenes horizontales

Una vez hecho el hueco en el material de aluvión, se retira el escudo, para introducir la tubería ranurada de acero inoxidable por lo general de 8" de diámetro para captar el agua filtrando arenas y gravas no deseadas por las ranuras diseñadas de acuerdo a la granulometría del suelo encontrada.

Por último se instalan los marcos de las compuertas con sus válvulas de control, para abrir y cerrar en forma independiente la entrada de flujo de agua al cajón colector (cárcamo)

### 3.3.4.- Colocación de tubería ranurada en la barrenación.

En la instalación definitiva de tuberías ranuradas (Plástico rígido o de acero inoxidable), se procurará cuidar el ángulo de penetración y respetar al proyecto en el diseño de su longitud y direccionamiento para lograr capturar el gasto esperado en el manto permeable del acuífero circundante.

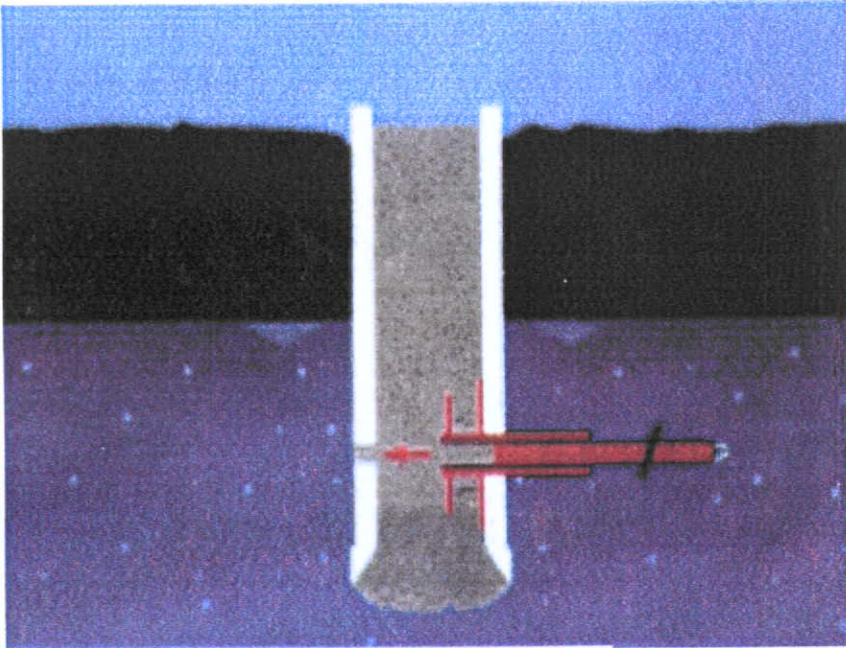


Fig. 3.9.- Tubería ranurada en barrenación

En ocasiones se requiere un retrolavado en su posición, para sacudir las gravas y arenas en su alrededor y asegurar la permeabilidad del acuífero potencial.

En las válvulas de control, es necesario asegurar su asentamiento, empaques y libertad de operatividad de las mismas, para una operación eficiente con los mecanismos de control eléctrico, operados desde la caseta de bombas instalada en la parte superior del cilindro.

### 3.3.5.- Desarrollo del sistema de drenado

Esto se logra a través de la conexión eventual de una bomba de alta capacidad directamente a la válvula de control del dren horizontal, permitiendo producirse altas velocidades a la entrada de los cedazos lo cual origina un efecto desarenador deseado para la limpieza del sistema.

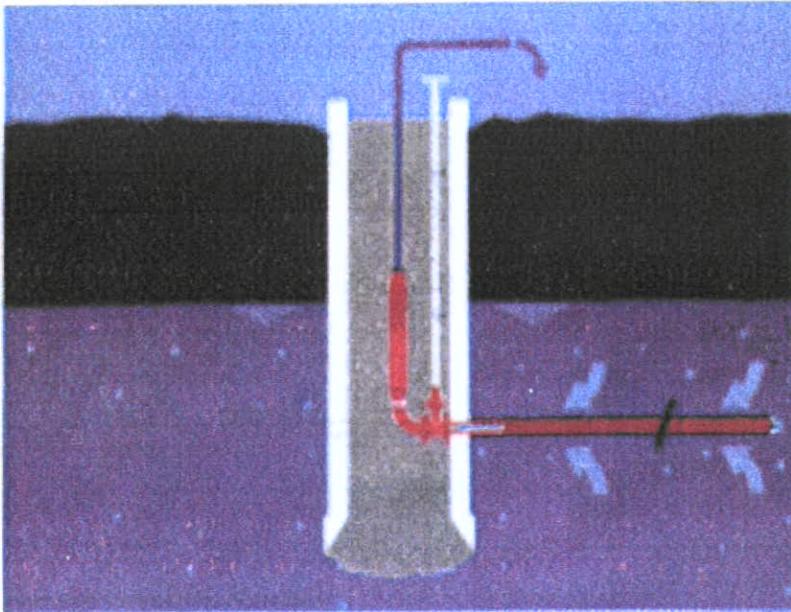


Fig. 3.10.- Sistema de drenado

Este procedimiento se desarrolla en forma alternativa al inicio del bombeo de pruebas de cada uno de los drenes, hasta ser probado y establecido el proceso en forma definitiva.

Con este bombeo, se pretende asegurar el drenado eficiente en los colectores radiales, evitando incrustaciones de boleos con sobretamaños en los cedazos, que originen taponamientos en los orificios.

### 3.3.6.- Instalación de tuberías y bombas para la operación del sistema.

Estas son instaladas en forma definitiva, en base a los diferentes tipos de bombas diseñadas (sumergibles o de cabezal), en el espacio de la caseta de control en la tapa superior del cilindro, de acuerdo al proyecto ejecutivo.

A menudo son instaladas varias bombas para prevenir su operación continua y mantenimiento. Se aconseja, la existencia de una bomba de emergencia, la cual opera sólo en casos de reparación de las otras

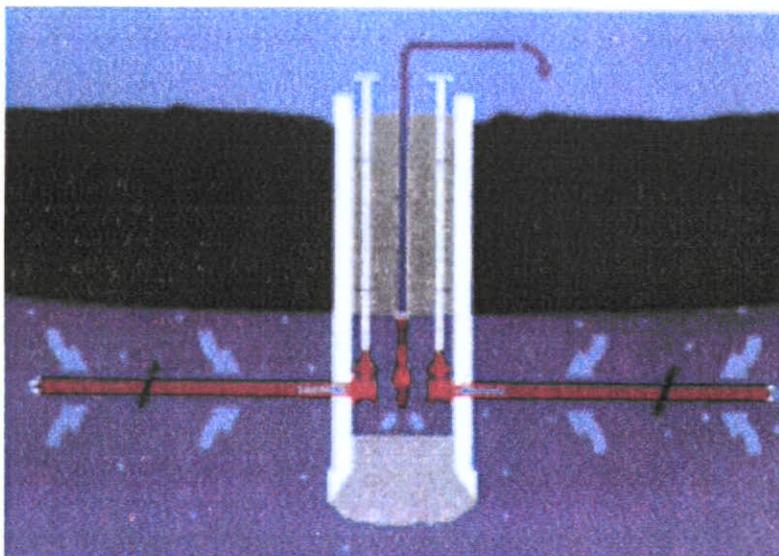


Fig. 3.11.- Instalación de tuberías y bombas para operar el sistema

Se recomiendan tableros de control automatizados, para la operación de los equipos desde tierra firme, a fin de no depender de la operación manual en las crecientes de las avenidas del río, que afecten los accesos del personal y prever el establecimiento de un puente peatonal que permita la comunicación permanente entre la margen correspondiente arriba del NAME y la caseta de controles del equipo de bombas.

### 3.4.- VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL POZO RADIAL

De acuerdo al Estudio de exploración geohidrológica para el pozo radial en Puerto Vallarta, Jal. realizado por Asesores en Cimentaciones en 1968, para C.N.A. se definen las siguientes:

#### 3.4.1.- Ventajas

##### a) Hidráulicas

Permite explotar amplio volumen de los acuíferos en mantos freáticos someros, a partir de un pozo central colector.

La extracción sobre gravas naturales y arenas en grandes cantidades alrededor de los drenes los convierte en perfectas galerías filtrantes con filtro granular de tamaño muy bien graduado y eficiente. Eso permite una larga vida en este tipo de captaciones con agua totalmente clara y sin problemas de colmatación en los cedazos. Los gastos con que se diseñan actualmente estos pozos radiales son por lo general superiores a 400 litros por segundo, lo cual permite sustituir a varios pozos del tipo convencional lográndose importantes economías en la extracción y operación del sistema para suministro de agua dulce.

La velocidad en la entrada de agua a los drenes, es sumamente baja y por consecuencia su capacidad de arrastre es prácticamente nula y el hecho de ubicar los drenes horizontales en la parte más baja del acuífero, le permite usar hasta el máximo el potencial de éste, pues la capacidad de filtración no queda limitada por el potencial de la capa productora.

Las fluctuaciones del nivel estático en el manto freático no le afectan tanto en el rendimiento de su eficiencia, como en el caso de los pozos convencionales.

##### b) Operacionales

Regulación del caudal en cada colector y posibilidad de aislarlo sin que sea necesario detener la operación del resto de la instalación.

Cerrando todas las válvulas es posible el vaciado total del pozo para el mantenimiento y conservación de colectores y válvulas.

Al estar concentrada la explotación en un solo punto se facilita la automatización del sistema.

El pago de salarios de operación del sistema se reduce sustancialmente (poceros, fontaneros, electricistas, etc.)

Al operar el sistema con equipo electromecánico consiste en pocas bombas de alta capacidad en lugar de muchas de baja, se logra una mayor eficiencia electromecánica y menor costo de energía y mantenimiento.

Como los drenes permanecen permanentemente sumergidos, los fenómenos de corrosión e incrustación que actúan preferentemente sobre las zonas alternativamente secas y húmedas, se atenúan notablemente al compararlos con los que ocurren en los pozos convencionales.

#### c) Sanitarias

Revestimiento impermeable del pozo indio que protege al agua de contaminación exterior.

La porción de captación del pozo siempre permanece aislada de la superficie lo que también constituye una garantía contra la contaminación exterior.

### **3.4.2.- Limitaciones**

- a) La inversión inicial limita este tipo de obras a explotaciones de grandes volúmenes excepto cuando el valor agregado de la explotación hidráulica es alto.
- b) La posibilidad de operación eficiente de estas obras requiere en términos generales, de un acuífero menos profundo (aunque ya se han construido pozos radiales de hasta 70 m de profundidad) con una recarga abundante a partir de un cuerpo de aguas superficiales (río o lago).
- c) La ejecución del hincado de los drenes y su posterior desarrollo, limitan los pozos radiales a acuíferos granulares poco compactos de granulometría variable entre el tamaño de arena y las gravas finas.
- d) La mayor inversión que acompaña a este tipo de obras, obliga a la realización previa de estudios de detalle para evaluar la bondad de la localización y proceder al proyecto ejecutivo.

La construcción requiere de un alto grado de especialización y calidad.

### **3.5.- EXPERIENCIAS EN MÉXICO**

En México existen solamente experiencias en el Estado de Guerrero, donde fueron construidos 2 pozos radiales sobre el río Papagayo con fines de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Acapulco, Gro. Actualmente continúan operando después de 10 años de construidos con un gasto de extracción de 500 l.p.s.

En Jalisco se analizó y evaluó en 1999, la posibilidad de construir otro pozo radial en la confluencia de los ríos Mascota y Ameca en las inmediaciones de Puerto Vallarta, Jal. a fin de complementar los servicios de agua potable a esta ciudad y evitar la dependencia de 28 pozos profundos afectados periódicamente por intrusión salina que afectarían a

futuro próximo la cobertura en el crecimiento demográfico de la población en el suministro eficiente de agua potable.

### **3.6.- AREAS POTENCIALES PARA EXPLOTACIÓN SUSTENTABLE EN JALISCO**

Existen otros sitios de interés para este tipo de pozos y son probables en el Estado de Jalisco para explotación sustentable de acuíferos con estructuras tipo pozo Ranney y/o radial.

Con base en el estudio realizado de imágenes multiespectaculares de satélite y métodos geotécnicos con fines de detección de las megaestructuras geológicas susceptibles de contener agua subterránea, en 2000 en zonas del Estado de Jalisco para el Instituto de Información Territorial por el Ing. Jacinto A. Meritano, se cuenta a nivel macro con información de los siguientes temas:

- Correlación de cuencas
- Geología ambiental
- Geología formativa

Estos datos permitirán visualizar las regiones factibles de una explotación sustentable en los acuíferos existentes entre los cuales destacan los siguientes.

#### **1.- Cuenca media y alta de los ríos Ameca y Mascota en las regiones Tala – Teuchitlán – Ahualulco – Etzatlán – Magdalena y Cocula – San Miguel Hidalgo – Ameca.**

Esta región con tectónica y geología apropiada, contiene grandes posibilidades de extracción de acuíferos de primera importancia para cubrir sus necesidades urbanas y con potencial de utilizar excedentes para la zona metropolitana de Guadalajara y la factibilidad de explotar algunos puntos con estructuras de pozos tipo radial, para lo cual es necesario la medición de los mismos.

#### **2.- Delta de los ríos Tomatlán, Cuitzmala y Purificación**

A reserva de cuantificar y medir el potencial verdadero, con mayores estudios especializados como sondeos geohidrológicos, estas áreas tienen una factibilidad importante para detonar el desarrollo urbano, turístico, agroindustrial y pesquero de esta rica región.

#### **3.- Confluencia del río Juchipila con el río Santiago.**

Esta área, se considera con un gran potencial para ser explotada sustentablemente, mediante la construcción de pozos de tipo radial, para lo cual es necesario analizar la ventaja de obtener la utilización de las aguas semi subterráneas existentes en su cauce

para uso en abastecimiento parcial de agua potable a la Ciudad de Guadalajara, aun con la necesidad de bombear a una altura aproximada de 600 metros.

Se advierte que tiene mucha importancia por la saturación del conglomerado basal, cerca de zonas con riolitas fracturadas. Se observan manantiales y saturación de agua en la zona de su confluencia con el río Santiago. Se requieren sondeos geohidrológicos y caracterización del agua.

#### 4.- Área de las cuencas cerradas de Zapotlán, Sayula, Zacoalco Villa Corona y Catarina.

También existen condiciones de recarga de acuíferos importantes producto de conglomerado adyacente, que es necesario cuantificar con sondeos para definir espesor de salinidad y posibilidad de explotación. En la zona de Villa Corona, es factible evaluar la saturación existente en el abanico aluvial del valle, requiriéndose la caracterización del agua.

#### 5.- Cuenca río Verde. Sub cuenca Calderón

Existen dos fallas geológicas, una con orientación E - W (Zapotlanejo) y otra E - W (Presa Calderón), que permiten detectar zonas de saturación, a cuantificar y caracterizar con sondeos, para determinar espesores del manto acuífero en el inicio y salida de las fallas.

#### 6.- Cuenca Baja del río Tuxpan-Tamazula

Para conocer la impermeabilidad y/o saturación del paquete aluvial y el basamiento granítico se requieren sondeos geohidrológicos en la cercanía de Tamazula de Gordiano con fines de investigación tectónica y aportes del conglomerado granítico.

En estos sitios, el Gobierno del Estado de Jalisco a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y del Instituto de Información Territorial, están tratando de formar una carta de geología regional que permita integrar la información cartográfica existente de los geosistemas litológicos y de geología estructural de las zonas con posibilidades en el Estado de aprovechamiento de acuíferos con potencial en sus recargas, según el marco teórico de rasgos geomorfológicos asociados.

## CAPÍTULO 4

# **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO POZO RADIAL EN JALISCO**

## 4.1.- ANTECEDENTES

En la Ciudad de Puerto Vallarta, Jal., importante centro turístico de la costa del Pacífico se cuenta actualmente con una población del orden de 150,000 habitantes que en temporadas de gran afluencia turística crece considerablemente hasta 250,000 habitantes.

De acuerdo con información disponible en el Sistema de agua potable y alcantarillado de Puerto Vallarta contenida en los Estudios, diseños, hincado y control del proceso en la ejecución del pozo radial realizados en 1999, la dotación de agua potable proviene de pozos convencionales localizados como sigue:

200 l.p.s. de la cuenca del río Cuale  
250 l.p.s. de la zona plana cercana al aeropuerto  
500 l.p.s. de la cuenca del río Pitillal.  
950 l.p.s. suma total.

En la misma información se observa que la facturación es del orden de 600 l.p.s. o sea el 67% del volumen medido y se ha detectado que unos 150 l.p.s. (16%) son aprovechados en tomas clandestinas, lo que implicaría que unos 200 l.p.s. (21%) constituyen las pérdidas en conducción. En caso de que el organismo operador logre evitar las tomas clandestinas, lograría una operación muy eficiente dentro del entorno nacional al incrementarse al 80% su facturación.

### Aprovechamiento actual en la cuenca del río Cuale

Las captaciones de la cuenca del río Cuale consisten en galerías filtrantes y algún pozo profundo, que surten directamente del aluvión del río y en consecuencia no presentan problema de ningún tipo. El río Cuale, drena una cuenca de unos 280 km<sup>2</sup>, lo que considerando una precipitación media anual de 1,450 mm y un coeficiente de escurrimiento del orden del 40% dado lo abrupto de la topografía y lo impermeable de las rocas de la sierra (ignimbritas y otras rocas ígneas ácidas), implica en números muy gruesos un volumen anual del orden de 160,000,000 m<sup>3</sup>/año (5 m<sup>3</sup>/seg), de los cuales se están aprovechando unos 6,300,000 m<sup>3</sup>/año (0.2 m<sup>3</sup>/seg). Lo anterior señala la posibilidad de incrementar las galerías filtrantes en la zona donde el río sale de la sierra.

### Zona plana cercana al aeropuerto

Los pozos de la zona cercana al aeropuerto presentan problemas de calidad del agua pues contienen Hierro y Manganeso (Fe y Mn) en cantidades altas, esta condición se da también en pozos de otras zonas del abastecimiento y es frecuente en aguas subterráneas provenientes de rocas ígneas y de zonas lagunares, condiciones ambas de esta zona. Tanto el hierro como el manganeso son dos elementos de fácil tratamiento por simple aireación, y dado lo frecuentemente que aparecen en la zona, se debería

pensar en la necesidad de construir tanques o torres de aireación de diferentes dimensiones según los casos particulares, con objeto de rehusar pozos ya abandonados por esta circunstancia.

### **Aprovechamiento actual en la cuenca del río Pitillal**

Dada su importancia dentro del suministro y los problemas que presenta, merece un tratamiento por separado:

El río Pitillal drena una cuenca de unos 407 km<sup>2</sup> de características similares a las descritas en el río Cuale, considerando la misma precipitación media anual y similar coeficiente de escurrimiento resultan 233,000,000 m<sup>3</sup>/año o lo que es lo mismo 7.4 m<sup>3</sup>/s. En tiempo de lluvias aporta un gran volumen de agua que en el estiaje se reduce a unos 200 o 300 l.p.s. (cantidad estimada, no aforada), que al dejar la sierra y entrar a la zona plana en el poblado de Playa Grande, a unos 5 km de la costa, se infiltra en los rellenos de arenas y gravas recargando el acuífero del Pitillal. En él se han perforado 14 pozos de los que hasta el momento se han sacado de operación 9, 2 por rebasar los límites de Fe y Mn y 7 por haberse salado progresivamente a causa de la intrusión marina. Por el momento no es posible establecer si este acuífero está sobre explotado, pero lo que se sabe es que ya se ha presentado el fenómeno de la intrusión marina, lo que no necesariamente implica sobreexplotación y que en particular en el caso de Pto. Vallarta, se cree que más bien se debe a un proyecto inadecuado de los pozos y a una explotación también inadecuada.

La mayoría de los pozos del Pitillal y en general de toda el área, se han perforado a 100 m de profundidad lo que en principio resulta excesivo para pozos costeros, pero además se han explotado a su máxima capacidad hidráulica sin importar el abatimiento que esto provoque y la consecuencia ha sido que al aliviar carga en forma puntual se ha provocado el ascenso también puntual, de la interfase salina con lo que el pozo empieza a salarse de abajo hacia arriba y paulatinamente hasta su abandono. El problema no se soluciona con solo suspender la explotación pues dependiendo de cuanto tiempo se haya mantenido el bombeo de agua con sal, el acuífero puede quedar contaminado con este elemento y su regeneración sólo se logra a largo plazo mediante lavado natural o más rápidamente con lavado a base de agua inyectada en el mismo pozo.

Se puede concluir que en caso de persistir con las mismas políticas de extracción, el acuífero del Pitillal está condenado a su extinción próxima. En realidad se desconoce la conformación a profundidad de la roca basal y de su contacto con el relleno, situación que quizás podría explicar actitudes particulares del comportamiento de unos pozos a diferencia de otros, pero en términos generales se sugiere buscar nuevas alternativas para el abastecimiento y una vez solucionado éste, cambiar las políticas de extracción del Pitillal, manteniendo en él una política extractiva a largo plazo, ya que con seguridad es el agua más barata que se puede suministrar a Pto. Vallarta y en consecuencia debe continuar su explotación pero en forma geohidrologicamente adecuada, en base a las siguientes acciones generales:

- a) cambiando los pozos profundos, por otros someros que exploten caudales tales que provoquen abatimientos muy moderados aunque incluyan grandes extensiones de terreno.
- b) Intensificar la explotación a base de galerías filtrantes en las orillas del río, en combinación cuando sea posible de pozos someros que capten agua un poco más profunda que las galerías y les sirva como cárcamo a éstas.
- c) Inyectar en los pozos ya salados con agua sobrante tratada en la planta de tratamiento norte No. 2. Los pozos inyectados se monitorearan hasta verificar su regeneración; momento en que convendría construir un pozo gemelo de extracción controlada mucho más somero. Suponemos que la combinación inyección-extracción puede ser una solución para mantener una explotación permanente, aunque por el momento no sea posible establecer el volumen que se podría extraer con estos procedimientos.
- d) En algunas áreas de las inmediaciones de la Ciudad existen niveles freáticos lo suficientemente someros como para permitir la extracción a base de galerías filtrantes o sistemas de pozos puntuales que podrían ser una solución adecuada a pequeños abastecimientos independientes de la red general de agua potable.

#### **4.2.- Evaluación de nuevas fuentes de abastecimiento**

En vista del ritmo de crecimiento de la Ciudad, es evidente que las cuencas actuales difícilmente pueden constituir la solución definitiva a el abastecimiento de agua potable de Puerto Vallarta, por lo que necesariamente se deberá recurrir a la importación de agua de cuencas más alejadas y a todas luces la solución más adecuada radica en los ríos Ameca y su afluente el Mascota que desembocan en el Pacífico un km al norte del aeropuerto de la Ciudad.

Las necesidades actuales de Puerto Vallarta son del orden de los 1,200 l.p.s. lo que implica un déficit de unos 250 l.p.s. al que se deben sumar el crecimiento de los próximos años y la disminución que probablemente se continué en el abastecimiento que actualmente proporciona el Pitillal, de modo que aparentemente y para cubrir las contingencias de un futuro próximo, se requerirá contar con un abastecimiento proveniente de nuevas fuentes del orden de los 500 l.p.s.

Ante la problemática a futuro del suministro de agua potable a la Ciudad de Puerto Vallarta, Jal., fue necesario elaborar un estudio para solventar este problema en forma total denominado "Proyecto integral de agua potable" en él, la fuente de producción de agua potable, representa el alma de este magno proyecto.

Se evaluaron varias propuestas de alumbramiento desde la construcción de galerías filtrantes, plantas potabilizadoras, así como la construcción de pozos profundos y someros con los siguientes resultados:

- 1.- Galerías filtrantes: descartadas por la poca profundidad, limitando por su proceso constructivo, su producción y calidad.

- 2.- Plantas potabilizadoras: descartadas por sus altos costos operativos debido a la aplicación de productos químicos, así como por la problemática en las obras de toma en ríos .
- 3.- Pozos profundos: representan en esta zona costera un riesgo latente de intrusión salina.
- 4.- Pozos someros: representan una gran problemática operativa por su poca producción .

Dadas las condiciones geológicas de la desembocadura del Ameca, la proximidad de la costa y el volumen requerido, se concluye que la captación más adecuada, a reserva de realizar los estudios pertinentes sería un pozo radial, localizado en la confluencia de los dos ríos mencionados, lugar que presenta las siguientes ventajas:

- a) Lejanía de las rocas impermeables, lo que permite suponer un espesor de granulares adecuado.
- b) Cuerpos de aguas perennes en tres de los lados de la obra, lo que ofrece mejores posibilidades de caudal.
- c) Por lo menos en la superficie se observan arenas gruesas y gravas de medias a finas, materiales muy convenientes para este tipo de obras.
- d) Naturalmente una obra como esta implica la realización de exploraciones directas (de 6 a 8 piezómetros) y un pozo de bombeo, de alrededor de 20 m mediante los cuales se tendrá una granulometría de detalle de los materiales en el subsuelo y en los que se realizará una prueba de bombeo formal, que dará una idea aunque sea sólo aproximada de los caudales que se podrán obtener del pozo radial.

#### **4.3.- LOCALIZACIÓN Y ESTUDIOS PRELIMINARES DEL SITIO SELECCIONADO**

El sitio en estudio se localiza en la confluencia de los ríos Ameca y Mascota, entre los meridianos  $105^{\circ} 12'$  y  $105^{\circ} 16'$  de longitud oeste y los paralelos  $20^{\circ} 35'$  y  $20^{\circ} 45'$  de latitud norte ( fig.4.1- 4.3), su topografía es sensiblemente plana con desniveles máximos de 2.5 m entre el lecho del río y las terrazas adyacentes.

El pozo radial esta localizado a 450 m aguas abajo de la confluencia de los ríos Ameca y Mascota en los límites de los Estados de Jalisco y Nayarit. El sitio se encuentra a 10 km de la Ciudad de Puerto Vallarta, Jal., comunicado a través de una carretera pavimentada que conduce de las Juntas a Ixtapa, y continua por un camino revestido hacia la margen izquierda del río Ameca , pasando por la Planta de tratamiento de aguas residuales norte II. Esta planta fue construida con anterioridad (1993) y el sitio de su descarga al río se localiza a 300 metros aguas abajo del sitio definitivo seleccionado para el pozo radial.

Planos de localización :

En las siguientes figuras, (4.1., 4.2. y 4.3.) se ilustra y muestra la ubicación del sitio seleccionado para el pozo radial con respecto a su localización en el contexto de la República Mexicana y en el del Estado de Jalisco.



Fig. 4.1.- Ubicación en los Estados Unidos Mexicanos

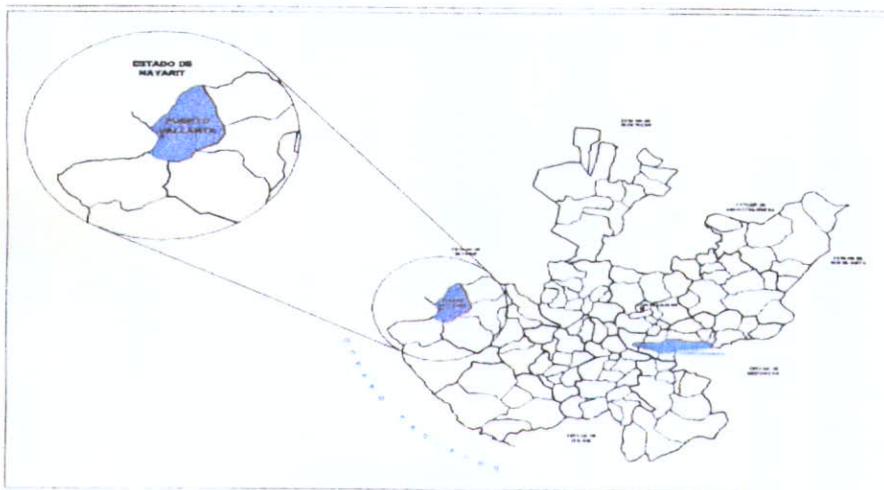


Fig. 4.2.- Localización en el Estado de Jalisco



Fig. 4.3.- Croquis de localización del pozo radial en la confluencia de los ríos Ameca y Mascota

#### 4.3.1.- Geología superficial

El estudio de exploración geohidrológica para el pozo radial en Puerto Vallarta realizado en 1968 por la empresa Asesores en Cimentaciones S. A. De C. V. Para la C.N.A. arroja los siguientes resultados:

La geología superficial de Puerto Vallarta está compuesta por los siguientes materiales :

- a) Tobas que presentan un color café claro (amarillento) causado por la alteración y da como producto arcilla, limos y arenas.
- b) Al sur de la Ciudad se cuenta con la presencia de granito que generalmente aflora en forma masiva, presentando textura granular y un color gris, que cambia a amarillento o a verdoso debido al fenómeno de intemperización, el clima húmedo y cálido de la región provoca la alteración de la roca, originando su transformación en materiales arenosos que están compuestos por mineral de cuarzo y cuentan con gran porcentaje de arcilla.
- c) También al sur de la ciudad en una zona muy pequeña rodeada por la de granito, a la altura del Km 5 de la carretera Puerto Vallarta – Barra de Navidad, se tiene un conglomerado constituido por una matriz de arena arcillosa que empaqueta boleos de tamaño entre 0.20 y 1.0 m de diámetro.
- d) Al noreste de la ciudad se presenta una arenisca conglomerada y esta constituida por arena limosa que empaqueta fragmentos redondeados de roca de varios tamaños, que llegan a tener hasta 2.0 m de diámetro; el aspecto topográfico de esta unidad litológica es en forma de pequeños lomeríos redondeados por el efecto de la actividad erosiva de tipo pluvial.
- e) En la parte norte de la ciudad, que es la zona donde se encuentra el sitio del presente estudio, se cuenta con materiales aluviales, debidos a la desembocadura de los ríos Ameca y Cuale, esos materiales están formados por gravas, arenas y limos, la característica principal de esos suelos es la de encontrarse es estado suelto, principalmente cerca del mar, donde se forman esteros y llegan incluso a producirse turbas.

Para determinar las condiciones geohidrológicas y geotécnicas del sitio seleccionado y su factibilidad de construcción de un pozo radial, fue necesario realizar los siguientes trabajos.

#### 4.3.2.- Trabajos de exploración geotécnica

De acuerdo con las instrucciones de la Comisión Nacional del Agua el sitio en estudio se localizo exactamente en la margen izquierda del río Ameca, frente a la intersección de los ríos Ameca y Mascota (sitio 1); sin embargo, una vez que se contó con la información de los 3 primeros sondeos, se decidió estudiar un sitio adicional ubicado aproximadamente a 450 m aguas abajo del original (sitio 2), esto con el propósito de programar la perforación del pozo en el sitio que presentara mejores características estratigráficas y permeabilidad

#### 4.3.3- Definición del sitio para instalación del Pozo

Comparando las condiciones estratigráficas de cada uno de los sitios estudiados y analizando las características de permeabilidad de cada uno de los diferentes estratos, se concluye que es mas recomendable instalar el pozo de bombeo en el segundo sitio de penetración estándar, que presenta por lo menos 14.40 m de material granular, específicamente una arena mal graduada con gran cantidad de gravas, que por su granulometría cuenta con alta permeabilidad.

Se descarto el primer sitio por la presencia de los estratos limo arcillosos y arcilloso encontrados entre 8.20 m y 10.40 m el primero y a partir de 16.00 m de profundidad el segundo, ese material es poco permeable comparado con los suelos granulares que los sobreyacen; este sitio también es adecuado para la colocación del pozo de bombeo, pero de menor calidad que el elegido.

#### 4.3.4.- Selección del sitio

Con base en condiciones geohidrológicas y constructivas, se estableció como zona mas atractiva la margen izquierda del río Ameca, que constituye el limite entre los estados de Nayarit y Jalisco, entre el punto donde confluye el río Mascota al Ameca y el cruce de este ultimo con la carretera a Tepic. Inicialmente se selecciono la confluencia de los dos ríos antes mencionada pero en los primeros sondeos exploratorios se encontró un espesor de materiales aluviales gruesos de solo 6 metros de espesor, por lo que se cambio el sitio de exploración unos 450 metros aguas abajo; sitio que presento además la ventaja adicional de una mayor cercanía a la línea de alta tensión.

- a) De los dos sitios estudiados, el que presenta mejores características para instalación del pozo radial es el sitio 2.
- b) En el sitio 2 la estratigrafía encontrada desde la superficie y hasta 14.40 m. de profundidad está compuesta por materiales granulares formadas por arenas con gran cantidad de gravas, subyacida por una arcilla limosa.
- c) La permeabilidad del estrato granular es muy alta, los coeficientes de permeabilidad obtenidos en las pruebas varían entre  $1.25 \times 10^{-1}$  y  $1.55 \times 10^{-2}$  cm/s.
- d) Con apoyo en las condiciones estratigráficas del sitio, se instaló el pozo de bombeo a 14.0 m. de profundidad, ademas con tubo de plástico rígido ranurado de 12 pulgadas (30.48 cm) de diámetro y filtro de grava arenada con tamaños de partículas entre 1.5 y 6.0 mm.
- e) Se realizaron 2 pruebas de bombeo con duración de 9.0 y 42.0 horas, con gastos de 15.67 l.p.s. y 13.00 l.p.s. respectivamente, en la primera el abatimiento máximo alcanzado en los tubos de observación cercanos al pozo fue de 23.0 cm. Y en el pozo de 30.0 cm. y en la segunda de 9.0 cm. y en el pozo de 15.0 cm.

- f) Los niveles máximos de abatimiento se alcanzaron a las 3 h. de bombeo en la primera prueba y a las 6 horas en la segunda y la recuperación del nivel del agua se obtiene inmediatamente después de suspendido el bombeo.
- g) Tomando en cuenta lo anterior, se concluye que desde el punto de vista geohidrológico, el sitio 2 estudiado, es adecuado para la construcción del pozo radial.

La geotécnica del sitio donde se construyó el pozo radial esta formado principalmente por depósitos de gravas y arenas con algunos lentes de Limo y Arcillas, se considera un material muy permeable, presenta escurrimiento superficial todo el año por lo que el subálveo se encuentra desde la superficie hasta 25 m de profundidad como mínimo.

Las aguas superficiales no se mezclan con el manto freático, por lo que en el sitio del pozo se bombea agua a 14.0 m de profundidad que en cierta forma ha sido filtrada a través de todo este estrato gravo arenoso de manera natural.

El proyecto original contempla la construcción de un cilindro de concreto armado con muros de 0.50 m de espesor para colarse en secciones que serían hincadas, excavando el centro y colocando una nueva sección.

#### **4.4.- MÉTODO UTILIZADO EN JALISCO CON INNOVACIÓN AL SISTEMA**

En virtud de que este tipo de pozos requiere de empresas con un alto grado de especialización y calidad, así como de realización previa de un estudio confiable , el Sistema Operador de Agua Potable en Puerto Vallarta recurrió a concursar dicha obra mediante la licitación publica No. SEAPAL-APA-JAL-99/00 LP, Habiéndose declarado desierto el concurso, ya que ninguna de las propuestas recibidas satisfacía las condiciones requeridas por la convocante.

Dicho sistema curso comunicaciones a empresas de Francia, Canadá y Estados Unidos. Francia ni siquiera contesto, Estados Unidos menciono que por el momento no le interesaba y de Canadá contesto *una empresa denominada Les Forages L.B.M. Inc. Con domicilio en Victoriaville Québec*, manifestando que en el área de trabajo existe su representante que es Rivera Construcciones, S.A. de C.V. con sede en Guadalajara, Jal.

El contratista propuso un equipo alemán (Bauer) propio de alto rendimiento, que le va a permitir seguir un procedimiento especializado y exclusivo de Jalisco para la construcción del cilindro. Seapal analizo estructuralmente la propuesta y autorizo su construcción al contratista. El cilindro se construyo con la perforación y construcción de 24 pilas secantes que conforman el cilindro de concreto reforzado, el cual hará la función de carcamo colector del bombeo.

Este sistema, con innovación al método tradicional, una vez revisado por el Seapal , tiene las siguientes ventajas:

- a) Rapidez, solo el 20% del tiempo normal que se utilizaría usando el sistema de tipo indio.
- b) Seguridad de penetrar hasta la profundidad de proyecto, porque con el sistema tradicional, al encontrar algún material duro el cilindro se inclina e incluso llega a romperse.
- c) Estabilidad estructural a toda prueba ya que nunca tiene expuesto al mismo tiempo toda el área del cilindro.
- d) Se garantiza la verticalidad de la estructura.

Las 24 pilas secantes con el sistema tipo Jalisco se terminaron en tiempo record, aproximadamente 4 semanas contra casi 12 meses de trabajo continuo que se utiliza con el sistema tradicional, sin contar los periodos de suspensión de los trabajos por la crecida del Río.

Una vez terminadas de colar las 24 pilas secantes, se extrae el material del centro del cilindro con un cucharón de almeja, hasta que se llega a la profundidad del proyecto y se inician preparativos para el sello del fondo.

Se procede a limpiar y desazolvar el fondo del pozo, para colocar el concreto en presencia de agua, con un espesor mínimo de 4 metros y se deposita el concreto con un sistema de mangueras de control manual con buzos, cuidando la unión en las pilas secantes, con el objeto de que la adherencia del concreto a las paredes garantice un tapón estanco.

Una vez fraguado el concreto de un espesor del orden de 4.00 metros, se bombea el agua, dejando el cilindro seco para posteriormente trabajar con el equipo de hincado que consiste básicamente en un sistema de gatos hidráulicos de alto poder (dos unidades de 200 toneladas cada uno) colocados sobre plataformas metálicas adheridas a las paredes.

En los sitios previamente seleccionados en los que se colocó una estructura metálica se deja un hueco previsto antes del colado para alojar el denominado "puerto", donde se inicia el hincado de una tubería rígida que funciona como ademe. En la punta de esta tubería lleva una cabeza denominada "escudo" de acero fundido que tiene una figura especial y unas barrenaciones que van a permitir el paso de la arena con agua.

Cuando se introducen los metros de ademe que marcan el proyecto se procede a colocar dentro del mismo el tubo ranurado que en este caso fue de una fabricación especial en acero inoxidable. Terminado de colocar el tubo ranurado se procede a retirar la tubería de ademe para que quede en su sitio el cedazo con su filtro de grava, lavada durante el proceso.

Finalmente se coloca en la parte final de ademe, sostenido por la estructura metálica especial denominada "puerto", la válvula de control que en este caso fue una compuerta de 8 pulgadas de diámetro. Con estas válvulas se pueden controlar a cada uno de los drenes, operándolas desde el piso de operación con mecanismos eléctricos ubicados en la parte superior del cilindro a un nivel totalmente a salvo de las crecientes del río.

## CAPÍTULO 5

# **CRONOLOGÍA DE LA EJECUCIÓN DEL POZO RADIAL EN EL RÍO AMECA PARA LA CIUDAD DE PUERTO VALLARTA, JALISCO**

## 5.1.- ANTECEDENTES DE LA OBRA

El Gobierno del Estado de Jalisco a través de la Secretaria de Desarrollo Urbano (SEDEUR) y el Sistema de los Servicios de Agua Potable Drenaje y Alcantarillado de Puerto Vallarta, Jalisco (SEAPAL VALLARTA) organismo descentralizado encargado de la captación y distribución para abastecer con calidad de agua potable a la población y zona hotelera de Puerto Vallarta, Jalisco, hacen un esfuerzo técnico y económico para construir un pozo tipo Ranney sobre el río Ameca y abastecer a una población de 120,000 habitantes, con un caudal de 600 litros por segundo de agua potable reduciendo de manera importante los costos de extracción y potabilización de los mantos freáticos que se recargan permanentemente gracias a su formación de gravas y arenas graduadas que sirven de filtro natural del escurrimiento del subálveo de los ríos Ameca y Mascota, hasta una profundidad de 25 m ahorrando así, energía eléctrica y tratamientos complejos de agua obtenidas de otras fuentes como pozos profundos de mantos acuíferos agotados y de corrientes superficiales turbias.

Para poder realizar esta obra, se solicitó ante la Comisión Nacional del Agua autorización expresa para construir infraestructura dentro del cauce federal y posteriormente se otorgara la concesión de explotación del agua conforme a la Ley de Aguas Nacionales.

Se realizaron una serie de estudios para conocer la calidad del agua y prever su posible tratamiento, sondeos geotécnicos que determinarían la composición granulométrica de los depósitos y profundidades, permeabilidad, capacidad de carga, presencia de boleos o capas arcillosas de material impermeable que pudieran obstaculizar el hincado o taparan la filtración, por último se hace un levantamiento topográfico del cauce y se define el sitio en que deberá ubicarse, procediendo a hacer los estudios y proyectos definitivos.

*El proyecto ejecutivo original consistió en un pozo indio tipo Ranney hincado a 16 m de profundidad con 8 drenes horizontales de 80 de diámetro distribuido a cada 45° de tubería de acero inoxidable, con longitud mínima 21.0 m y máxima de 60.0 m para una longitud total de proyecto de 360.0 m para un gasto esperado de 600 litros por segundo, habiéndose modificado su estructura para construirse el pozo con 24 pilas de 88 cms de diámetro cada una, para formar un cilindro de 5.0 m de diámetro interior igual al de proyecto original con objeto de dar velocidad a su construcción.*

## 5.2.- DESCRIPCIÓN DE LA OBRA EJECUTADA

El procedimiento constructivo consistió en formar una plataforma con el mismo producto del río de 3.0 m de altura y 8.0 m de diámetro protegidos por roca de 0.7 m<sup>3</sup> de tamaño para evitar socavación. Ya nivelada se construyó un muro guía que sirvió de plantilla para distribución y exacta de las 24 pilas, cuidar su verticalidad en toda su profundidad, colocándose en formas alternas para hacer un corte de 11 cm que sirvieron para empotrarse entre ellas, dejando 10 pilas distribuidas a 45° un dispositivo como puerto para permitir el hincado de tubería horizontal.

Una vez formado el cilindro con las 24 pilas, se excava el centro del mismo con draga de arrastre y cucharón de almeja, colocando inmediatamente el tapón de fondo de concreto hidráulico para evitar la supresión.

Se limpió la superficie interior del pozo y se colocó un anillo de concreto como preparativo para apoyar el sistema hidráulico que hincara la tubería, además un equipo de bombeo de 12" (30.48 cm) para abatir el agua de lavado durante el hincado.

La tecnología utilizada por la empresa en la construcción de los drenes Radiales, ilustrados en la figura 5.2, consistió en hincar un ademe de acero recuperable de 10" (25.4 cm) de diámetro llevando en su punta una cabeza de acero de 3 perforaciones para retornar la arena y agua de lavado a presión, que permitió el avance del hincado hasta la longitud de proyecto sin que la presencia de boleos o arcillas lo impidieran.

Posteriormente se instaló la tubería de acero inoxidable de 8" (20.32 cm) de diámetro formada con una espiral biselada para impedir incrustación de arenas con separación variable de 15 a 40 milésimas de pulgada unida por 40 barras longitudinales. Por último se retira el ademe, quedando perdida en su punta la cabeza de avance, quedando listo para colocar su válvula de compuerta y vástago individual en cada dren.

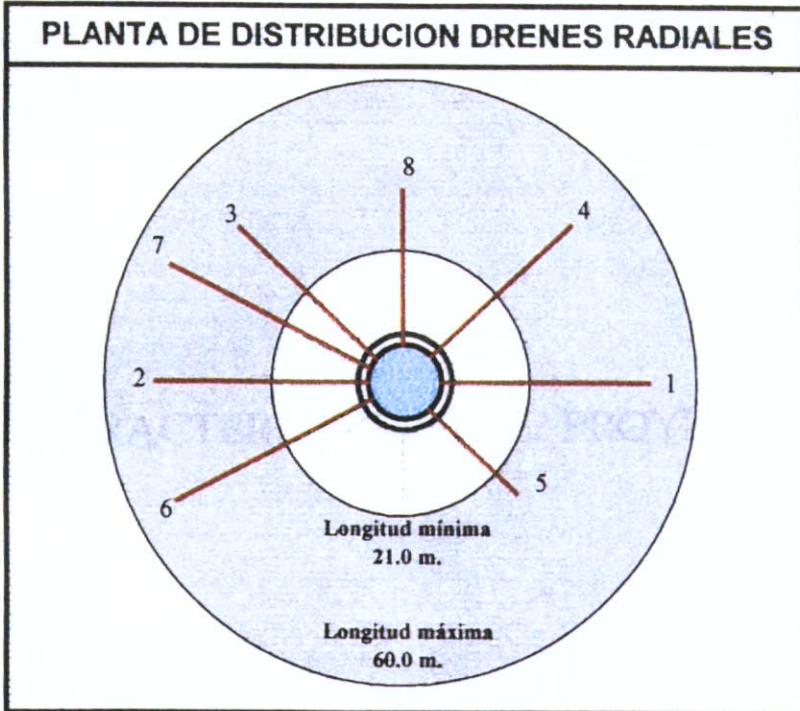
Terminando de instalar los 8 drenes con sus válvulas, ilustrados en la figura 5.2 se procedió a hacer su aforo durante 120 horas lo que permitió conocer la aportación de 710 litros por segundo para diseñar su capacidad de bombeo.

A partir de este momento se eleva la estructura del cilindro de concreto armado de 0.50 m de espesor hasta una altura de 6.0 m aproximadamente sobre el terreno natural, para alcanzar la elevación +13.15, del proyecto ilustrado en la figura 5.1, correspondiendo una sobreelevación de 0.65 m arriba del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) cuya elevación es de +12.50 recomendada por la Comisión Nacional del Agua (C.N.A.) con un cálculo de avenida máxima de retorno a cada mil años. Sobre esta plataforma se proyectaron para su colocación, las traveses y losas de piso para los equipos de bombeo en la caseta de controles.

La tubería de acero de 30" (76.2 cm) de diámetro para la conducción en el tramo de cruce del río queda instalada en forma subterránea a 3.0 m abajo del lecho del río, atracada y cubierta con concreto hidráulico para evitar su flotación.



POZO RADIAL RIO AMECA,  
PUERTO VALLARTA, JALISCO



**CARACTERISTICAS DE LOS DRENES RADIALES**

| Dren No.     | Longitud Total m. | LONGITUD Y ABERTURA DE MALLA EN MILESIMAS DE PULGADA |              |              |               |
|--------------|-------------------|--|--------------|--------------|---------------|
|              |                   | CIEGO  | 15           | 20           | 40            |
| 1            | 48.30             | 3.30   | 24.00        | 21.00        | 0.00          |
| 2            | 48.30             | 3.30   | 24.00        | 21.00        | 0.00          |
| 3            | 45.30             | 3.30   | 6.00         | 3.00         | 33.00         |
| 4            | 45.30             | 3.30   | 0.00         | 15.00        | 27.00         |
| 5            | 30.30             | 3.30   | 0.00         | 0.00         | 27.00         |
| 6            | 49.60             | 3.30   | 0.00         | 0.00         | 46.30         |
| 7            | 53.00             | 3.30   | 3.00         | 0.00         | 46.70         |
| 8            | 41.75             | 3.30   | 2.45         | 0.00         | 36.00         |
| <b>TOTAL</b> | <b>361.85</b>     | <b>28.40</b>   | <b>59.45</b> | <b>60.00</b> | <b>216.00</b> |

Fig. 5.2.- Distribución de los drenes radiales

### 5.3.- CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

#### 5.3.1.- Profundidad total del pozo desde el piso

|  |           |
|--|-----------|
| Profundidad total del pozo desde el piso |           |
| de la caseta de operación                | 22.00 m.  |
| Elevación piso de Caseta                 | 13.15 m.  |
| Elevación losa de azotea                 | 20.20 m.  |
| Name del Río                             | 12.50 m.  |
| Diámetro interior del cilindro           | 5.00 m.   |
| Diámetro exterior del cilindro           | 6.76 m.   |
| Diámetro de las pilas                    | 0.88 m.   |
| Espesor total de tapón de fondo          | 3.00 m.   |
| Gasto aforado                            | 700 l.p.s |

#### 5.3.2.- Principales volúmenes de obra ejecutada

|  |                    |
|--|--------------------|
| Concreto hidráulico $f'c=250$ kg/cm <sup>2</sup>                                   | 202 m <sup>3</sup> |
| Acero de Ref. $f_y= 4200$ kg/cm <sup>3</sup>                                       | 12 ton             |
| Excavación del cilindro del pozo   | 334 m <sup>3</sup> |
| Pilotes a base de pilas secantes con cuerda de<br>11 cm. y de 16 cm de profundidad | 24 pza             |
| Puertos para hincado   | 16 pza             |
| Drenes del Colector Radial   | 360 m              |
| Longitud total drenada   | 361 m              |
| Grúa viajera de 4.0 ton. de capacidad  | 1 pza              |
| Escalera marina  | 28 m               |

## 5.4.- RECURSOS UTILIZADOS EN LA OBRA

### 5.4.1.- Equipo

| MAQUINARIA   | CANTIDAD |
|--|----------|
| PERFORADORA PARA PILAS MARCA BAUER MOD. BG9        | 1        |
| GRUA TELESCOPICA GROVE RT-522                      | 1        |
| PLANTA DE CONCRETO PREMEZCLADO                     | 1        |
| CAMION REVOLVEDOR DE 7 m <sup>3</sup> DE CAPACIDAD | 2        |
| BOMBA PARA CONCRETO HIDRAULICO                     | 1        |
| DRAGA DE ARRASTRE CON CUCHARON DE ALMEJA           | 1        |
| SISTEMA HIDRÁULICO PARA HINCADO DE DRENES          | 1        |
| GRUA ELECTRICA VIAJERA DE 3 TONELADAS              | 1        |
| BOMBA PARA INYECCIÓN Y LAVADO DE DRENES            | 1        |
| BOMBAS DE ACHIQUE VARIAS CAPACIDADES               | 3        |
| COMPRESOR GADNER DENVER 185                        | 1        |
| REMOLQUES PARA TALLER Y OFICINA DE CAMPO           | 2        |
| TRACTO CAMION CON PLATAFORMA Y CAMA BAJA           | 2        |
| VEHÍCULO PICK UP F-150                             | 1        |
| VEHÍCULO SEDAN VW                                  | 1        |

### 5.4.2.- Mano de obra

| PERSONAL                 | CANTIDAD |
|--------------------------|----------|
| SUPERINTENDENTE DE OBRA  | 1        |
| SOBRESTANTE              | 1        |
| TÉCNICOS DE HINCADO      | 4        |
| OPERADORES DE MAQUINARIA | 3        |
| CARPINTEROS Y FIERREROS  | 8        |
| AYUDANTES                | 5        |
| SOLDADOR                 | 1        |
| AYUDANTE SOLDADOR        | 1        |
| VELADOR                  | 1        |
| PEON                     | 4        |
| AUXILIAR ADMINISTRATIVO  | 1        |

## 5.5.- INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO DE LA ESTRUCTURA

De acuerdo con el estudio de Instrumentación y monitoreo Pozo Radial río Ameca, elaborado en 2001 por el Sistema de agua potable y alcantarillado de Puerto Vallarta, la instrumentación consiste en instalar puntos de medición topográfica, testigos, inclinómetros, micrómetros, termómetros y además una escala para medir la magnitud de las avenidas de los Ríos Ameca y Mascota.

56564

Monitoreo es dar seguimiento al comportamiento de un elemento a través del tiempo sometido a fenómenos transitorios y permanentes utilizando métodos de medición que han sido programados e instalados durante su construcción para que registren sus movimientos y deformaciones dentro de sus tolerancias y que cuando se presenten alteraciones mayores a las esperadas sean detectadas para evitar que siga presentando el daño o se ponga en riesgo la operatividad del sistema de bombeo.

### 5.5.1.- Antecedentes

Antes de hacer su equipamiento y puesta en marcha se considero importante observar su comportamiento estructural provocado por flotación, asentamiento diferencial, sobrecarga, eventos sísmicos, vibración golpes de ariete (transitorios) y separación de elementos estructurales que puedan afectar la unión de los drenes horizontales con puertos y válvulas de la estructura principal y de la tubería de líneas de impulsión, detectando a tiempo su comportamiento y solución preventiva.

La instrumentación diseñada para esta obra en especial consistió en:

- 1.- Medición topográfica (principal)
- 2.- Medición hidrométrica
- 3.- Medición con inclinómetro (secundaria)
- 4.- Medición de contracción y dilatación (eventual)
- 5.- Medición de temperaturas (complementarias)
- 6.- Testigos de yeso (si se requieran)

La estratigrafía del lugar presente en todo su espesor arenas y gravas de media compacidad a consistencia firme a mas de 15.00 m por lo que se espera que se presenten algunos asentamientos diferenciales entre la estructura y la tubería de conducción y que no sean de consideración.

### 5.5.2.- Instrumentación

Para medir confiablemente los desplazamientos de la estructura se instalaron puntos de referencia topográfica principalmente y apoyado por inclinómetros con el propósito de distinguir el tipo de movimiento, hacia donde se dirige para saber que lo provoca, citando como ejemplo las siguientes posibilidades:

- A) Hundimiento por asentamiento diferencial que presentan la capacidad de carga del suelo.

- B) Flotación del cilindro por diferencia de niveles de agua entre el interior del pozo y la del río.
- C) Desplazamiento por supresión.
- D) Inclínación de la estructura por alguna acción mecánica de operación o avenida del río o socavación.
- E) Deformación de las pilas por empuje lateral.

El comportamiento del concreto también será medido a través de indicadores o micrómetros para conocer su contracción y dilatación:

La medición cotidiana o periódica de temperaturas permite conocer y correlacionar el comportamiento del concreto (contracción, dilatación, agrietamientos) en la estructura o en las pilas en diferentes épocas del año, sobre todo en el invierno que aparecen las manchas de humedad entre pilas o fisuras en el piso de losa de maniobras en verano.

La medición hidrométrica a través de escalas fijas también permite identificar los niveles del río permanentemente sin ocupar equipo topográfico e informar en todo momento las avenidas máximas ordinarias y extraordinarias en temporada de lluvias que pudieran afectar el acceso, la operación del pozo y su seguridad e intercambiar información y toma de decisiones conjuntamente con las autoridades de la Comisión Estatal del Agua o autoridades federales.

Los testigos de yeso apoyarán a vigilar los agrietamientos naturales por contracción que aparecen y diferenciarlas de otras causas no previstas o desconocidas.

Con este conjunto de instrumentación o puntos de medición permitirán analizar una estructura a base de pilas construidas por primera vez en México.

La observación más importante estará relacionada entre el asentamiento individual de alguna pila o todas juntas con respecto a los drenes horizontales que están sujetos a los puertos de hincado de las pilas y por otra parte los movimientos que se presentan entre la estructura, equipo de bombeo y múltiples con la línea de impulsión de tubería de acero.

### **5.5.3.- Manual de monitoreo**

Se elaboró un manual de monitoreo en el que se describe el perfil del personal al que se le asignará este trabajo, su capacidad y equipo que requerirá, tiempos que ocupará para ejecutar su trabajo, forma práctica y amigable de tomar lecturas, registrarlas y llevar el control estadístico.

Además deberá existir un manual de operación de la planta de bombeo editado por el proyectista y fabricante de los equipos de bombeo e instalaciones eléctricas para que se opere conforme a procedimientos bien establecidos. Se considera necesario llevar una bitácora de operación para que el registro de monitoreo de esta instrumentación tenga un resultado óptimo al correlacionarla, para conocer las posibles causas que motivarán un cambio en el comportamiento estructural.

Se muestra a continuación una reseña fotográfica en la cual se exponen algunas etapas constructivas del sistema del pozo radial descritas en el capítulo anterior que permiten ilustrar el procedimiento utilizado en su ejecución.

## 5.6.- RESEÑA FOTOGRAFICA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO



Fig. 5.3.- Plantilla para hincado de pilotes de concreto armado en la formación del cilindro



Fig. 5.4.- Colado de pilotes con bomba



Fig. 5.5.-Equipo utilizado en el proceso del cilindro piloteadora, Grúas de montaje



Fig. 5.6.- Cucharón de almeja para la excavación del cilindro previa al colado del tapón de fondo

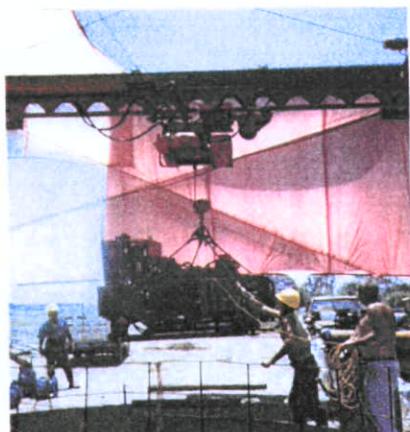


Fig. 5.7.- Grúa Viajera para bajar equipo de hincado horizontal

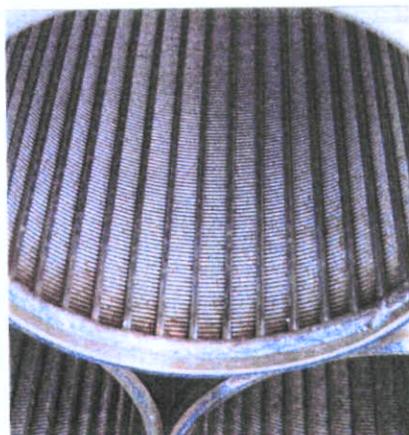


Fig. 5.8.- Cedazo para los drenes aportantes del acuífero

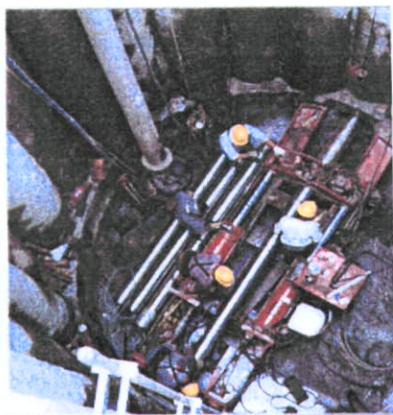


Fig. 5.9.- Plataforma de trabajo para hincado de los drenes horizontales



Fig. 5.10.- Compuertas de control individual para la extracción del acuífero, conectadas a drenes

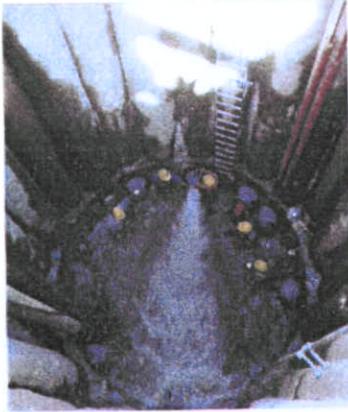


Fig. 5.11.- Prueba de operación de los drenes a través de compuertas

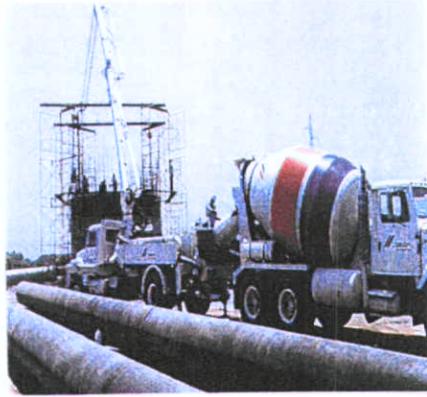


Fig. 5.12.- Colado del cilindro en su prolongación hasta nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME)



Fig. 5.13.- Proceso de cimbrado para colar techo caseta de operación de bombas

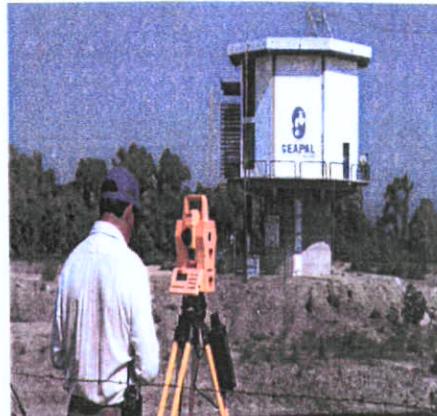


Fig. 5.14.- Instrumentación y monitoreo de la estructura del pozo radial

## 5.7.- PROGRAMA DE INVERSIONES (en pesos)

La inversión total programada desde sus estudios, proyecto, construcción, equipamiento y supervisión técnica contratada, incluyendo línea de conducción al tanque de distribución será del orden de \$30'000,000.00 con IVA, incluido en un periodo de 3 años.

El seapal licito por convocatoria publica su construcción y después de declararla técnicamente desierta, se adjudico a la empresa Rivera Construcciones, S.A. de C.V. al amparo del contrato No. SEAPAL – 99-010 para iniciar su construcción y concluirla en abril de 2001, después de dos temporadas de lluvias que interrumpieron su construcción por crecientes extraordinarias del río.

Para la supervisión técnica se asigno el contrato No. SEAPAL – 99 – 013 a la empresa Grupo de Ingeniería para Estudios y Control de Calidad S.A. de C.V. (Gipecc) quien apoya al organismo operador como consultivo técnico y a vigilar el cumplimiento de calidad y los programas de inversión en el tiempo establecido.

| No.   | ACTIVIDAD  | 1998   | 1999      | 2000       | 2001       | TOTAL                |
|---|--|--------|-----------|------------|------------|----------------------|
| 1   | ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y TÉCNICOS (GEOHIDROLOGICO) | C.N.A. |           |            |            |                      |
| 2   | PROYECTO EJECUTIVO                                   |        | 356,000   |            |            | 356,000              |
| 3   | CONSTRUCCIÓN DEL POZO RADIAL                         |        | 2,102,800 | 10,708,500 | 551,400    | 13,362,700           |
| 4   | EQUIPAMIENTO DE POZO Y SUBESTACIÓN ELECTRICA         |        |           | 1,100,000  |            | 1,100,000            |
| 5   | LINEA DE CONDUCCIÓN CRUCE DEL RIO                    |        |           | 1,400,000  |            | 1,400,000            |
| 6   | LINEAS DE CONDUCCIÓN TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN      |        |           |            | 13,000,000 | 13,000,000           |
| 7   | SUPERVISIÓN TÉCNICA Y CONSULTORIA                    |        | 407,643   | 794,700    |            | 1,202,343            |
| <b>INVERSIÓN TOTAL PROGRAMADA (I.V.A. INCLUIDO)</b> |  |        |           |            |            | <b>\$ 30,421,043</b> |

El organismo operador del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado ( SEAPAL ) dio inicio a su construcción el 01 de Mayo de 1999 , con programa de terminación el 30 de Junio de 2000, sin embargo tuvo un periodo de interrupción la obra, de 5 meses, en razón de fuertes avenidas del río Ameca, en la temporada de lluvias y se concluyo hasta el 30 de Diciembre de 2000.

La supervisión técnica contratada permitió apoyar al organismo operador a nivel de consultivo técnico y vigilar el cumplimiento de calidad en sus programas de inversión, en tiempo y costo.

Las obras complementarias para construir el puente peatonal del pozo con la margen correspondiente a Jalisco y la continuación de la colocación de las líneas de conducción para su conexión a la red de distribución y tanques reguladores, se consideran tendrán un programa de 2 años para su ejecución.

## CAPÍTULO 6

# **COSTOS COMPARATIVOS CON LOS SISTEMAS CONVENCIONALES**

En un lapso de tiempo tan reducido como el que se dispone en esta exposición, necesariamente quedan varias consideraciones pendientes pero es importante hacer énfasis en el aspecto económico que al fin y al cabo siempre acaba imponiéndose al seleccionar alternativas de obra.

Se presenta un análisis comparativo de costos entre la explotación de acuíferos con el sistema de pozos convencionales, para obtener un caudal mínimo de 500 l.p.s. y la aplicación del pozo radial (Papagayo II) en el Estado de Guerrero en el cual se consideraron las siguientes premisas:

### 6.1.- PREMISAS DE PARTIDA

- a) Se requieren al menos 500 l.p.s. para aumentar la dotación de una población turística.
- b) Se considera una llanura aluvial costera, por la que discurren dos ríos de caudal permanente que confluye a dos Km aguas arriba de la desembocadura al mar
- c) Aunque los rellenos aluviales son potentes ya existen precedentes de pozos convencionales profundos (unos 100 m) que ha sido necesario sacar de operación debido a la intrusión salina; en consecuencia, se consideran los pozos convencionales limitados a unos 40 m de profundidad y con serias restricciones respecto al abatimiento que se puede permitir en cada pozo.
- d) La capacidad específica promedio de los pozos convencionales en la zona con potencial de acuíferos es de 25 l.p.s.
- e) Se impone como restricción a la construcción de pozos convencionales un buen diseño y que en consecuencia, la velocidad de entrada del agua no rebase los 3 cm/s. con lo que se evitaría el arrastre de finos.
- f) El nivel estático se encuentra a 5 m de profundidad.

### 6.2.- TABLAS COMPARATIVAS

- g) En la tabla No.2 se han simulado las condiciones de operación que se tendría en los pozos someros basadas a las premisas anteriores y resulta que la operación adecuada se tendría con 25 l.p.s. (remarcados letra negra), lo que resulta en la necesidad de construir 20 pozos someros para suministrar el gasto necesario de 500 l.p.s

**Tabla 2.-Condiciones de funcionamiento de los pozos someros**

| Estático<br>M | Q<br>l.p.s. | ND<br>M      | Fondo<br>m | Filtrante<br>l.p.s. | Velocidad<br>l/s/m |
|---------------|-------------|--------------|------------|---------------------|--------------------|
| 5             | 50          | 21.67        | 40         | 18.33               | 9.09               |
| 5             | 40          | 18.33        | 40         | 21.67               | 6.15               |
| 5             | 35          | 16.67        | 40         | 23.33               | 5.00               |
| 5             | 30          | 15.00        | 40         | 25.00               | 4.00               |
| <b>5</b>      | <b>25</b>   | <b>13.33</b> | <b>40</b>  | <b>26.67</b>        | <b>3.13</b>        |
| 5             | 24          | 13.00        | 40         | 27.00               | 2.69               |

La inversión inicial para uno y otro sistema de abastecimiento aparece en la tabla No.3 en la cual se han evaluado los pozos convencionales en forma muy general. Para el caso pozo radial, se ha tomado como base el pozo Papagayo II construido hace pocos años para el abastecimiento de agua en Acapulco, Gro.

**Tabla 3.- Inversión inicial**

| Concepto                                       | Unidad      | Cantidad   | P.U.           | Importe           |
|--|-------------|------------|----------------|-------------------|
| <b>Adquisición de la tierra o derechos</b>     | <b>Pozo</b> | <b>20</b>  | <b>10,000</b>  | <b>200,000</b>    |
| <b>Perforación de pozos</b>                    | <b>M</b>    | <b>800</b> | <b>2,500</b>   | <b>2,000,000</b>  |
| <b>Equipo electromecánico</b>                  | <b>Pozo</b> | <b>20</b>  | <b>30,000</b>  | <b>600,000</b>    |
| <b>Obra civil y fontanería</b>                 | <b>Pozo</b> | <b>20</b>  | <b>60,000</b>  | <b>1,200,000</b>  |
| <b>Acueducto (pozo 1 a pozo 20)</b>            | <b>Km</b>   | <b>6</b>   | <b>600,000</b> | <b>3,600,000</b>  |
| <b>INVERSIÓN DE 20 POZOS CONVENCIONALES</b>    |             |            |                | <b>7,600,000</b>  |
| <b>INVERSIÓN DEL POZO RADIAL (PAPAGAYO II)</b> |             |            |                | <b>10,000,000</b> |

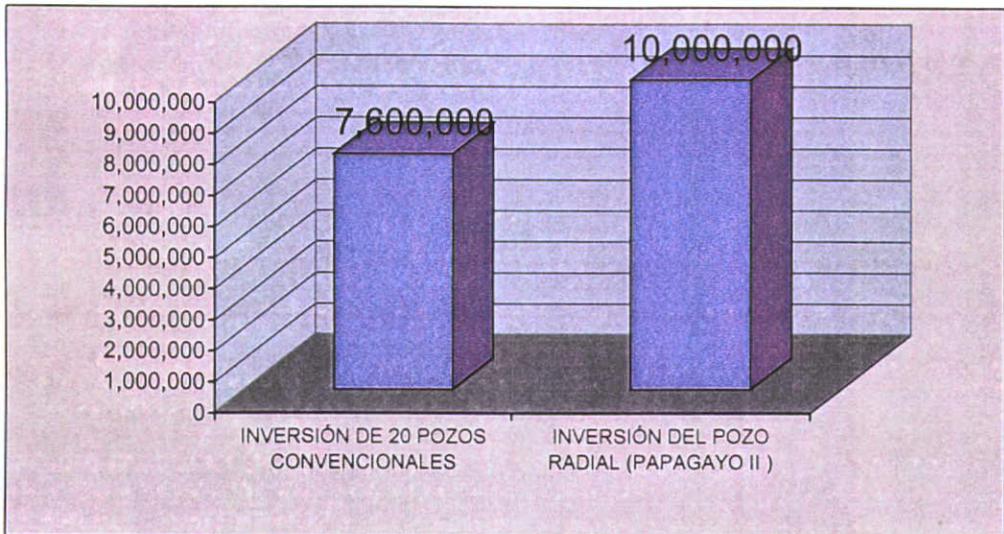


Figura 6.1.- Grafica de costos de inversion inicial entre el sistema de pozos convencionales y el del pozo radial

Puede observarse que la inversión inicial en el pozo radial excede en unos 2 y medio millones, la alternativa de los pozos convencionales y en consecuencia, si lo consideramos de un modo simplista, la opción de los convencionales podría resultar mas atractiva, pero si analizamos los hechos posteriores a la construcción, o sea a la operación y el mantenimiento, resulta una situación muy diferente. Se presenta la comparación de las dos alternativas y resulta que el pozo radial ofrece una economía, en estos renglones del orden de los \$ 40,000.00/mes

En la figura No 6.2 se grafican los gastos de operación y mantenimiento de las dos alternativas a partir de las premisas que hemos venido considerando y suponiendo además que por lo que respecta a los pozos convencionales, al cabo de 15 años se requerirá la reposición de 30% de los pozos (solo de la obra hidráulica), la rehabilitación de otro 35% y que al 35% restante continuara operando normalmente hasta el año 30.

Traducido a pesos actuales a los 15 años se tendría un desembolso adicional de:

$$\begin{aligned}
 \text{Perforación de 6 nuevos pozos} &= 6 \text{ pozos } 40\text{m} \times \$ 2,500.00 = \$ 600,000.00 \\
 \text{Rehabilitación de 7 pozos} &= 7 \text{ pozos por } \$ 30,000.00 = \$ 210,000.00 \\
 \text{SUMA} &= \$ 810,000.00
 \end{aligned}$$

**TABLA 4.- COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN**

| CONCEPTO                       | UNIDAD       | CAN T | P.U | Q       | c.d. (ND) | c.d. (línea) | c.d.t | Efic. | Potencia | Precio | COSTO   | Factor costo      | COSTO     |
|--------------------------------|--------------|-------|-----|---------|-----------|--------------|-------|-------|----------|--------|---------|-------------------|-----------|
|                                |              |       |     | (l/seg) | (m)       | (m)          |       |       | k.w.hr.  | k.w.hr | \$/hr.  |                   | \$/mes    |
| <b>20 POZOS CONVENCIONALES</b> |              |       |     |         |           |              |       |       |          |        |         |                   |           |
| Energía                        | Bomba        | 20    |     | 25      | 1.6       | 40           | 41.6  | 70%   | 299      | 0.45   | 134.59  |                   | 96,907.67 |
| Salarios                       |              |       |     |         |           |              |       |       |          |        |         |                   |           |
| Poceros                        | Pocero       | 5     |     |         |           |              |       |       |          |        |         | 1.60              | 12,000.00 |
| Fontaneros                     | Fontanero    | 2     |     |         |           |              |       |       |          |        |         | 1.60              | 6,400.00  |
|                                | Peones       | 5     |     |         |           |              |       |       |          |        |         | 1.60              | 8,000.00  |
| Equipo mayor                   | Camión       | 2     |     |         |           |              |       |       |          |        | 3500.00 |                   | 7000.00   |
| Camión grúa                    | Camión trab. | 1     |     |         |           |              |       |       |          |        | 3000.00 |                   | 3000.00   |
|                                | Camión para. |       |     |         |           |              |       |       |          |        |         |                   |           |
| <b>SUMA</b>                    |              |       |     |         |           |              |       |       |          |        |         | <b>133,307.67</b> |           |
| <b>POZO RADIAL</b>             |              |       |     |         |           |              |       |       |          |        |         |                   |           |
| Energía                        | Bomba        | 2     |     | 250     | 1.6       | 40           | 41.6  | 80%   | 262      | 0.45   | 117.77  |                   | 84,794.21 |
| Salarios                       |              |       |     |         |           |              |       |       |          |        |         |                   |           |
| Poceros                        | Pocero       | 1     |     |         |           |              |       |       |          |        |         | 1.60              | 3,200.00  |
| Fontaneros                     | Fontanero    | 1     |     |         |           |              |       |       |          |        |         | 1.60              | 3,200.00  |
| <b>SUMA</b>                    |              |       |     |         |           |              |       |       |          |        |         | <b>91,194.21</b>  |           |

Si consideramos que los costos de inversión inicial, así como los necesarios para reposición y rehabilitación, en su vida útil de 30 años, encontramos que las diferencias son las siguientes:

|                                 | <b>Pozos Convencionales</b> | <b>Pozo Radial</b> |
|---------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Inversión Inicial               | \$ 7'600,000                | \$ 10'000,000      |
| Reposiciones y Rehabilitaciones | \$ 810,000                  | \$ 0.0             |
|                                 | \$ 8'410,000                | \$ 10'000,000      |

En lo concerniente a los rubros de operación, conservación y mantenimiento para 30 años, a precios actuales, se advierten las diferencias siguientes:

|                           |               |               |
|---------------------------|---------------|---------------|
| Operación y mantenimiento | \$ 47'990,520 | \$ 32'829,915 |
| Importes totales          | \$ 56'400,520 | \$ 42'829,915 |

Como se aprecia, existe un importe diferencial a favor del pozo radial por \$ 13'570,605 para un mismo gasto de producción de 500 l.p.s., lo cual representa una economía importante a considerar en futuros proyectos de abastecimiento de agua potable.

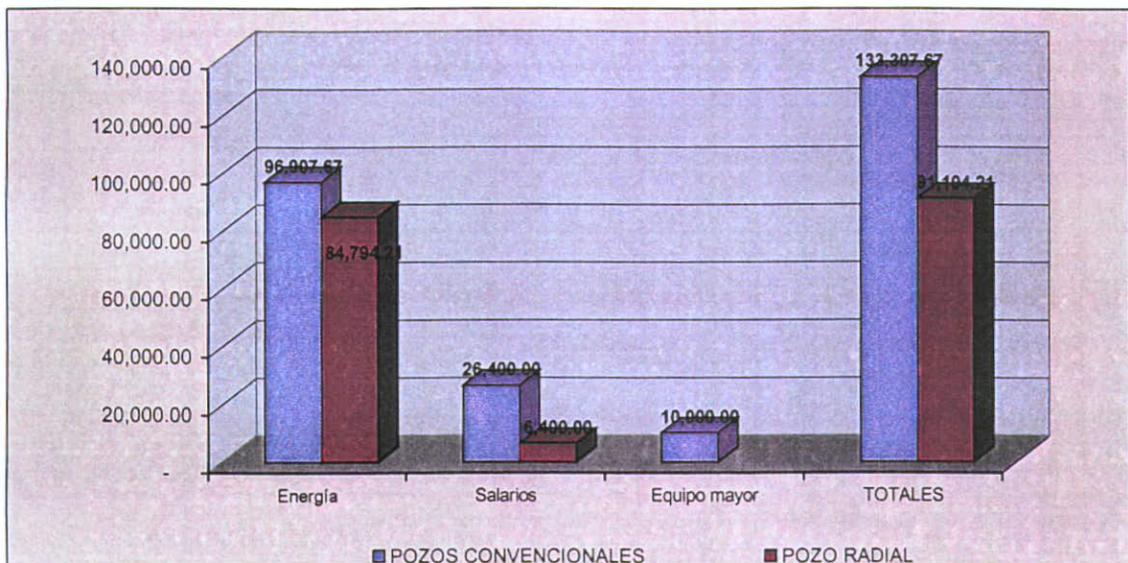


Figura. 6.2- Grafica de costos mensuales comparativos de los gastos de operación y mantenimiento entre pozos convencionales y el pozo radial.

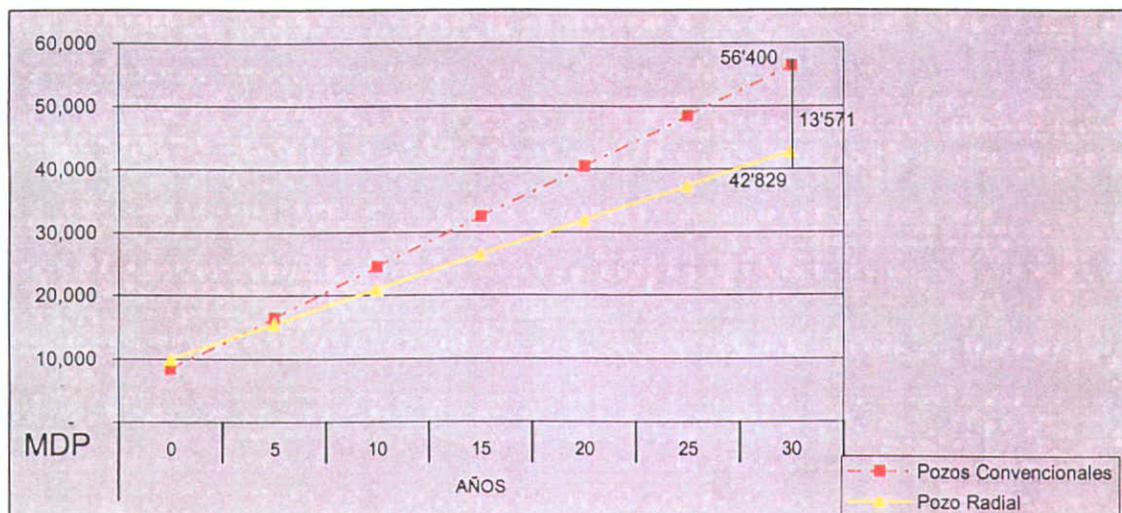


Figura 6.3.- Inversiones totales a considerar y diferencia entre los sistemas convencionales y el del pozo radial

### 6.3.- COMENTARIOS

En las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 se observa que no obstante que el gasto por inversión inicial en el sistema de los 20 pozos convencionales es inferior en 2.4 millones de pesos al sistema de pozo radial, con el mayor concepto de gastos de operación y mantenimiento en los pozos convencionales y la reposición de algunos de ellos, se reinvierten estas diferencias y se acentúan a favor del pozo radial, prevaleciendo una operatividad mas ágil, con menos riesgos y con un numero inferior de personal y equipo de mantenimiento.

Además de las diferencias en sus costos operativos entre estos dos sistemas, el pozo radial permite predecir una vida útil mas larga y una mayor eficiencia electromecánica, todo lo cual hace que se compense rápidamente el mayor desembolso inicial observado, en comparación con el sistema de pozos convencionales.

En las dos captaciones existentes en el Estado de Guerrero, ambas en el río Papagayo y que surten de agua potable a la ciudad de Acapulco; La primera de ellas opera ininterrumpidamente desde hace mas de 30 años con el mismo caudal inicial de agua limpia, sin que se manifestaran problemas de corrosión o de cualquier otro tipo de daños en su utilización. Hace unos 20 años se pretendió mejorar las condiciones operativas de este pozo mediante un enérgico desarrollo basándose en descargas de aire comprimido. El trabajo se realizo concienzudamente extrayéndose grandes volúmenes de arena pero en su aforo realizado al finalizar el desarrollo, se obtuvo el mismo caudal previo al tratamiento de 500 l.p.s. lo que indica que el gasto desarrollado desde su construcción inicial era lo suficientemente amplio como para que el hecho de incrementarla mejorara la hidráulica de la captación.

El nuevo pozo radial construido en el río Papagayo, en las cercanías del primero, produce también un gasto similar de 500 l.p.s. y su construcción es demasiado reciente ( 1991 ) para sacar conclusiones de su funcionamiento. Unos años antes de su construcción se realizo una obra de toma directa de grandes proporciones cerca del río Papagayo, en la cual se pretendía obtener un gasto de explotación de 1000 l.p.s. y esta obra ha resultado en una constante fuente de problemas, pues durante las avenidas del río se azolva de arena, provocando altos costos de mantenimiento y frecuentes intentos de soluciones con canales de llamada sofisticados para tratar de solucionar el correcto funcionamiento de esta obra.

## CAPÍTULO 7

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los resultados de esta investigación, fundamentada en la metodología aplicada en la obtención y complementación de caudales necesarios para la población de Puerto Vallarta, Jal. a través del pozo radial en la confluencia de los ríos Ameca y Mascota, aportan parámetros valiosos que requieren ser tomados en cuenta para proponer soluciones adaptables a las necesidades de poblaciones medias e intermedias en el Estado.

Dadas las circunstancias particulares que prevalecen en el Estado, donde se agudiza cada año la problemática de la suficiencia en fuentes de abastecimiento de agua potable, se concluye que para cubrir la demanda creciente de las poblaciones, prioridad número uno, es la de investigar y desarrollar nuevas tecnologías que faciliten la obtención del mencionado elemento y abata costos en su extracción.

El pozo radial resulta una obra altamente competitiva respecto a los pozos convencionales, condicionado a que el sitio reúna las condiciones siguientes :

- 1.- Litológicas , asegurando un espesor de unos pocos metros de depósitos aluviales permeables ( materiales granulares).
- 2.-Hidrológicas, que se disponga de una fuente cercana de recarga , libre de contaminantes.
- 3.- Personal capacitado para su operación y distribución oportuna.

Se puede mencionar que un pozo radial reporta ventajas y ahorros respecto a una explotación equivalente para un mismo gasto de extracción (500 l.p.s.) basada en pozos convencionales, por sus menores costos operativos, vida mas larga y mayor eficiencia electromecánica, factores que inciden en la selección del sistema mas adecuado para el abasto de agua potable a determinada población, no obstante considerar un mayor desembolso inicial.

En México existen solamente dos captaciones de este tipo, ambas en el río Papagayo y surten de agua a la ciudad de Acapulco; la primera de ellas opera ininterrumpidamente desde hace mas de 30 años con el mismo caudal inicial de agua totalmente limpia, sin que se manifestaran problemas serios de mantenimiento por corrosión o de cualquier otro tipo en la captación.

Contamos tambien en Jalisco desde el año 2001, con los excelentes resultados obtenidos recientemente en la explotación de acuíferos en la confluencia de los ríos Ameca y del río Mascota, con un pozo radial para beneficiar a la población de Puerto Vallarta, donde se obtuvo un aforo de 710 l.p.s. de un pronostico esperado de 520 l.p.s.

Se recomienda la investigación continua de este tipo de obras en otros escenarios como son nuestras ciudades medias que requieren urgentemente de la búsqueda de otras fuentes de agua potable y sistemas de producción que les permita a costos razonables resolver sus coberturas necesarias sobre la base de una selección adecuada de acuíferos disponibles, con perfiles estratigráficos y geológicos que permitan su extracción optima

Se considera que las ciudades importantes del estado, que acusan serias deficiencias en el suministro eficiente y suficiente de agua son:

Guadalajara, Lagos de Moreno, Ciudad Guzmán, Ameca, Autlan, Ocotlan, La Barca. Ciudades medias e intermedias que demandan una mayor seguridad en la eficiencia de su cobertura a la población y están sujetas a la investigación de otras fuentes de abasto ya sean superficiales o subterráneas, que les permitan solucionar a corto y mediano plazo sus necesidades.

En esta investigación, juegan un papel muy importante los estudios iniciales con base satelital, necesarios para una primera localización de tramos de ríos con acumulación de aluviones y material adecuado en meandros y curvas con remansos, como puntos con potencialidad de recarga acuifera.

Se recomienda utilizar la metodología de investigación basada en el modelo utilizado en el sistema de pozo radial recientemente aplicado en la Cd. de Puerto Vallarta, Jalisco, México en base a las buenas experiencias obtenidas, que permita aportar soluciones viables en otras ciudades de nuestro Estado.

En base a cartografías del INEGI y estadística de lluvias, es factible calcular el volumen medio anual de escurrimiento y la recarga disponible en la cuenca de captación para el diseño geométrico y estructural de las dimensiones del pozo radial, así como al número de drenes radiales a considerar, su longitud apropiada, y el tipo de ademes a utilizarse. Este diseño preliminar permite a la vez obtener los datos para un precálculo del gasto aportado (l.p.s.) por cada uno de los drenes y determinar el gasto total a coleccionar en el pozo radial, para el proyecto ejecutivo de la obra civil y electromecánica, así como la planeación del programa de obra, suministros y equipo adecuado en el lugar para su ejecución.

En virtud de los procedimientos aplicados y la metodología utilizada en el diseño y el desarrollo en la construcción de esta obra, se advierte la falta de experiencia de compañías constructoras locales en este tipo de obra, por lo que se recomienda una mayor difusión y cultura de esta metodología en el ámbito Estatal y evitar depender de compañías internacionales con experiencia asegurada para su participación con equipo adecuado, sobretodo en la perforación y el hincado de los drenes horizontales, que requiere de sistemas poco utilizados en nuestro medio.

En estas actividades es conveniente llevar un control de todas las fases y sus efectos en caso de retrasos, por lo que es necesario un seguimiento efectivo en su programación en su fase de planeación y de ruta critica en su desarrollo total.

El organismo operador del sistema de agua potable requiere contar con una administración de proyecto adecuada para todas las acciones preventivas y correctivas necesarias en el desarrollo integral del proyecto en este tipo de explotación y disponer de un sistema de captura de datos para una estadística confiable en sus resultados y en todos los procesos previstos en las obras. La debida instrumentación y monitoreo en las

estructuras principales, detectando oportunamente los efectos por los arrastres de las avenidas extraordinarias del río.

La investigación del uso de pozos radiales en sitios apropiados por sus características, permite recomendar economías importantes en los gastos de operación de los sistemas de producción al obtener mejor calidad del agua, con la utilización de grandes filtros naturales sin contaminantes físicos y bacteriológicos prácticamente.

En el aspecto ecológico es muy importante recalcar que se eviten descargas de contaminantes en el cauce y del sitio seleccionado, aguas arriba del mismo y en sus inmediaciones, para que este siga funcionando como un cauce limpio.

Es de vital importancia además, que durante la operación del sistema se tenga un constante monitoreo de la calidad del agua tanto en el sitio de la extracción como en los alrededores para así garantizar la calidad del fluido.

Como una conclusión final, me permito anexar las recomendaciones que se tienen en la carta Europea del agua, para su observación continua y permanente.

#### CARTA EUROPEA DEL AGUA

- Sin agua, no hay vida posible. Es un bien escaso, indispensable en toda actividad humana.
- Los recursos de agua dulce no son inagotables. Es indispensable preservarlos, controlarlos y, si fuera posible, hacerlos crecer.
- Alterar la calidad del agua es perjudicial para la vida del hombre y de los seres vivos que de ella dependen.
- La calidad del agua ha de ser preservada de acuerdo con normas adaptadas a las diferentes utilidades previstas y satisfacer, especialmente, las exigencias sanitarias.
- Cuando las aguas, después de utilizarlas, se devuelvan a la naturaleza no habrán de comprometer la posterior utilización pública o privada que de estas se haga.
- El mantenimiento de la cobertura vegetal adecuada, preferentemente forestal, es esencial para los recursos hídricos.
- Los recursos hídricos se han de inventariar.
- Para una adecuada administración del agua es necesario que las autoridades competentes establezcan unos criterios de actuación.

- La protección de las aguas implica un importante esfuerzo tanto en la investigación científica, como en la preparación de especialistas y en formación del público.
- El agua es un patrimonio común, su valor ha de ser reconocido por todos. Todo el mundo tiene el deber de utilizarla con cuidado y no malgastarla.
- La administración de los recursos hídricos debería de ceñirse más en el marco de las cuencas naturales que en el de las fronteras administrativas y políticas.
- El agua no tiene fronteras. Es un recurso común que necesita de la cooperación internacional.

# BIBLIOGRAFÍA

Servicios de agua potable y alcantarillado de Puerto Vallarta (1999), Estudios, diseños, hincado y control en el proceso de ejecución del sistema de pozo radial en el río Ameca para Puerto Vallarta, Jalisco. Seapal- Vallarta Estudios

Servicios de agua potable y Alcantarillado de Puerto Vallarta (2001), Sistema de Instrumentación y monitoreo del pozo radial en el río Ameca.

Chow Ven Te, Maidment, David R. y Mays, Larry W., Hidrología aplicada (2000), MacGraw Hill Interamericana, Primera edición, Santa Fe.

Meadows Donella H., Meadows Dennis I, Randers Jorge (1991), Mas allá de los límites del crecimiento. Club de Roma.

Meritano A. Jacinto (2000), Estudio en base a imágenes multiespectaculares de satélite y métodos geotécnicos con fines de detección de las megaestructuras geológicas susceptibles de contener agua subterránea en el Estado de Jalisco. Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco.

Reynolds, Inc. (1990), Radial Collectors. 3840 Prospect street Indianapolis, In. 462003

Ranney Division Layne Christensen Company,(1991), Ranney radial collectors, Ranney radial intakes and Ranney infiltration Galleries. 801 w cherry street, Sunbury, Ohio 43074

Tortejada Cecilia y BISWAS Asit k. (1990), Estudio de Comisión Nacional del Agua Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Comisión Nacional Forestal, Semarnap, Boletín (2003), Unidad de comunicación social. <http://www.conafor.gob.mx>

Aguas.htm. HTML Document

Asesores en Cimentaciones S.A. de C. V. ( 1998), Estudio de exploración geohidrologica para pozo radial en Puerto Vallarta, Jalisco para la Comisión Nacional de Agua ( C.N.A.)

# **GLOSARIO**

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**POZO RADIAL.-** Perforación somera con cilindro de concreto, hincado en el acuífero permeable del río, al cual convergen drenes horizontales, perforados perpendicularmente al cilindro.

**MEANDROS.-** Depósitos y playones del río, con acumulación de gravas y arenas que permiten la retención y acumulación de bolsas de agua.

**AGUAS SUBALVEAS.-** Lagos debajo del río o arroyo, en suelos donde predominan los materiales permeables, que permiten depósitos factibles de ser explotados.

**BASE SATELITAL.-** Estudios con fotos aéreas desde satélites, que permiten determinar sitios con características favorables para depósitos de agua subterránea.

**ALUVIONES.-** Depósitos arenosos o arcillosos, que quedan después de retirarse las aguas.

**MANTO FREÁTICO.-** Capa de agua en un estrato permeable del suelo.

**CUENCAS.-** Territorio cuyas aguas afluyen a un mismo río, lago o mar.

**CAJON TIPÓ INDIO.-** Caja profunda que se hace en la tierra para sacar agua y suele revestirse de concreto o piedra.

**GALERIAS FILTRANTES.-** Estructuras largas y subterráneas, cubiertas con materiales filtrantes, para permitir la conducción y extracción del agua.

**GEOMORFOLÓGICO.-** Ciencia que ayuda a describir las formas del relieve terrestre.

**TAPON ESTANCO.-** Pieza con que se tapa el pozo para sellar la filtración de agua en el fondo del mismo.

**CARCAMO.-** Cajón construido y revestido para almacenar aguas superficiales .

**RETROLAVADO.-** Acción y efecto del bombeo de agua discontinuo.

**INTRUSIÓN MARINA.-** Acción de introducir el agua de mar dentro de un manto de agua dulce subterráneo.

**AGUAS PERENNES.-** Aguas que no se acaban nunca.

**ALUMBRAMIENTO.-** Descubrimiento de aguas subterráneas

**POZOS SOMEROS.-** Pozos superficiales, de poca profundidad

# **STESIS** **ELECCIONADA**

**TESIS · COPIAS A COLOR Y BCO Y NEGRO · ACETATOS ·  
TRANSCRIPCIÓN EN COMPUTADORA · ENMICADO · LAMINADO ·  
ENCUADERNACIONES PASTA DURA Y DELGADA · FORROS P/ LIBRO ·  
ENGARGOLADOS CON ESPIRAL DE METAL Y DE PLASTICO ·  
PORTA GAFETTE ·**

**MORELOS 565 TEL 36 14 38 34  
ENRIQUE GLEZ. MTZ. 25 - 1 TEL 36 14 83 90  
FAX 36 14 01 34**

