



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"PROYECTO DE RECARGA DE UN  
ACUIFERO EN LA SIERRA DE  
SANTA CATARINA"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

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

**RODOLFO MARTINEZ CRUZ**



MEXICO, D. F.

1999

TESIS CON  
PALLA DE ORIGEN

2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-055/98

Señor  
**RODOLFO MARTINEZ CRUZ**  
Presente

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

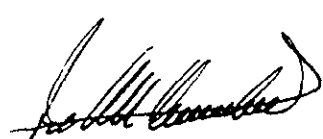
**"PROYECTO DE RECARGA DE UN ACUIFERO EN LA SIERRA DE SANTA CATARINA"**

- I. INTRODUCCION**
- II. ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS**
- III. TRATAMIENTO Y UTILIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES**
- IV. DISEÑO DE LA CIMENTACION DE LOS ESTANQUES Y DE LOS TALUDES**
- IV. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 24 de marzo de 1998.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS  
JMCS/GMP\*lmf

## INDICE

## Página

Introducción	2
1. Estudio de Mecánica de suelos	8
1.1 Pruebas de campo	8
Método de penetración estándar	11
1.2 Pruebas de laboratorio	15
Estratigrafía	18
Propiedades de los suelos	24
Prueba de Lugeon	26
Trabajos de campo (prueba de Lugeon)	28
Resultados de la prueba Lugeon	30
Pruebas de permeabilidad	37
Pruebas de gravedad	40
Ensayes de laboratorio	42
2. Tratamiento y utilización de las aguas residuales	48
Plantas de tratamiento existentes	49
2.1 Tratamiento preliminar	54
2.2 Tratamiento primario	56
2.3 Tratamiento secundario	58
2.4 Desinfección y cloración	60
2.5 Línea de conducción	63
3. Diseño de estanques	67
Propiedades de los bancos de material	68
3.2 Construcción de taludes	72
Fallas que pueden ocurrir en los taludes	73
Análisis de la estabilidad de los taludes	74
Diseño de los taludes para la construcción de los estanques	77
Cálculo de la estabilidad de los taludes	82
3.3 Construcción del fondo de la laguna	91
4. Conclusiones	93
Bibliografía	97

# PROYECTO DE LA RECARGA DE UN ACUIFERO EN LA SIERRA DE SANTA CATARINA

## INTRODUCCION

- 1.- Estudio de mecánica de suelo
  - 1.1.- Prueba de campo
  - 1.2.- Prueba de laboratorio
  
- 2.- Tratamiento y utilización de las aguas residuales
  - 2.1.- Tratamiento preliminar
  - 2.2.- Tratamiento del agua residual a nivel primario
  - 2.3.- Tratamiento del agua residual a nivel secundario
  - 2.4.- Desinfección y cloración
  - 2.5.- Línea de conducción
  
- 3.- Diseño de cimentación de los estanques y de los taludes
  - 3.1.- Estudio de bancos de materiales
  - 3.2.- Construcción de taludes
  - 3.3.- Características de la construcción del fondo de los estanques
  
- 4.- Conclusiones.

## INTRODUCCION

El agua es un recurso indispensable para la vida y para el desarrollo de las actividades productivas del hombre. La disponibilidad mundial de agua es muy amplia, pero desgraciadamente la mayor parte de ella tiene, en forma natural, un contenido muy alto de sólidos disueltos que imposibilita su uso como bebida y para el desarrollo de la agricultura y de gran número de actividades industriales, esto se puede corroborar de la información del siguiente cuadro, en el que se muestra la distribución del agua en el planeta y de donde destaca que casi el 97% se encuentra en los mares y océanos.

FUENTE	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )
Mares y océanos	1,321 x 10 <sup>15</sup>
Hielo polar y glaciares	37.5 x 10 <sup>15</sup>
Agua subterránea	4.2 x 10 <sup>15</sup>
Lagos y embalses	125,000 x 10 <sup>9</sup>
Humedad del suelo	66,700 x 10 <sup>9</sup>
Humedad atmosférica	12,900 x 10 <sup>9</sup>
Ríos	1,250 x 10 <sup>9</sup>

A continuación se describe la disponibilidad, demanda de agua y balances hidráulicos para el país. Estimada para los años 1980, 1990 y 2000.

Para satisfacer las necesidades de los diferentes usuarios del agua se cuenta con dos grandes fuentes de abastecimiento, por un lado, se tiene el escurrimiento superficial y, por otro, el agua subterránea. En las regiones Pacífico Sur Istmo, Papaloapan y Grijalva Usumacinta, que constituye únicamente el 13% de la superficie del país, se presenta más del 50% de escurrimiento medio anual, en cambio de las regiones Baja California, Bravo y Cuencas cerradas, con una superficie equivalente al 40% del total nacional, se tiene un escurrimiento superficial de apenas el 3%.

Para 1980 la demanda total fue de 55,939 millones de m<sup>3</sup> y correspondió a las actividades agropecuarias una extracción del 82%. Las extracciones para la industria y el agua potable fueron del 10% y 18%, respectivamente.

Para los años 1990 y 2000, la demanda se estima en 87,115 y 118,934 millones de metros cúbicos respectivamente.

El incremento nacional en la demanda de agua, en el periodo de 1980-1990, será de 56% y corresponderá al agua potable en un incremento en la demanda del 37%.

De la comparación de la disponibilidad de agua y la demanda en los diferentes años, es posible establecer un balance que identifique las regiones en las que se tiene déficit de agua. La situación de déficit obliga a tomar medidas para satisfacer la demanda de agua, ya sea aumentando la disponibilidad o modificando las características de la demanda. Para aumentar la disponibilidad se plantean dos alternativas: el reuso del agua y la transferencia de aguas de cuencas vecinas.

Puede mencionarse que en las regiones identificadas con déficit la mayor parte de las localidades importantes presentan conflictos para su abastecimiento de agua potable, tales son los casos de: Tijuana, Ensenada, Ciudad Juárez, Reynosa, Matamoros y la Ciudad de México.

La solución al problema de disponibilidad de agua no es sencilla no existe una solución única, ésta se tiene que dar tomando diferentes medidas, entre las que se cuentan:

- a) Aumentar la disponibilidad mediante la importación de agua de cuencas vecinas.
- b) Establecer políticas de cambio de uso, como puede ser el cierre de zonas agrícolas para aprovechar los volúmenes de agua liberados en actividades industriales o en el abastecimiento a las poblaciones.
- c) Implantar medidas de uso eficiente del agua en las ciudades.
- d) Propiciar el uso del agua residual, tratada hasta obtener los niveles de calidad requeridos por los diferentes posibles usuarios.

El constante aumento en la demanda de agua y las inversiones cada vez mayores para satisfacerla, hacen necesario reutilizar el agua. Desde hace varias décadas, se ha reconocido el evitar el empleo de agua potable en usos que no requieren de esa calidad. Es así que desde

los años 50's, inició la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad y se realizaron estudios con el fin de sentar bases sólidas para el desarrollo del reuso del agua en la ciudad.

Con la información disponible se han establecido diversas posibilidades para el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas tomando en cuenta las necesidades a satisfacer en la medida en que los usos del agua se aproximen a la calidad que se requiere para que el agua pueda beberse.

Una de estas alternativas es la recarga artificial del acuífero utilizando agua residual tratada. Debido a que la carga natural se ha visto afectada por la urbanización. Esto ha motivado el desequilibrio en el acuífero, ya que la sobreexplotación y la disminución de la recarga natural han provocado los asentamientos del subsuelo de la ciudad, generando problemas en la infraestructura, así como la necesidad de importar agua de fuentes lejanas con el elevado aumento en los costos.

De acuerdo a esto, se construyeron obras importantes para realizar la recarga artificial, en 1994, se construyó la infraestructura que permite la recarga masiva de agua residual tratada en la Sierra de Santa Catarina, donde se emplean lagunas de infiltración con superficie de 4 hectáreas (primera etapa), siendo utilizado para ello el efluente de la Planta de Tratamiento Cerro de la Estrella (actualmente cuenta con tratamiento terciario), generando un volumen de agua residual tratada de  $4\text{m}^3$  por segundo. En las figuras A y B se muestra la zona de recarga.

Para que la recarga artificial se efectúe mediante las lagunas de infiltración se tiene presente que el agua del acuífero en la Sierra de Santa Catarina presenta alto contenido salino y no es aprovechable actualmente. El agua infiltrada sufrirá un filtrado por el medio granular que atravesará y modificará la calidad del agua del acuífero.

El reuso o la infiltración de agua residual tratada, a través de estanques ubicados en la Sierra de Santa Catarina, presenta la doble ventaja de, efectuar una purificación adicional del efluente y de permitir su almacenamiento.



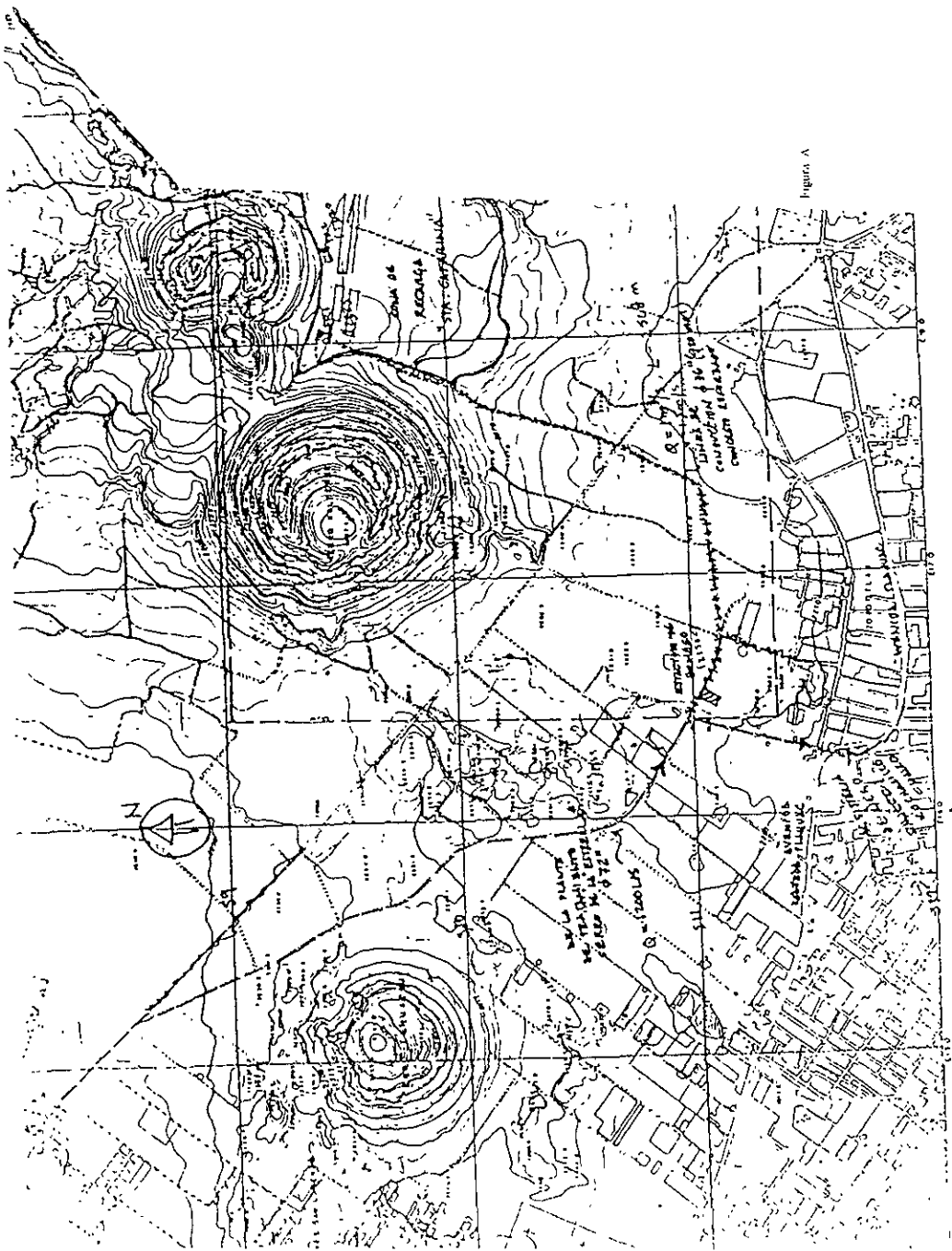
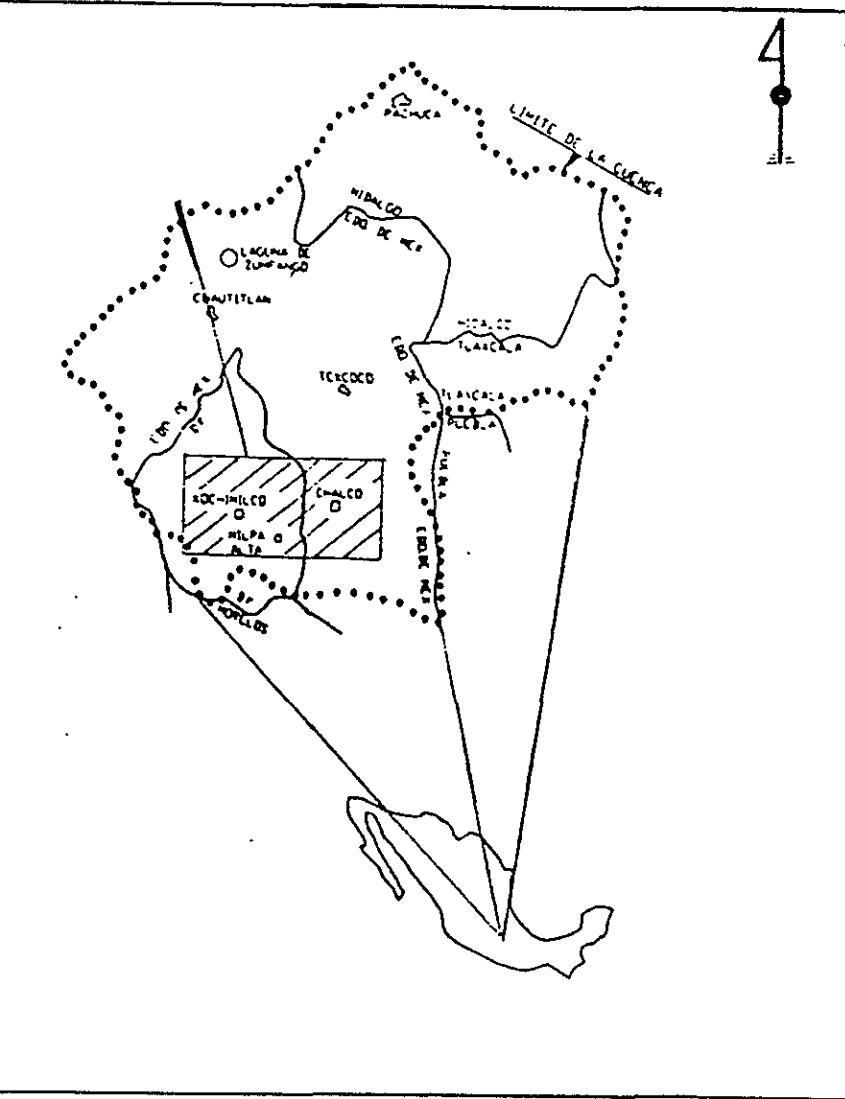


Figura B LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO



La recarga ofrece un medio efectivo de incrementar los usos potenciales de aguas residuales adecuadamente tratadas y constituye un medio biológico eficiente y confiable de tratamiento capaz de reducir apreciablemente la concentración de varias sustancias indispensables. Además, mediante la carga, el efluente perdería su identidad y en consecuencia se haría más aceptable su reuso.

Existe una conducción de aguas residuales tratadas proveniente de la Planta de Tratamiento Cerro de la Estrella, a través de la cual se pueden derivar volúmenes de agua hacia las lagunas ( $1\text{m}^3/\text{s}$ )

El objeto de las lagunas es el permitir la infiltración de agua al subsuelo en donde los materiales que lo constituyen sirven como un filtro adicional.

En pruebas iniciales de operación de la laguna posteriores a su construcción, se vertieron en los estanques caudales alrededor de  $500\text{ l/s}$ , los que se infiltraron rápidamente al subsuelo. Se desconocen los volúmenes de agua infiltrados, así como el tiempo de operación de las lagunas.

El acuífero se ubica bajo las lagunas de infiltración presenta agua con cierto grado de salinidad. Esta no es apropiada para consumo humano. Esta fue una de las causas por las cuales se ha permitido la inyección de aguas residuales, ya que la calidad del agua existente en el acuífero es ya deficiente. Por otra parte la adición al acuífero de agua tratada con bajo contenido salino origina una mezcla que mejora la calidad del agua del acuífero.

La calidad del agua del acuífero se presenta en este caso, a través de los análisis efectuados a los pozos de monitoreo que se ubican en las cercanías de las lagunas.

# 1.- ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS

## 1.1. PRUEBAS DE CAMPO

a).- Pozos a cielo abierto.

Cuando este método sea practicable debe considerársele como el más satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Este tipo de excavación no puede llevarse a grandes profundidades a causa sobre todo, de la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático; naturalmente que el tipo de suelo de los diferentes estratos atravesados también influye grandemente en los alcances del método en sí. La excavación se encarece mucho cuando son necesarios ademas y haya excesivos traspaleos a causa de la profundidad. Una arcilla dura puede, con el tiempo, aparecer como suave y esponjosa a causa del flujo de agua; análogamente, una arena compacta puede presentarse como semifluida y suelta por el mismo motivo, es recomendable siempre que se haga un pozo a cielo abierto se lleve un registro completo de las condiciones del subsuelo durante la excavación, hecho por un técnico conocedor.

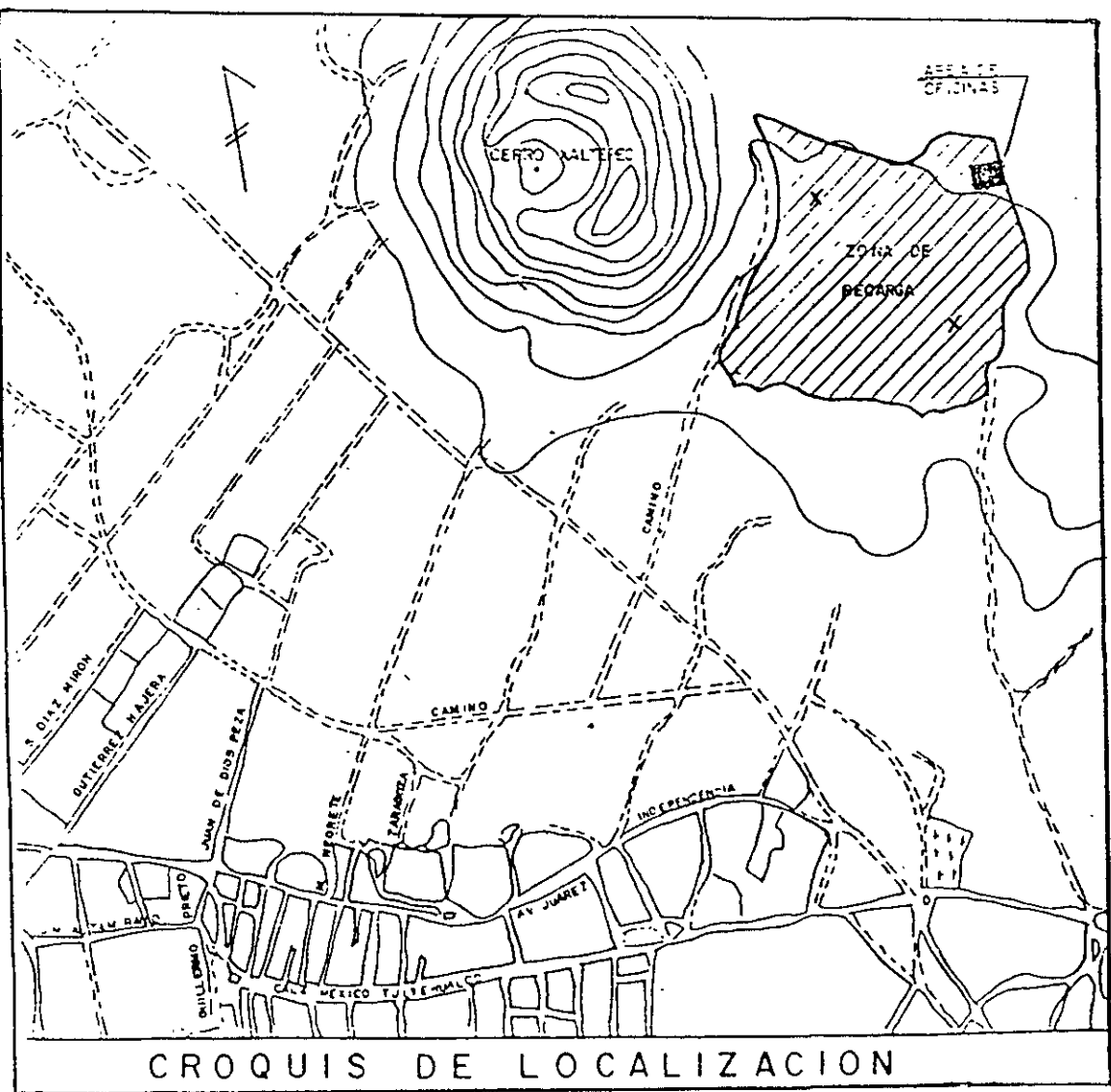
En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos que se hayan encontrado. Las muestras alteradas son simplemente porciones de suelo que se protegerán contra pérdidas de humedad introduciéndolas en frascos o bolsas emparafinadas.

Las muestras inalteradas deberán tomarse con precauciones, generalmente labrando la muestra en una oquedad que se practique al efecto en la pared del pozo. La muestra debe protegerse contra pérdidas de humedad envolviéndolas en una o más capas de manta debidamente impermeabilizadas con brea y parafina.

En la zona de estudio se llevaron a cabo sondeos mediante pozos a cielo abierto, se ha conocido que la zona esta formada por materiales granulares de origen volcánico como arenas limosas y limos arenosos, incluso con la aparición de gravas, boleos y roca

De la superficie del terreno hasta una profundidad variable de 2 a 3 m. Se detecta una serie de depósitos limo arenosos y arena limosos en colores café claro y oscuro con gris, los cuales presentan algunas concentraciones de carbonatos de calcio, la arena limosa se presenta además con grava y boleos. Subyaciendo a esta capa de materias arenosos se localizó tezontle en colores gris y café rojizo.

La ejecución de estos sondeos se realizaron en los lugares señalados en la figura 1.



Ubicación de los pozos a ciclo abierto.

Figura 1

## b) Método de penetración estándar

Este procedimiento es, entre todos los exploratorios preliminares, quizá el que rinda mejores resultados en la práctica y proporciona más útil información en torno al subsuelo.

En suelos puramente friccionantes la prueba permite conocer la compacidad de los mantos que, es una característica fundamental respecto a su comportamiento mecánico. Además el método llevará implícito un muestreo que proporciona muestras alteradas representativas del suelo en estudio.

El equipo necesario para aplicar el procedimiento consta de un muestreador especial (muestreador o penetrómetro estándar) de dimensiones establecidas, que aparecen en la figura 1.2.

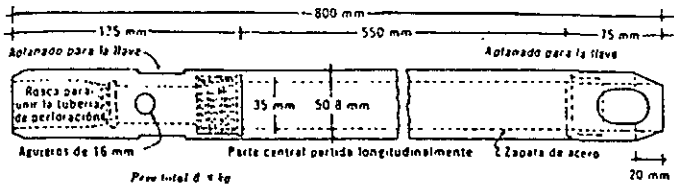


Figura 1.2 Penetrómetro Estándar

El penetrómetro se enrosca al extremo de la tubería de perforación y la prueba consiste en hacerlo penetrar a golpes dados por un martinete de 63.5 Kg. Que cae desde 76 cm, contando el número de golpes necesario para lograr una penetración de 30 cm. El martinete, hueco y guiado por la misma tubería de perforación es elevado por un cable que pasa por una polea del trípode y dejando caer desde la altura requerida contra un ensanchamiento de la misma tubería de perforación hecho el efecto. En cada avance de 60 cm. debe retirarse el penetrómetro, removiendo al suelo de su interior, el cual constituye la muestra.

El fondo del pozo debe ser previamente limpiado de manera cuidadosa. Una vez limpio el pozo, el muestreador se hace descender hasta tocar el fondo.

Y, seguidamente a golpes, se hace que el penetrómetro entre 15 cm dentro del suelo. Desde este momento deben contarse los golpes necesarios para lograr la penetración de los siguientes 30 cm. A continuación hágase penetrar el muestreador en toda su longitud. Al retirar el penetrómetro, el suelo que haya entrado en su interior constituye la muestra que puede obtenerse con este procedimiento.

La utilidad e importancia mayores de la prueba de penetración estándar radican en las correlaciones realizadas en el campo y en el laboratorio en diversos suelos, sobre todo arenas, que permiten relacionar aproximadamente la compacidad, el ángulo de fricción interno y el valor de la resistencia con el número de golpes necesarios en ese suelo para que el penetrómetro estándar logre entrar los 30 cm especificados. Ver. figura 1.3

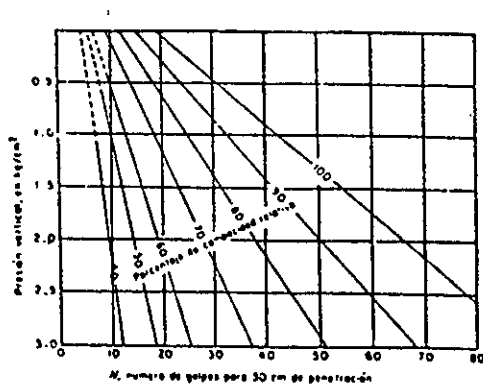


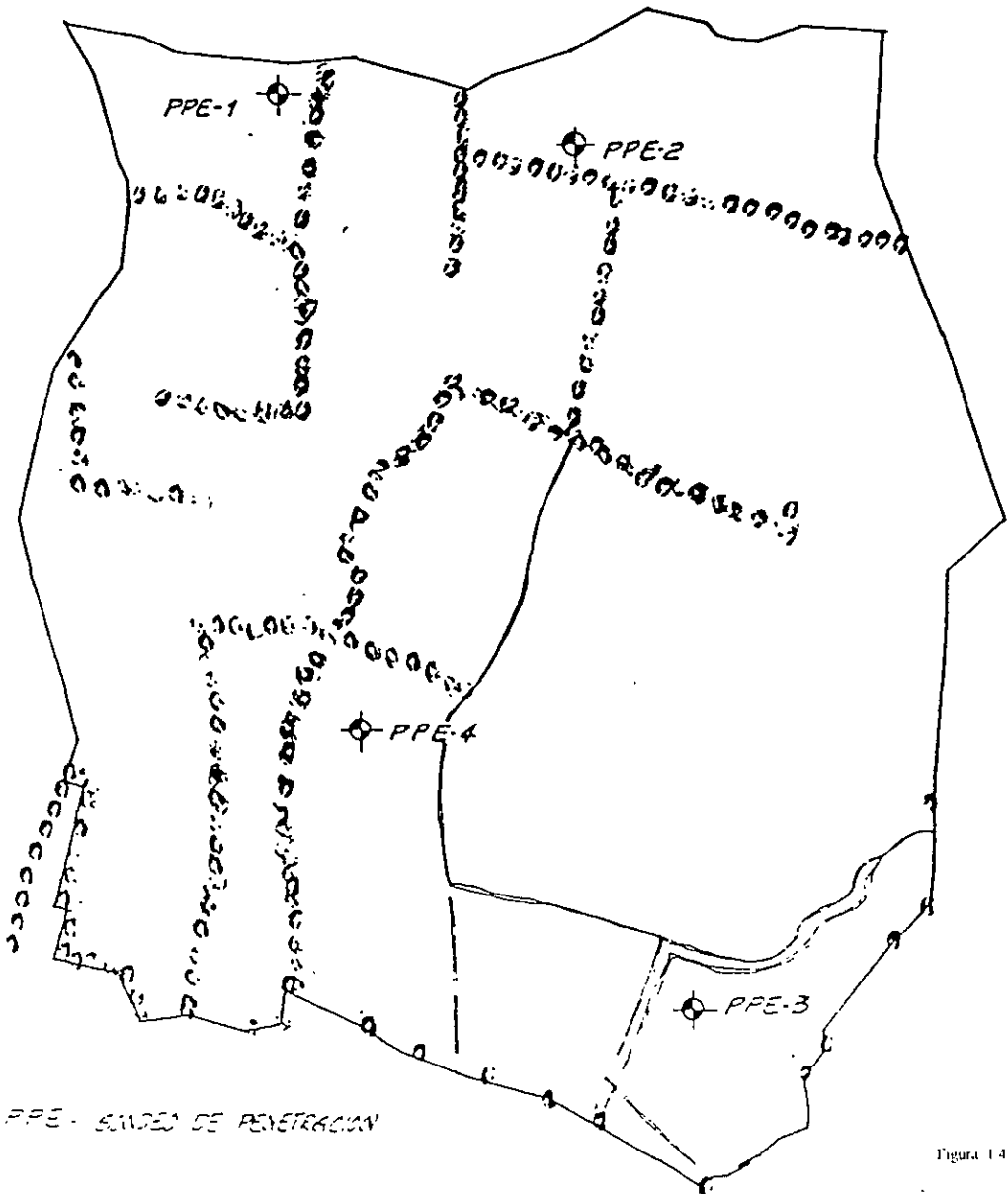
Figura 1.3 Relación entre la penetración estándar, la presión vertical y la compacidad relativa para arenas



Los trabajos de campo consistieron en la realización de cuatro sondeos de penetración estándar cuya localización se presenta en la figura 1.4.

De los sondeos de penetración realizados se pueden estimar una resistencia al esfuerzo cortante, mediante el número de golpes necesario para hincar el penetrómetro. De los sondeos descritos se obtuvieron además de los valores de penetración, muestras alteradas de las que se obtuvo la clasificación y algunas propiedades que se describen a continuación:

# CROQUIS DE LOCALIZACION DE SONDEOS



... PPE - SONDEO DE PENETRACION

Figura 14

## 1.2 PRUEBAS DE LABORATORIO

### a) Estratigrafía

Los datos recabados permitirán establecer una columna geológica que ayude a determinar la relación que existe entre las formaciones presentes y su distribución local y regional.

Se debe mencionar el nombre de las unidades o formaciones existentes y se dará su definición, para facilitar la comunicación entre geólogos y geotécnicos.

### b) Porcentaje de finos ( % f ).

Suelo bien graduado; es aquel suelo que tiene granos de todas las medidas este tendrá un mejor comportamiento ingenieril, al compactarlo las partículas se acomodan mejor.

Suelo mal graduado; es aquel suelo cuyas partículas son uniformes.

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ( SUCS ).

Las gravas y las arenas se separan con la malla del #4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G (grava), si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla #200 ) no pasa la malla #4, y es del grupo genérico S (arena), en caso contrario.

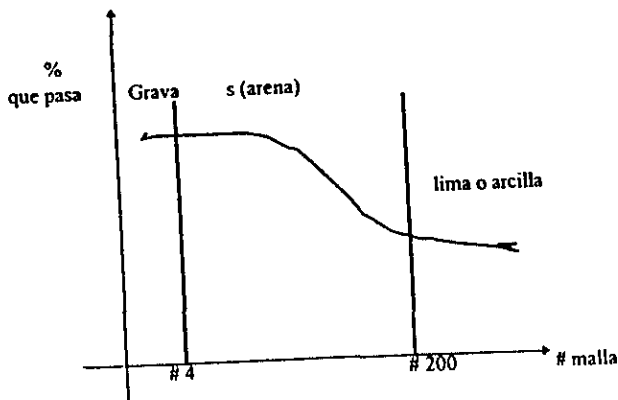


Figura 1 5

c) Relación de vacíos ( $e$ )

Se denomina relación de vacíos, oquedad o índice de poros a la relación entre volumen de los vacíos y el de los sólidos de un suelo; y se determina mediante la expresión sig.:

$$V_v = \text{Volumen de vacíos}$$

$$e = V_v/V_s \quad \text{Donde:}$$

$$V_s = \text{Volumen de sólidos}$$

d) Densidad de sólidos ( $S_s$ )

La densidad de sólidos es la relación entre el peso volumétrico de sólido y el peso volumétrico del agua; se determina mediante la expresión siguiente:

$$S_s = \gamma_s/\gamma_w$$

$\gamma_s$ ; peso volumétrico de sólidos

Donde:

$\gamma_w$ ; peso volumétrico del agua

e) Angulo de fricción interna ( $\phi$ )

El ángulo de fricción interna se determina a través de pruebas triaxiales y se correlacionan con el número de golpes de prueba de penetración estándar. Apoyándose en la figura 1.6

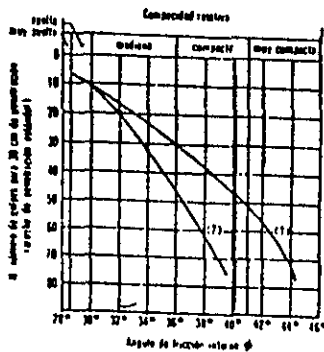


Figura 1.6 Correlación entre el número de golpes para 30 cm de penetración estándar y el ángulo de las arenas

La estratigrafía como primera característica estudiada nos señala la existencia de materiales granulares limo arenoso. al cual subyacen arenas limosas con grava y boleos así como tezontle de alta compacidad y resistencia.

Se obtuvieron algunas propiedades directas que confirman las clasificaciones y son el punto de partida, junto con el número de golpes a la penetración estandar, para la determinación empírica de otras propiedades y características que nos señalan un aumento de la compacidad y resistencia de la profundidad.

Tomando en cuenta todas las propiedades investigadas se calcula la capacidad de carga del terreno de cimentación:

## **ESTRATIGRAFIA**

En las figuras 1.7 a 1.10 se presentan las estratigrafías de los sondeos realizados, así como los perfiles de número de golpes a la penetración estándar obtenidos.

La estratigrafía de los sondeos realizados se obtuvo a través de la clasificación manual y al tacto de materiales en campo, y por medio de la clasificación detallada de las muestras en el laboratorio, y en términos generales es como sigue:

De la superficie del terreno hasta una profundidad variable entre 4m y 9m se localiza una serie de depósitos limo arenoso y arena limosos en colores café claro y oscuro con gris, los cuales presentan alguna concentración de carbonatos de calcio, la arena limosa se presenta además con grava y boleos. Subyaciendo a esta serie de materiales arenosos se localizó en los sondeos de penetración 1 y 3, tezontle en colores gris y café rojizo.

La estratigrafía señalada es representativa hasta la profundidad investigada, tomando en cuenta que las profundidades finales de exploración en los sondeos realizados fue de:

<b>Sondeo</b>	<b>Profundidad (m)</b>
PPE1	9.00
PPE2	9.00
PPE3	7.50
PPE4	5.00

PPE: Prueba de Penetración Estándar.

SANTA CATARINA SONDEO PPE1

NUMERO DE GOLPES A LA PENETRACION

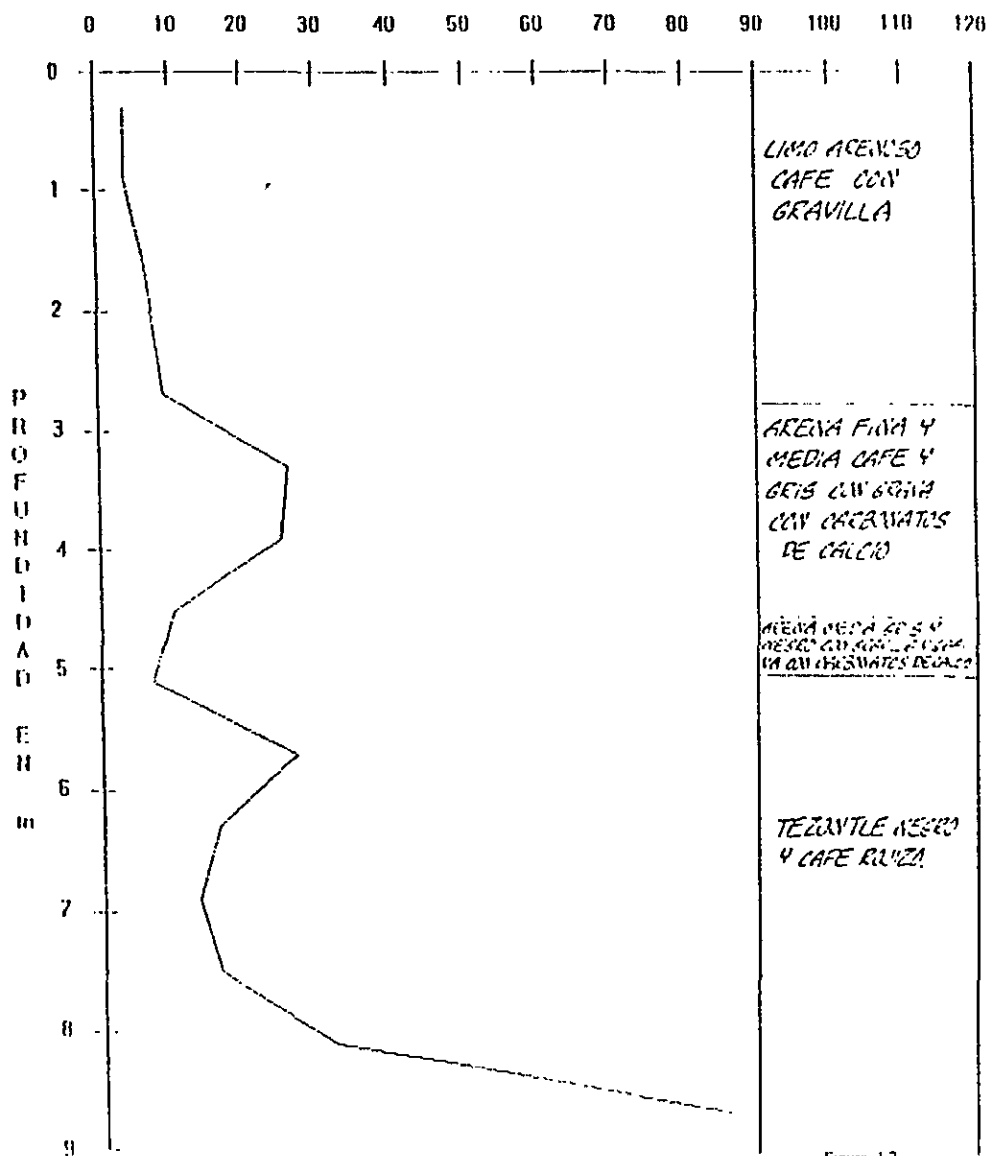


Figura 17

SANTA CATARINA SONDEO PPE2

NUMERO DE GOLPES A LA PENETRACION

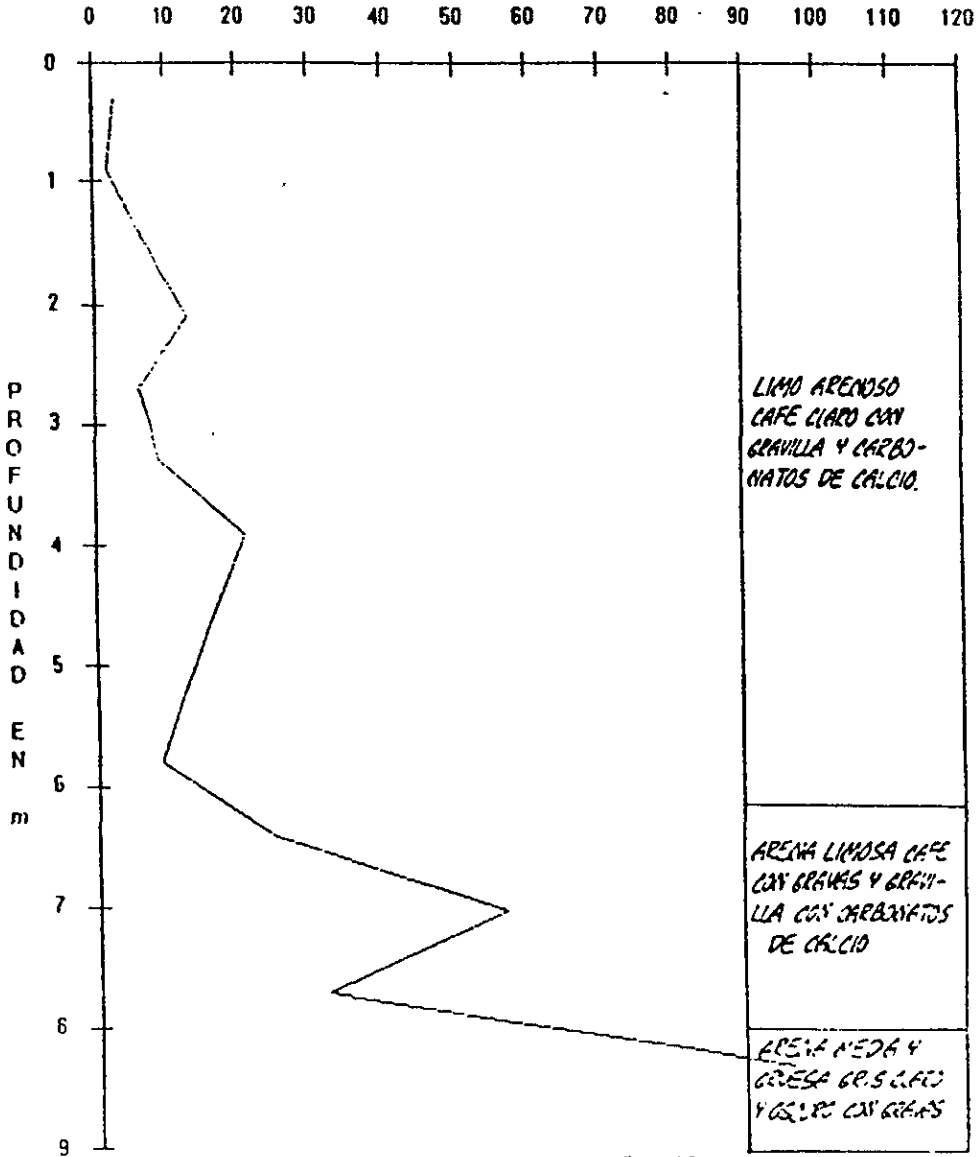


Figura 18



SANTA CATARINA SONDEO PPE3

NUMERO DE GOLPES A LA PENETRACION

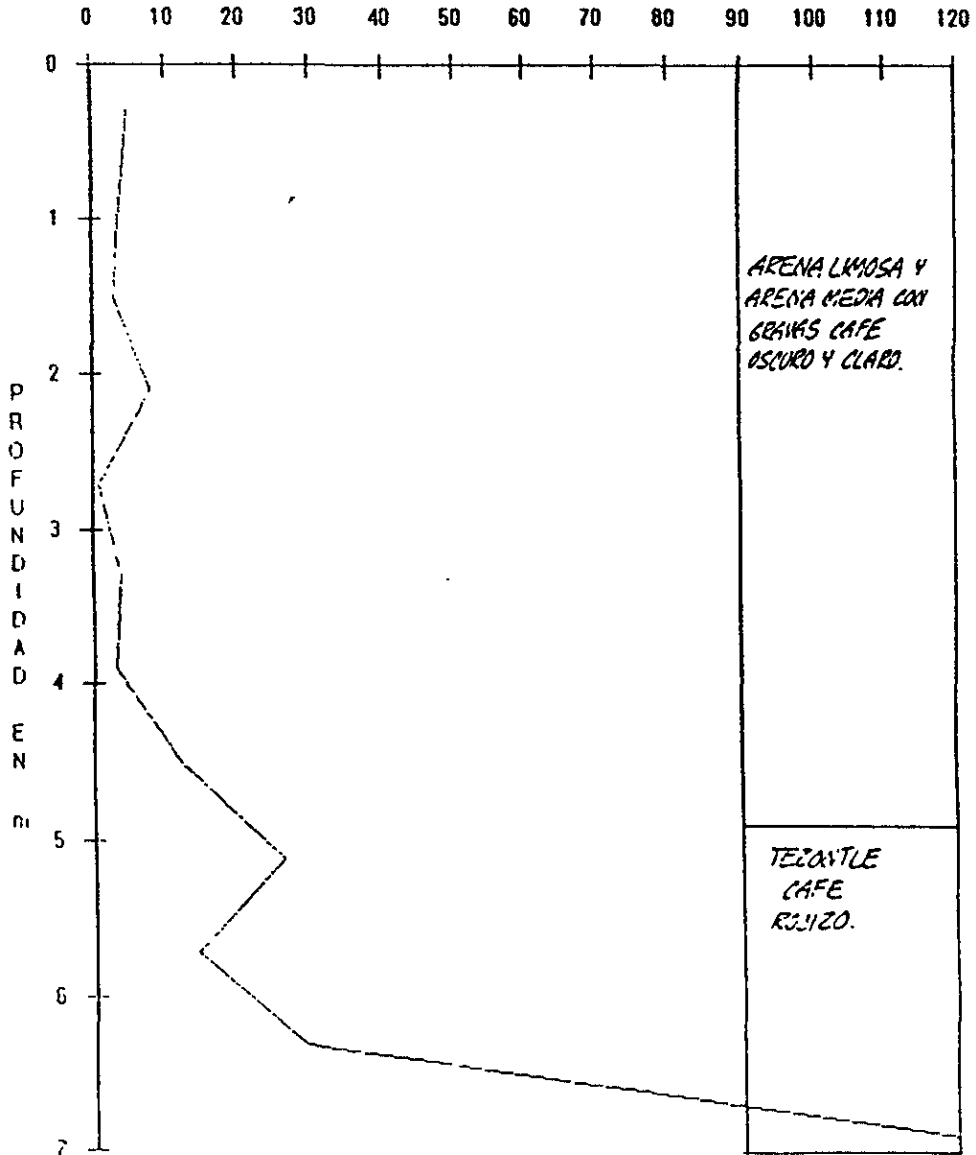


Figura 19

SANTA CATARINA SONDEO PPE4

NUMERO DE GOLPES A LA PENETRACION

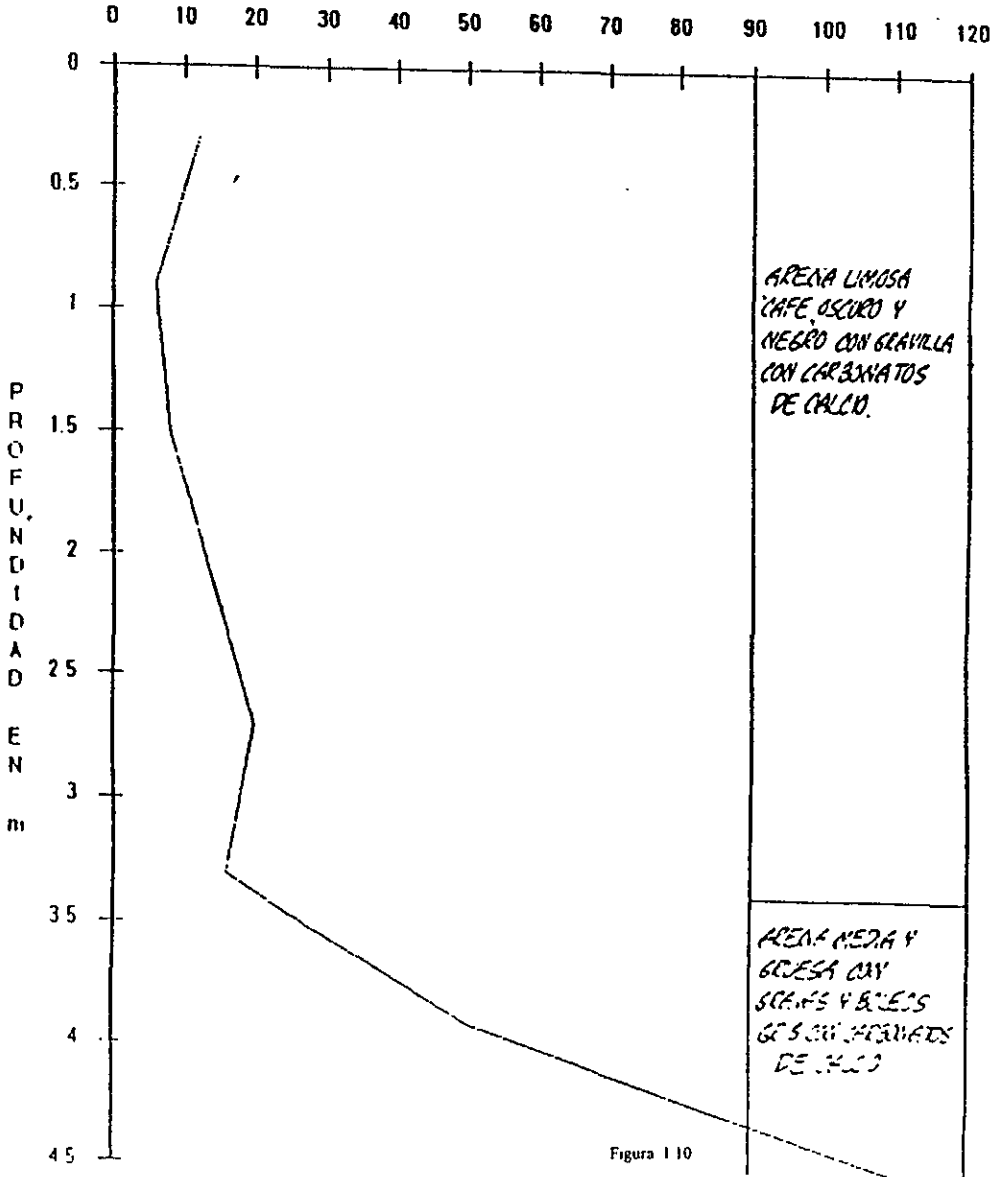


Figura 110

## PORCIENTOS DE FINOS Y DENSIDAD DE SOLIDOS

SONDEO	PROF. (m)	%FINOS	Ss
PPE1	1.60	38	2.70
PPE1	3.80	33	2.73
PPE1	7.80	10	2.69
PPE2	0.90	30	
PPE2	4.50	26	2.68
PPE2	8.50	17	
PPE3	1.20	29	
PPE3	2.40	24	
PPE3	5.50	10	
PPE4	0.40	37	
PPE4	2.80	20	
PPE4	3.95	12	

### NOMENCLATURA

PPE1	SONDEO DE PENETRACION
PROF.	PROFUNDIDAD
%FINOS	PORCIENTO DE FINOS
Ss	DENSIDAD DE SOLIDOS

Figura 1.11

## PROPIEDADES

En esta investigación se obtuvieron propiedades directas a través del análisis de muestras alteradas en el laboratorio, y por otra parte propiedades o características estimadas de acuerdo a las condiciones empíricas que nos permite la prueba de penetración estándar.

Las propiedades directas investigadas de las muestras alteradas obtenidas se presentan en la figura 1.11, y son el porcentaje de finos (%F) y la densidad de sólidos (Ss). Los resultados considerados en esta figura nos permite concluir que los materiales granulares estudiados presentan una disminución de finos con la profundidad lo cual resulta concordante con la estratigrafía, ya que ésta señala materiales mas finos en la superficie. Por otra parte los resultados de la densidad de sólidos nos indica que los materiales tienen un peso específico alto.

En base a los resultados de las dos pruebas directas investigadas y tomando en cuenta principalmente los valores del número de golpes a la penetración estándar, se obtuvieron las siguientes características de los depósitos encontrados:

### SONDEO PPE1

PROF. m	COMPACIDAD	DR	$\epsilon$	$\phi$	Núm. golpes
0.00-2.70	SUELTO	0.3	0.7	32°	10
2.70-4.50	MEDIANAMENTE COMPACTO	0.5	0.6	35°	15
4.50-5.00	SUELTO	0.2	0.7	30°	8
5.00-7.50	MEDIANAMENTE COMPACTO	0.5	0.6	35°	18
7.50-9.00	MUY COMPACTO	0.8	0.4	45°	80

### SONDEO PPE2

PROF. m	COMPACIDAD	DR	$e$	W%	$\phi$	n
0.00-3.40	SUELTO	0.3	0.7		32°	10
3.40-5.20	MEDIANAMENTE COMPACTO	0.5	0.6		35°	15
5.20-6.20	SUELTO	0.2	0.7		30°	10
6.20-8.00	COMPACTO	0.7	0.5		35°	40
8.00-9.00	MUY COMPACTO	0.8	0.4		45°	90

### SONDEO PPE3

PROF. m	COMPACIDAD	DR	$e$	W%	$\phi$	n
0.00-4.40	SUELTO	0.3	0.7		32°	15
4.40-6.20	MEDIANAMENTE COMPACTO	0.5	0.6		35°	25
6.20-7.00	MUY COMPACTO	0.8	0.4		45°	100

### SONDEO PPE4

PROF. m	COMPACIDAD	DR	$e$	W%	$\phi$	n
0.00-3.40	MEDIANAMENTE COMPACTO	0.5	0.6		35°	20
3.40-5.00	MUY COMPACTO	0.8	0.4		45°	90

DONDE:

DR	Densidad relativa
$e$	Relación de vacíos
$\phi$	Ángulo de fricción interna

Es importante tomar en cuenta que las características obtenidas a través del número de golpes a la penetración, son empíricas.

## PRUEBA LUGEON

Las pruebas Lugeon se emplean para masas rocosas y las de trazadores radioactivos y micromilientes para detectar capas permeables en materiales finamente interstratificados.

La llamada unidad Lugeon corresponde a una absorción de 1 Lt. de agua/min. por metro de tramo probado bajo una presión de inyección de  $10 \text{ kg/cm}^2$ .

Se concibe que una fuerte absorción de agua puede deberse a una fisura muy abierta o a un gran número de fisuras estrechas. Esto explica la inexistencia de una correlación única entre los resultados de las pruebas Lugeon y las absorciones de lechadas de inyección inestables.

La longitud de cada tramo de prueba debe elegirse de acuerdo con los espesores de los diversos estratos atravesados.

La prueba consiste en inyectar agua a presión en tramos de perforación y se valora la permeabilidad de la masa rocosa localizada bajo el nivel freático. El montaje de una prueba Lugeon se presenta en la siguiente figura 1.12.

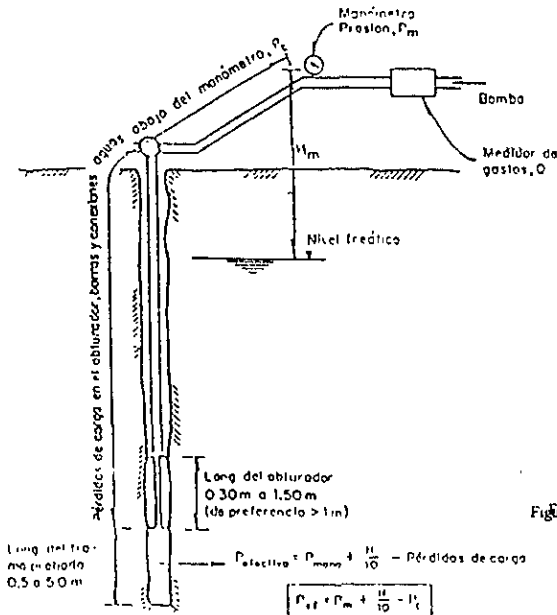


Figura 1.12

La prueba se realiza en tramos de 5m, limitados en sus extremos por empaques neumáticos, mecánicos o de copas de cuerpo (figura 1.13). La secuencia de presiones aplicadas debe ser 1, 2, 4, 6, 8, 10, 8, 6, 4, 2, 1, Kg/cm<sup>2</sup>.

Es preciso mantener cada incremento de presión durante un tiempo mínimo de 10 minutos, y verificar que, en ese intervalo, el gasto sea constante.

Para medir el gasto de agua inyectada, se aconsejan medidores tipo Venturi. El agua de inyección debe estar exenta de sólidos para evitar taponamientos en las paredes del pozo.

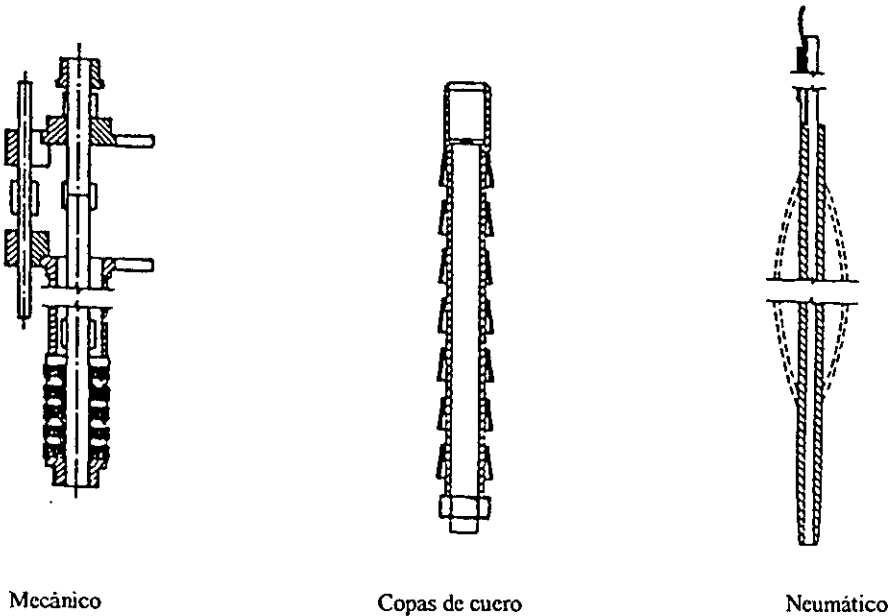


Figura 1.13 Principales tipos de obturadores.

## **TRABAJOS DE CAMPO**

Los trabajos de campo consistieron en la ejecución de dos sondeos profundos S-1 y S-2 y en la realización de cuatro pruebas de permeabilidad en cada uno de ellos, como enseguida se trata.

La fig. 1.14 muestra la ubicación de los sondeos en el área destinada a la recarga del acuífero.

## **SONDEOS**

El sondeo S-1 se llevó a 85.0 m de profundidad y el S-2 a 95.0 m. En ellos se combinó el muestreo de suelos granulares (arenas y tezontles) mediante el procedimiento de penetración estándar, con el muestreo en roca utilizado barril doble giratorio equipado con broca de diamante en diámetro N (5.5 cm).

La variación con la profundidad del número de golpes necesarios para hincar los 30 cm centrales del penetrómetro estándar en suelos, aparece graficada en las figuras 1.15 a 1.21. En las mismas figuras, se indican las profundidades donde se empleó barril doble giratorio.

Para mantener estables las perforaciones de los sondeos se utilizó tanto ademe metálico liso de 7.62 cm y 10.16 cm de diámetro interior, como lodos bentoníticos.

Las elevaciones de los brocales en los sondeos S-1 y S-2 están deducidos del plano de configuración topográfica de la fig. 1.14 y corresponden a la 2,301 m y 2,317 m, respectivamente.





Notas  
- La línea está tomada  
de los planos A-1 y A-2  
- Caminamiento  
- Topográfico contigüaroli  
topográfica de un terreno  
en Santa Catarina  
proporcionada por la  
D.G.L.O.H.  
el 21 de mayo de 1980  
- Acot y elev en m  
- s. sonders

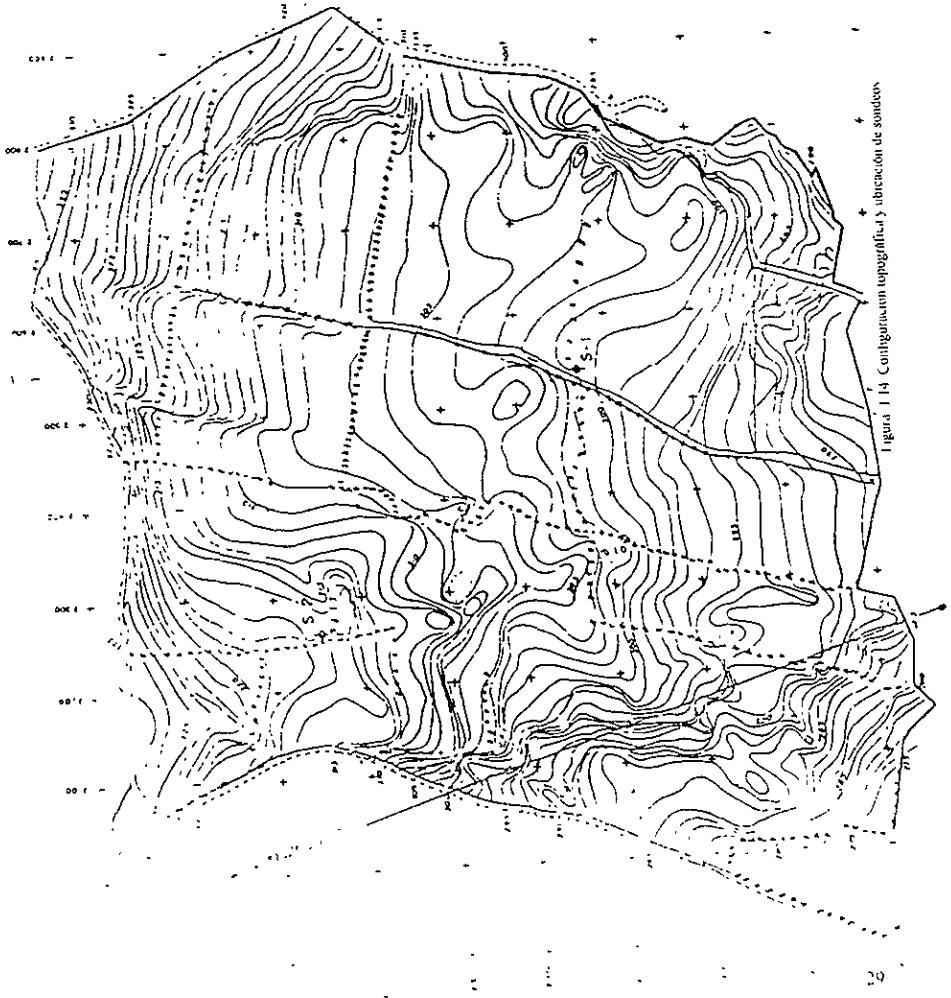
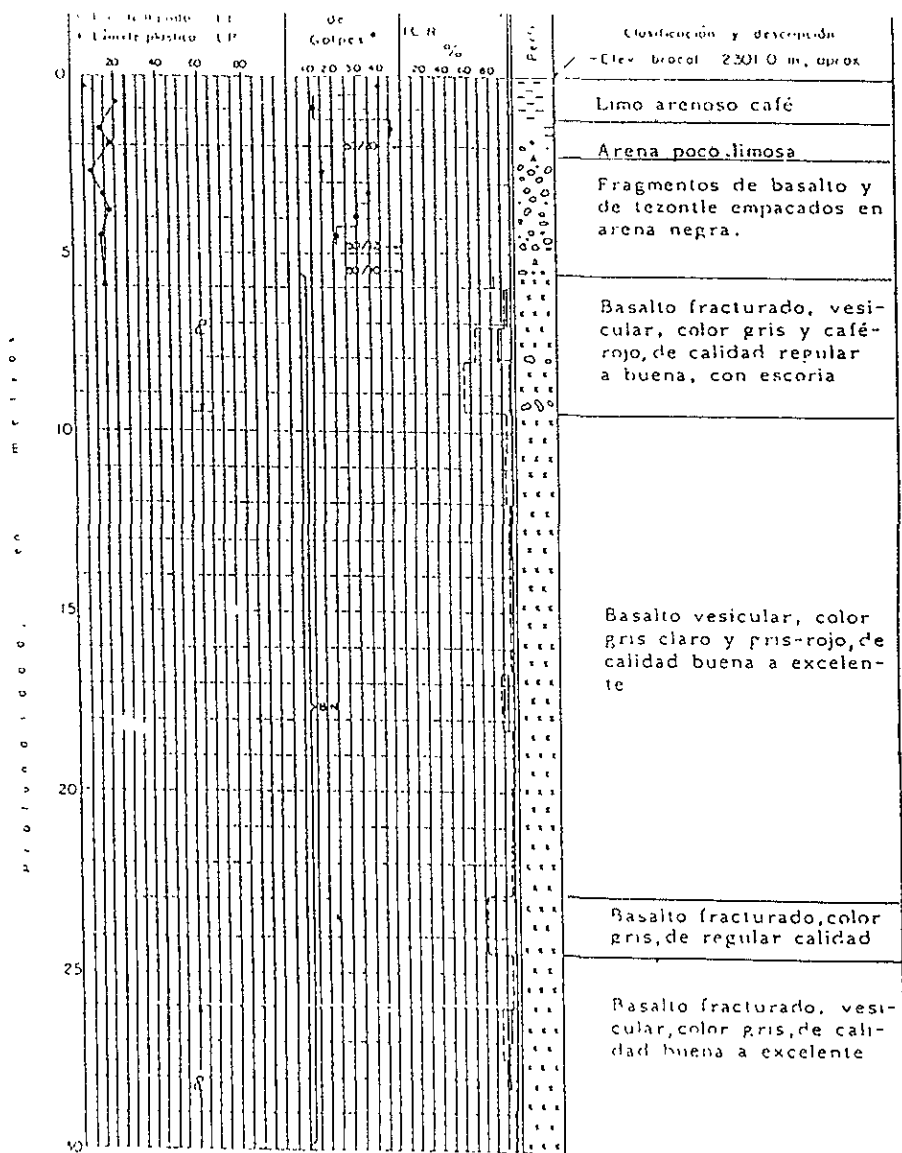


Figura 14 Contigüaroli topográfica y ubicación de sonders



[ ] Arena	[ ] Grava G	• Penetración estándar	BN Barrit	ICR índice de calidad de
[ ] Limo	[ ] Escoria	<S/S Golpes/cm	a Arzate en muestra	6 roca (ROD)
[ ] Arena S	[ ] Basalto	Fa, Prueba de absorción	MP Muestra perdida	Fuga de agua
			Prof del agua	parcial
			T Triangulo	total

El presente informe es propiedad de la consultora El Sonda S.A.

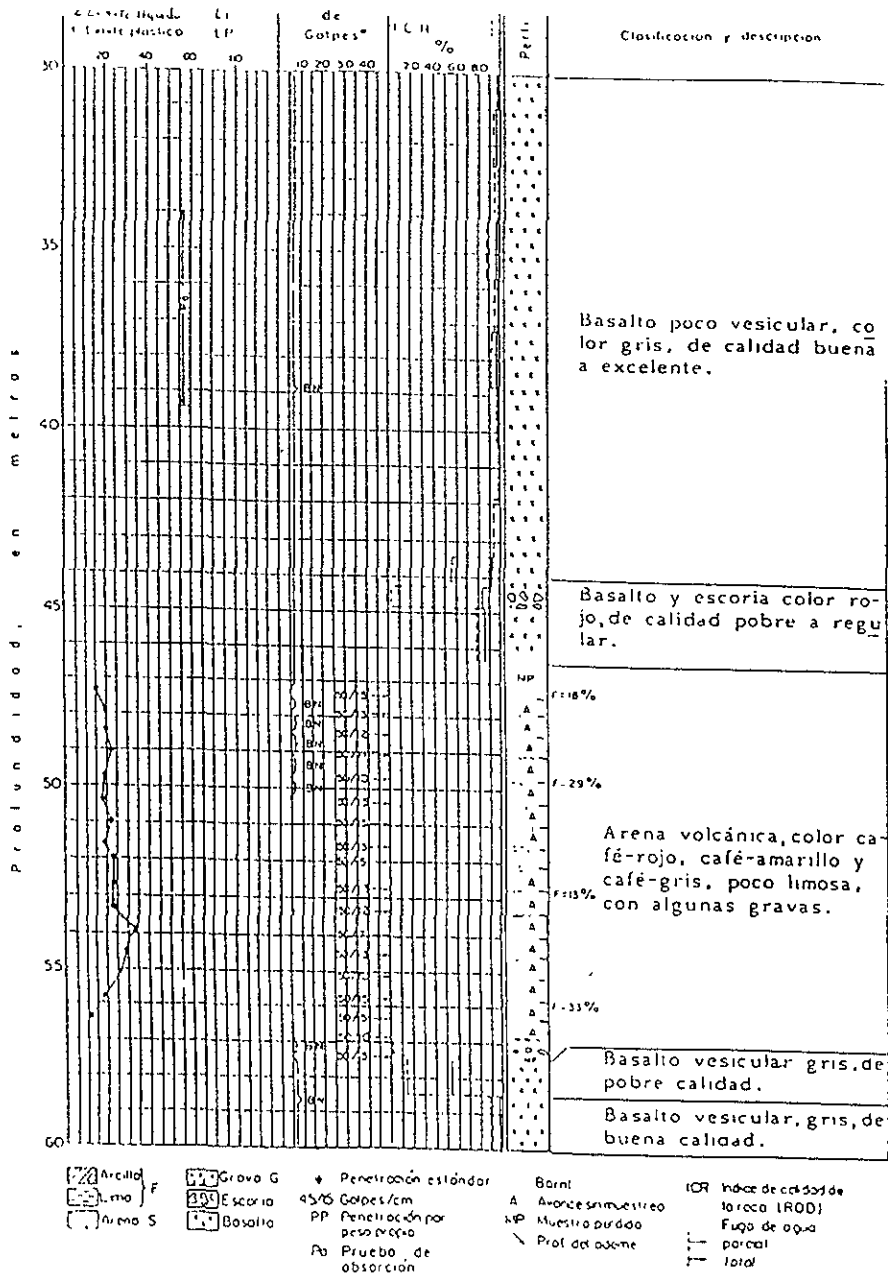


Figura 116 - Estados y propiedades del subsuelo en el sondeo S-1 (continuación)

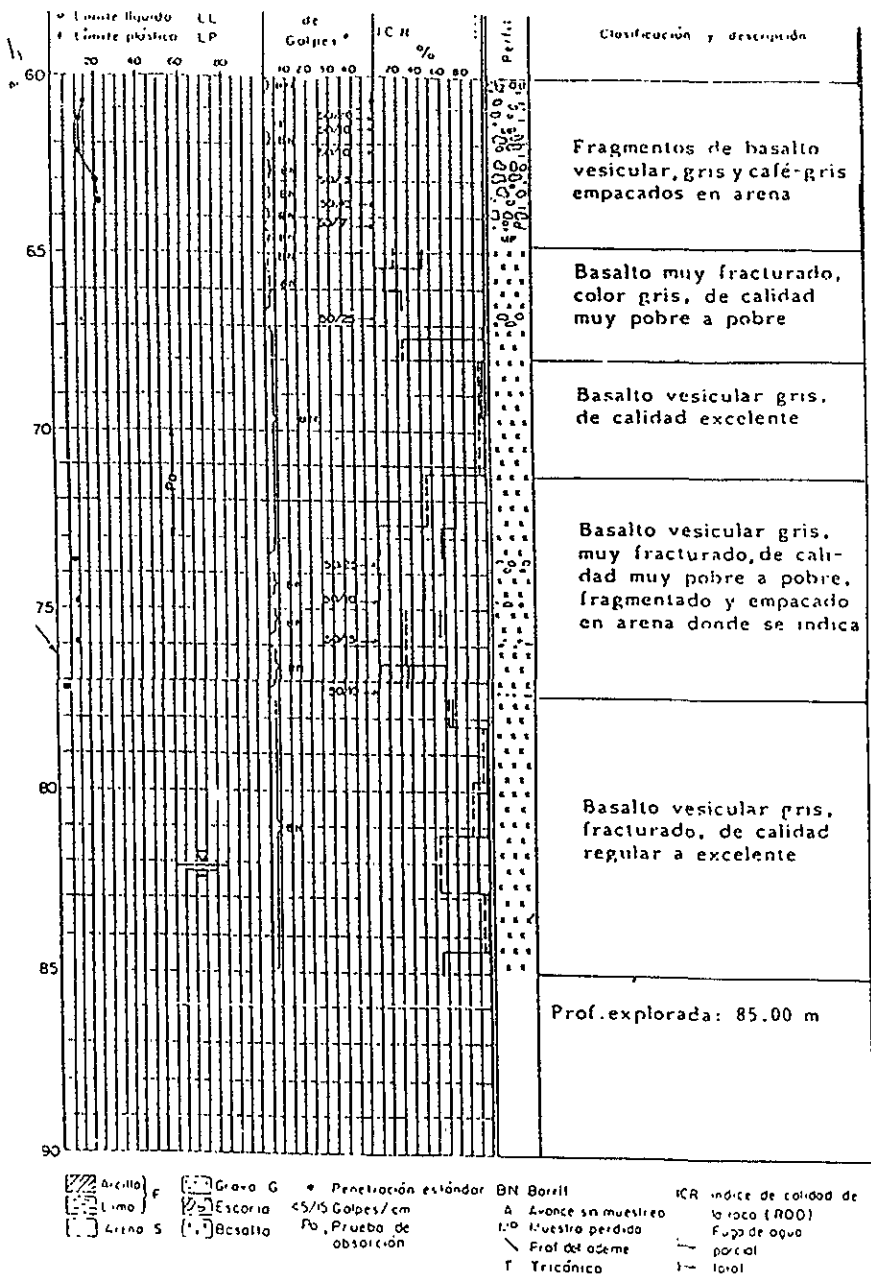


Figura 1.17. Litografía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-1 (continuación)

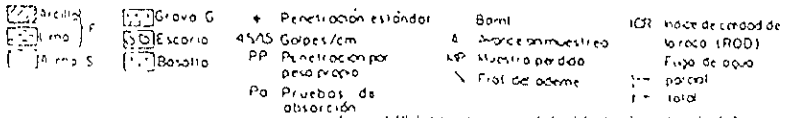
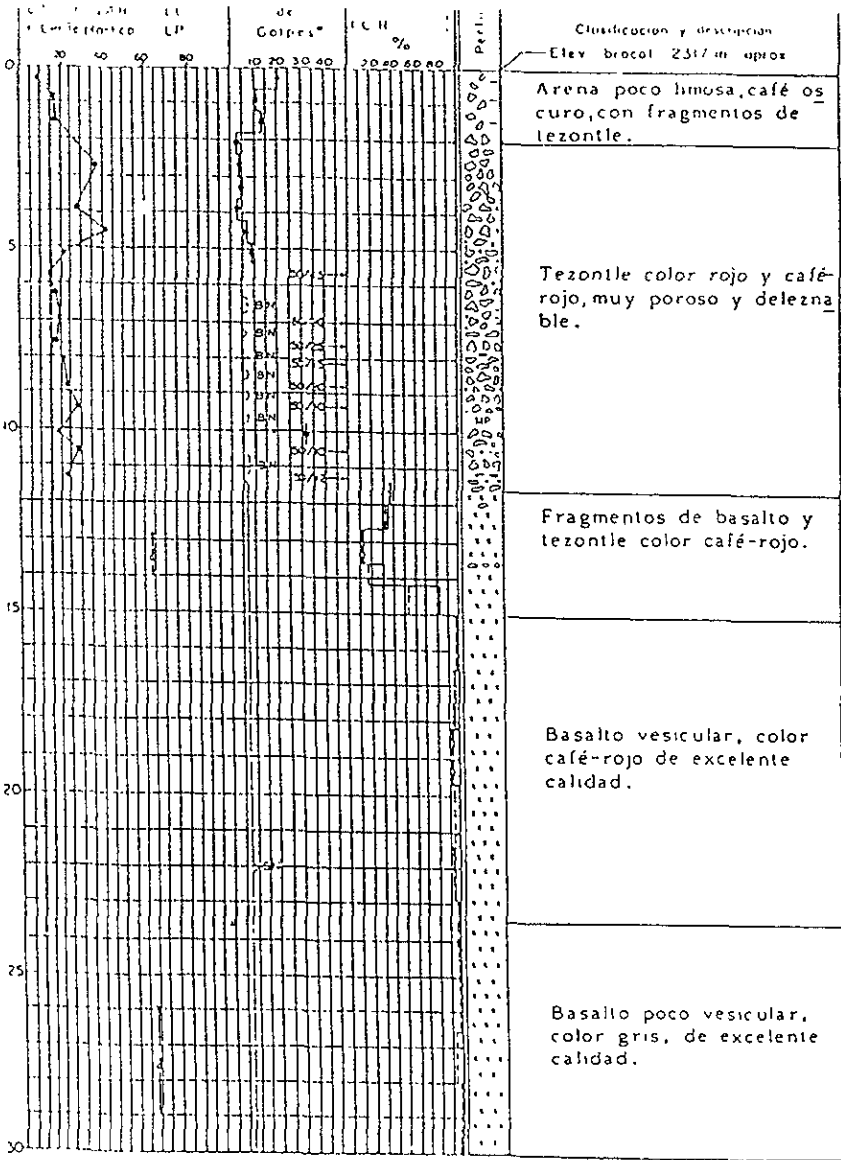


Figura 118. Características y propiedades del subsuelo en el sitio S-1

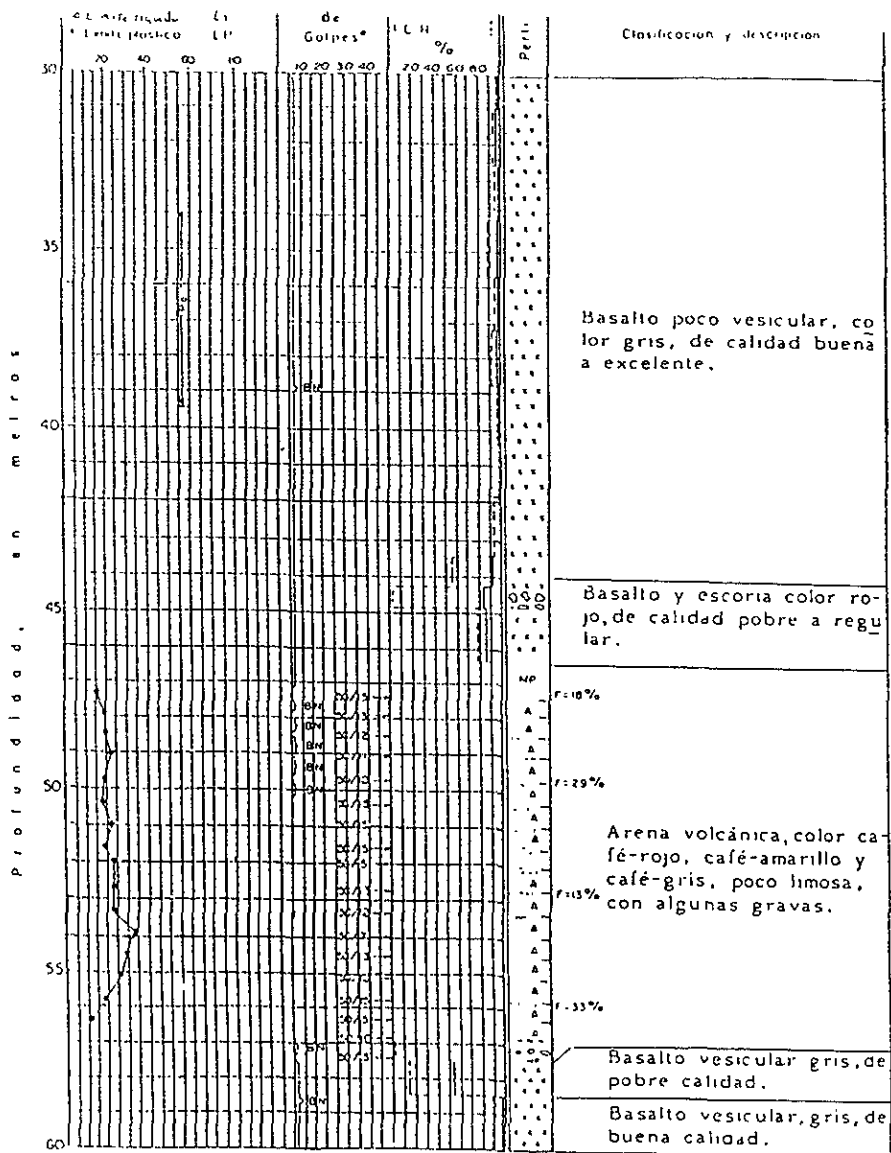


Figura 1.19 Estructura y propiedades del subsuelo en el sondeo N. 2 (continuación)

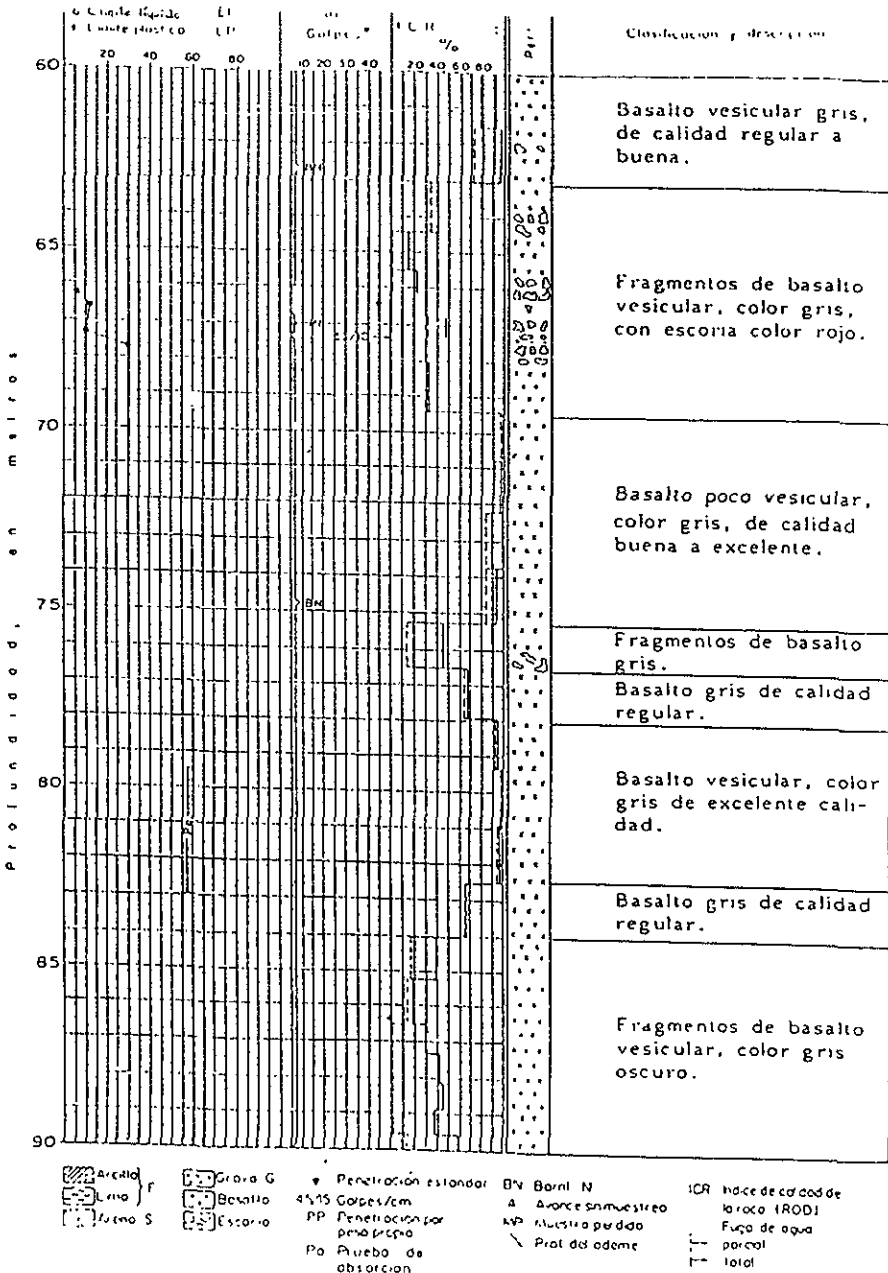
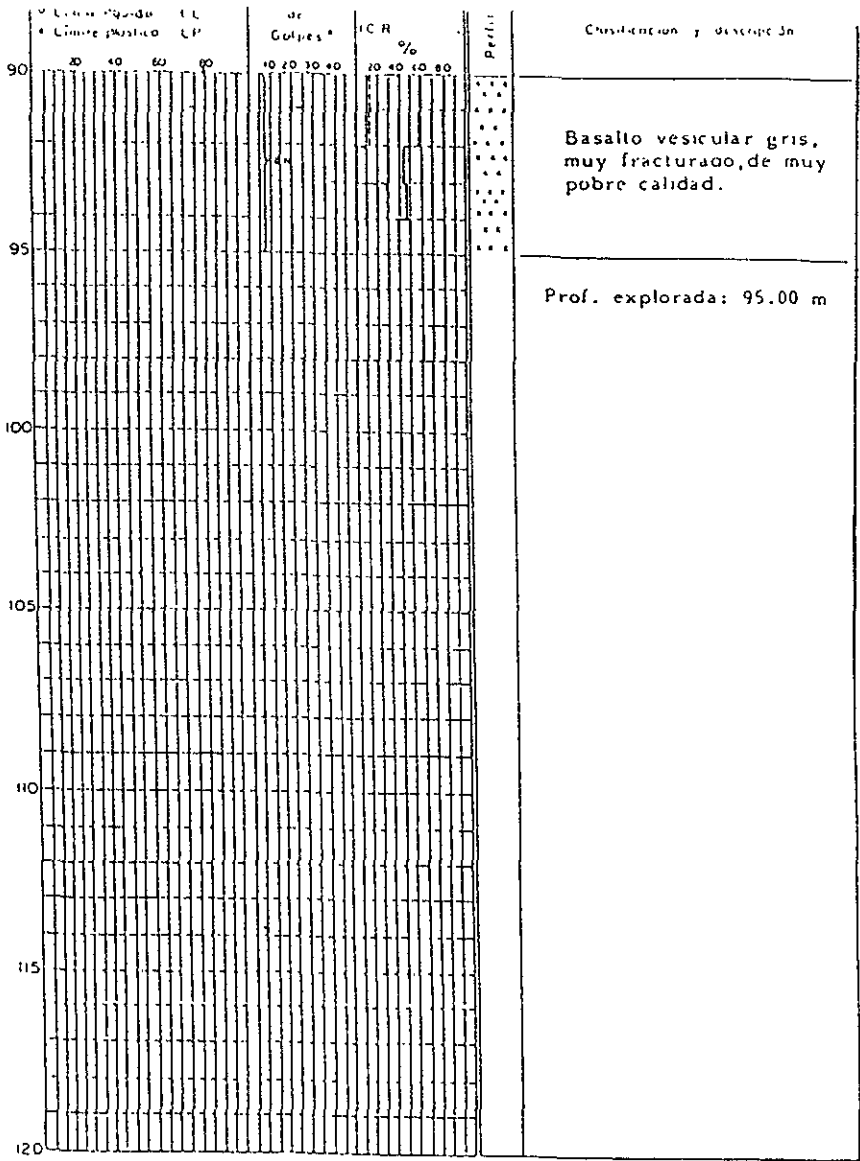


Figura 1.20 Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el sondeo S-2

(continuación)



Arena F	Grava G	* Penetración estándar 45/15 Golpes/cm	BN Barril N	ICR índice de calidad de la roca (ROD)
Limo	Basalto	PP Penetración por sonda	A Avance sin muestreo	— fuga de agua
Arena S		Pa Prueba de absorción	MP Fuelleto perdido	— parcial
		Figura 1.214. Símbolos y propiedades del subsuelo en el sondeo S-2 (continuación)	/ Frot del ademe	— total



En el sondeo S-1 se detectó el agua freática a 82.1 m de profundidad y en el S-2 no se observó hasta la profundidad explorada de 95.0 m.

## **PRUEBAS DE PERMEABILIDAD**

En cada sondeo se efectuaron cuatro pruebas de permeabilidad a las profundidades señaladas.

Las pruebas fueron de dos tipos: Lugeon (L) y de gravedad con descarga libre (G) atendiendo a la absorción que presentó la formación rocosa. En la tabla 1.22 se indica el tipo de prueba realizada. Las profundidades de ensaye y los coeficientes de permeabilidad obtenidos.

En las pruebas Lugeon se inyectó agua a presión a través de tramos de perforación sellados en sus extremos con empaques neumáticos. Los tramos ensayados tuvieron longitud comprendida entre 3.0 m y 4.5 m y diámetro de 8.89 cm (3½").

El equipo de prueba (véase fig. 1.23), consistió en lo siguiente:

- sellos de hule
- permeámetro de tubería perforada
- manómetro tipo Bourdon de 28Kg./cm<sup>2</sup> de capacidad
- medidor de volúmenes para tubería de 3.2 cm. (1¼") de diámetro y presión máxima de 12Kg./cm<sup>2</sup>
- tanque regulador de presión
- bomba de alta presión.

La inyección de agua se hizo con tubería y manguera de 3.2 cm. (1¼") de diámetro. Las pruebas se efectuaron en progresión ascendente. Y según procedimiento usual, (manual de la S.A.R.H.) ahora (C.N.A.). La presión de inyección se aplicó por incrementos sucesivos para alcanzar etapas con las siguientes presiones: 1, 2, 4, 8 y 10 Kg./cm<sup>2</sup>. De las 6 pruebas Lugeon, sólo la realiza en el sondeo S-1 a 26.0-30.5 m de profundidad alcanzó la presión de 10 Kg/cm<sup>2</sup>; en las restantes la presión máxima medida en el manómetro estuvo comprendida entre 1.8 y 8.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 1.22. Tipo de prueba, tramo ensayado y coeficiente de permeabilidad (K) en los sondeos S-1 y S-2.

Sondeo. No	Prueba		Tramo, m		K en cm/s	
	No	Tipo	De	A	Rango	Promedio
S-1	1	L	5.00	9.50	(4.4 a 9.7) x 10 <sup>-4</sup>	6x10 <sup>-4</sup>
	1b	L	5.00	9.50	(2.9 a 8.1) x 10 <sup>-4</sup>	4x10 <sup>-4</sup>
	2	L	26.00	30.50	(0.1 a 2.2) x 10 <sup>-4</sup>	6x10 <sup>-4</sup>
	3	L	42.00	45.00	(2.9 a 7.6) x 10 <sup>-4</sup>	4x10 <sup>-4</sup>
	3b	G	46.10	49.00	(1.7 a 1.8) x 10 <sup>-4</sup>	---
	4	L	70.00	73.00	(4.5 a 4.9) x 10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-4</sup>
	4b	G	70.00	73.00	(8.3 a 9.2) x 10 <sup>-4</sup>	---
S-2	1	G	12.95	14.00	>1.2 X 10 <sup>-2</sup>	---
	2	G	26.00	29.00	>2.9 X10 <sup>-3</sup>	---
	3	G	34.00	39.50	>1.3 X 10 <sup>-3</sup>	---
	4	G	79.40	83.00	(3.2 a 4.5) X 10 <sup>-4</sup>	4X10 <sup>-4</sup>

\*L. Lugeon; G. De gravedad con descarga libre

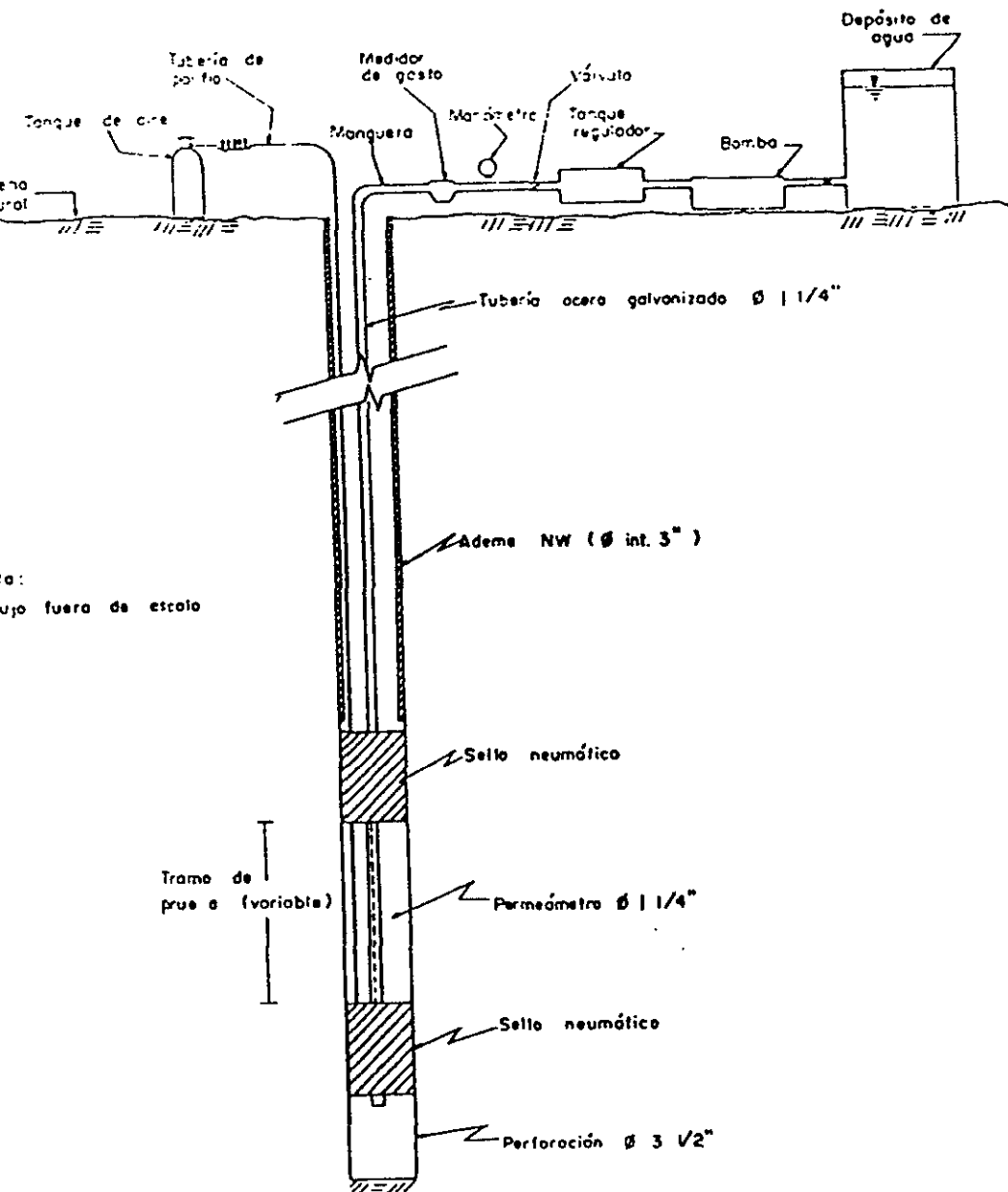


Figura 1.23 Esquema del dispositivo para la prueba Lugeon

## PRUEBAS DE GRAVEDAD

Este tipo de pruebas se utilizó donde la capacidad de absorción de la formación fue alta. El agua se vertió a través de la tubería de ademe. Por gravedad, con manguera de 3.8 cm (1½") de diámetro. El tramo ensayado se confinó en su parte inferior con sello neumático y en el superior con el propio ademe (fig. 1.24) los ensayos se efectuaron también en progresión ascendente.

En las cinco pruebas realizadas, el agua se perdió de inmediato. En ninguno de los casos se logró tener un tirante de agua. No obstante que el gasto vertido en la perforación fue hasta de 226 lt/min.; por tanto, la información proporcionada por estas pruebas representan sólo un índice de la permeabilidad del terreno, la cual es mayor que la reportada en la tabla 1.22.

El cálculo del coeficiente de permeabilidad en los dos tipos de prueba se efectuó aplicando la expresión sig.

$$K = \frac{Q}{2\pi LH} \ln \left( \frac{L}{r} \right)$$

Donde

- K. Coeficiente de permeabilidad
- Q. gasto constante dentro de la perforación
- L. longitud del tramo probado
- H. carga hidráulica diferencial, igual a la carga de gravedad más la carga de presión
- ln, Logaritmo natural
- r. radio de la perforación en el tramo de prueba

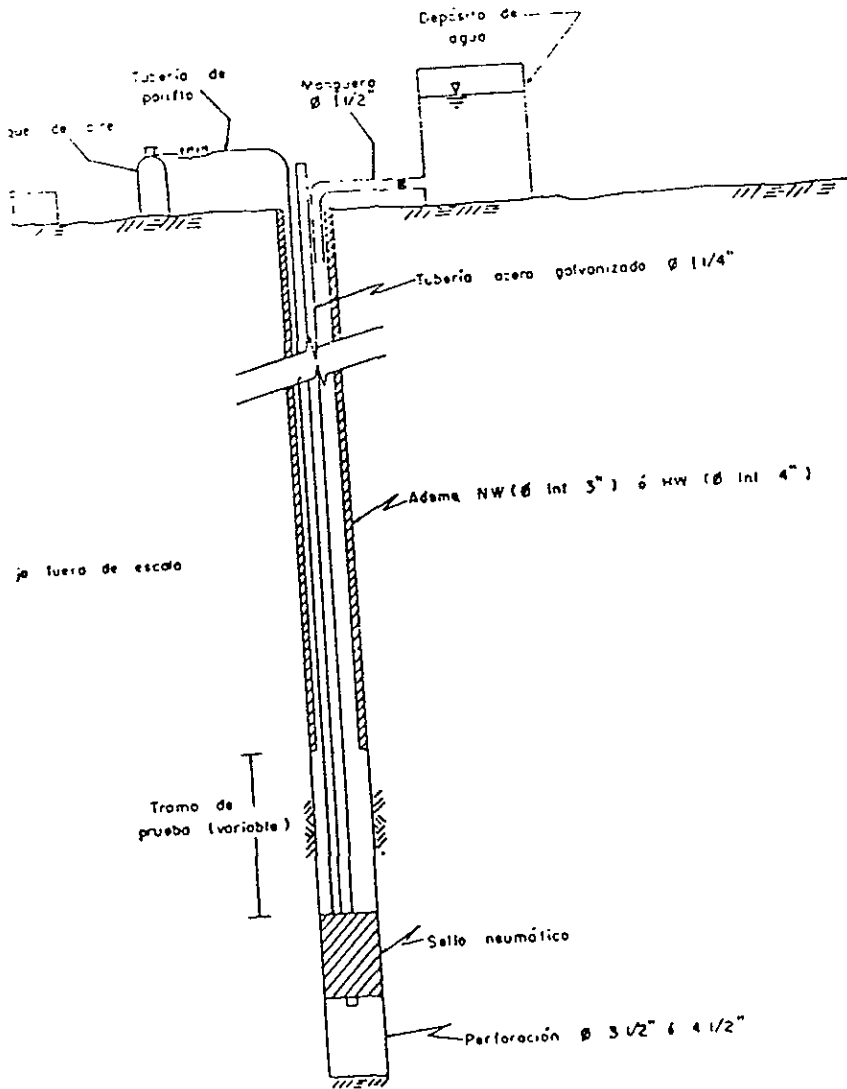


Figura 1.24. Esquema del dispositivo para la prueba de descarga libre

## **ENSAYES DE LABORATORIO**

Las muestras de suelos obtenidas en los sondeos se identificaron y clasificaron en laboratorio de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y se les determinó su contenido natural de agua (w).

A muestras de suelos típicos se les determinó su composición granulométrica y/o porcentaje de partículas finas (%f) empleando el método de mallas. En una muestra del sondeo S-1 extraída a 48.2m de profundidad, se le determinó la distribución granulométrica de su fracción fina con hidrómetro. Así como la densidad de sólidos.

Las muestras de roca se identificaron macroscópicamente y se les determinó su porcentaje de recuperación y su índice de calidad (RQD).

Los resultados de los ensayos de laboratorio se reportan gráficamente en las figuras 1.25 a 1.27.

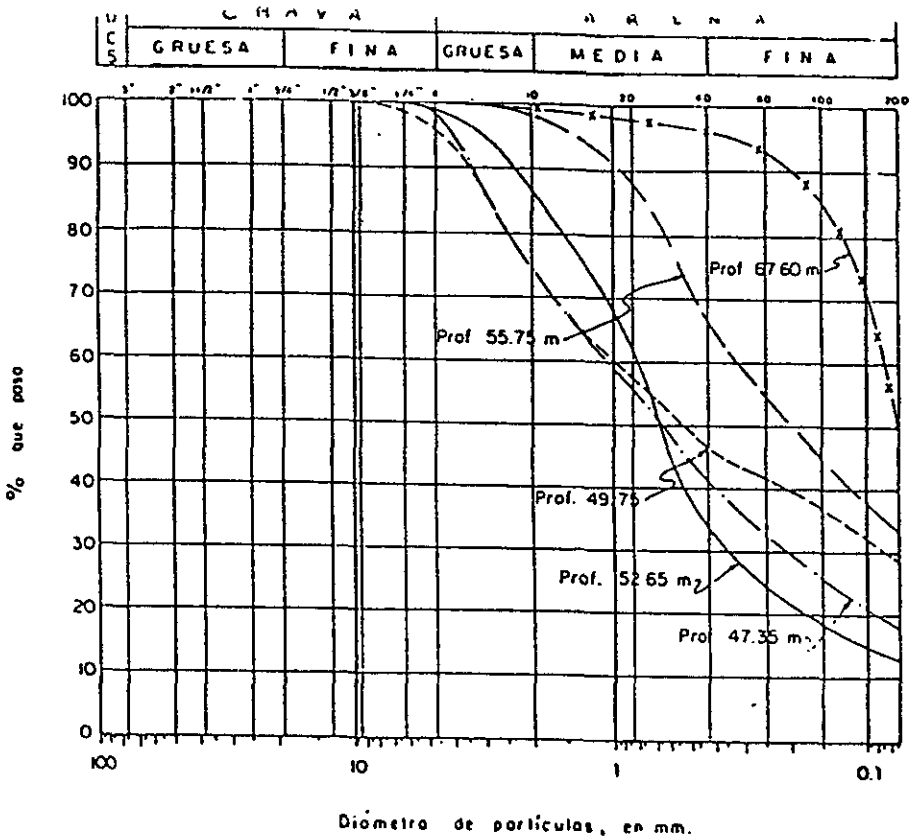
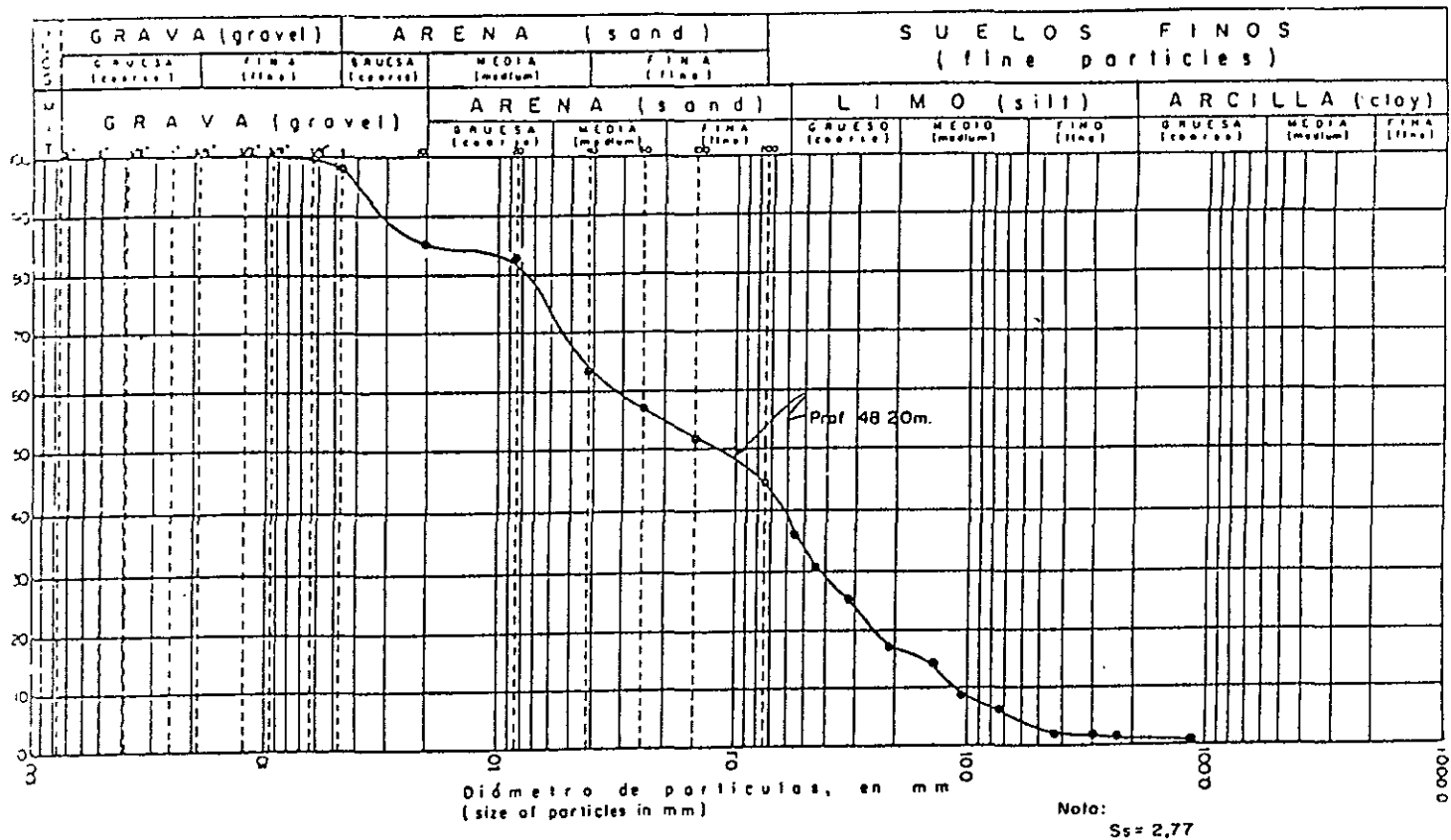


Figura 1.25 Curvas de distribución granulométrica Muestra del S-1





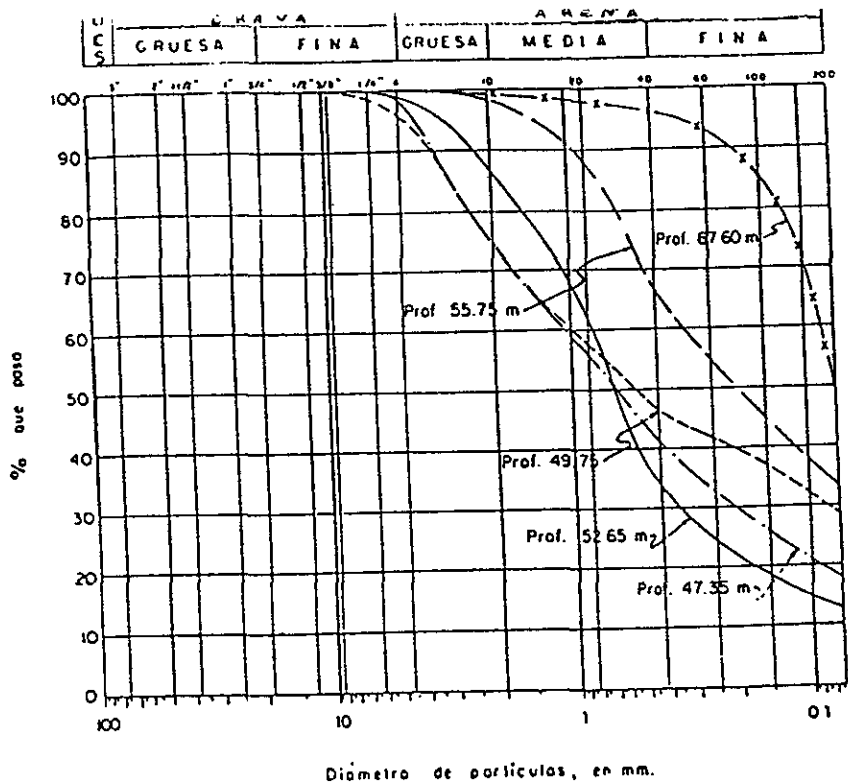


Figura 1 27 Curvas de distribución granulométrica Muestra del sondeo S-2

De la investigación realizada se concluye lo siguiente:

Hasta la profundidad explorada de 85.0 y 95.0 m en los sondeos S-1 y S-2, respectivamente, existen materiales propios del cono volcánico. Estos materiales son rocas basálticas, tezontles y arenas volcánicas, distribuidos como se marca en la Tabla 1.28

Tabla 1.28 Materiales en los sondeos S-1 y S-2.

Materiales	Profundidad (m)	
	Sondeo S-1	Sondeo S-2
Suelos superficiales y tezontle	0.0 a 5.5	0.0 a 11.6
Basalto en varios derrames lávicos y en diversos grados de fracturamiento, con alto grado de recuperación (>90%) e índice de calidad de la roca (>90%)	5.5 a 44.0	11.6 a 44.0
Basalto escoriáceo y tezontle, rojizos	44.0 a 48.6	44.0 a 46.3
Cenizas volcánicas areno-limosas	48.6 a 58.5	46.3 a 57.5
Basalto en varios derrames lávicos y en diversos grados de fracturamiento (a veces fragmentos).	58.5 a 85.0	57.5 a 95.0

Las figs 1.15 a 1.21 muestran el detalle estratigráfico en cada sondeo así como la variación con la profundidad del porcentaje de recuperación e índice de calidad.

En el caso de suelos en los que se obtuvieron muestras con penetración estándar, se reporta el número de golpes en 30cm, el contenido de agua y el porcentaje de partículas finas.

En la tabla 1.22 se indican los valores del coeficiente de permeabilidad determinados a partir de pruebas "in situ".

Se efectuaron 11 pruebas en total de las cuales fueron 6 tipo Lugeon y 5 de gravedad. De las primeras se determina un coeficiente de permeabilidad K comprendido entre  $4 \times 10^{-4}$  y  $6 \times 10^{-5}$  cm/s, pero debe aclararse que únicamente en una de las pruebas se alcanzó la presión de 10 Kg./cm<sup>2</sup>. En las cinco pruebas de gravedad, el agua vaciada en el ademe se infiltró sin llegar a levantarse una columna.

De acuerdo a la estratigrafía y resultados de pruebas de permeabilidad, se concluye que los materiales que constituyen el subsuelo de la ladera del Cerro Xaltepec son de media a alta permeabilidad, sin existir una capa impermeable intermedia. Por lo anterior, el uso del suelo en el sitio como área de recarga es apropiado.

## 2.-TRATAMIENTO Y UTILIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES

El constante aumento en la demanda de agua de las inversiones cada vez mayores para satisfacerla, hace atractivo reutilizar el agua. Desde hace varias décadas se ha reconocido la conveniencia de evitar el empleo de agua potable en usos que no requieren de esa calidad.

En 1956 se inició la operación de la primera planta de tratamiento de aguas residuales, localizada en el Bosque de Chapultepec; las aguas se destinan al riego de áreas verdes y al llenado de lagos.

Desde entonces, el número de plantas que en el Distrito Federal se ha ampliado hasta siete en 1978, con una capacidad instalada de  $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sin embargo, no se había dado un mantenimiento adecuado a estas plantas ni se había completado la red de distribución para reutilizar las aguas renovadas. Por estas razones y además porque la demanda de riego y llenado de lagos fluctúa a lo largo del año, la capacidad aprovechable era sólo de  $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Parecía adecuado incrementar sustancialmente la capacidad instalada con el fin de producir lo más rápidamente posible volúmenes importantes de agua renovada que liberan agua potable; pero había muchas dudas que despejar.

Se desconocían las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales que conducían el sistema de drenaje del Distrito Federal y, por lo tanto, no era posible determinar el uso que podrían tener una vez que fuesen renovadas ni determinar los procesos de tratamiento necesarios para lograr la calidad requerida por los usuarios: por otra parte, tampoco se conocían los usuarios potenciales de las aguas renovadas.

Las tecnologías de tratamiento habían avanzado considerablemente, pero hacía falta analizar en forma cuidadosa aquellas que era más conveniente adoptar de cuando se habla y cuales hacía falta adaptar a la realidad nacional.

Ante esta situación, en lugar de incrementar la capacidad instalada, se decidió aprovechar la capacidad disponible y realizar estudios e investigaciones de campo con el fin de sentar bases sólidas para el desarrollo futuro del reuso del agua en el Distrito Federal.

## **PLANTAS DE TRATAMIENTO**

Durante los últimos años, se repararon los desperfectos más graves en las plantas de tratamiento y se instalaron 130 km de tubería de distribución; actualmente, la red de agua tratada consta de 500 km (tabla 2.1), y ahora es posible aprovechar hasta el 59% de la capacidad instalada, o sea un caudal de 2.5m<sup>3</sup>/s. Este volumen es utilizado principalmente por los servicios públicos para el llenado de lagos, canales recreativos y para el riego de áreas verdes, aunque también se emplea parcialmente en actividades industriales.

La mayor parte se entrega a los usuarios con redes de distribución, pero también se han instalado las llamadas “garzas” para alimentar a las pipas que efectúan el riego de camellones y parques públicos ubicados en zonas en donde no es costeaible regar con tubería.

Tabla No. 2.1  
Incremento de la infraestructura de agua residual tratada  
1989 - 1997

ESTRUCTURA	Existente		Avance	
	1988	1997	(%)	(□)
Plantas de tratamiento	9.0	21	133	12
Capacidad de producción	1,200	4,800	300	3,600
Red de distribución	423 km	783 km	85.8	360 km

Plantas de tratamiento propiedad de la DGCOH

No.	Planta de Tratamiento	Tipo de proceso	Gasto Ef. (LPS)	Nivel de Tratamiento
1	Abasolo	Biológico	15	Secundario
2	Acueducto de Guadalupe	Biológico	100	Secundario
3	Bosques de las Lomas	Biológico	55	Secundario
4	Cerro de la estrella	Biológico	4.000	Terciario
5	Ciudad Deportiva	Biológico	230	Secundario
6	Colegio Militar	Biológico	20	Secundario
7	Coyoacán	Biológico	800	Secundario
8	Chapultepec	Biológico	160	Secundario
9	Iztacalco	Biológico	15	Terciario
10	La Lupita	Biológico	30	Secundario
11	Parres	Biológico	7	Secundario
12	Pemex-Picacho	Biológico	25	Secundario
13	Reclusorio Sur	Biológico	30	Secundario
14	Rosario	Biológico	25	Terciario
15	San Andrés Mixquic	Físico-químico	70	Primario Avanzado
16	San Juan de Aragón	Biológico	500	Secundario
17	San Lorenzo	Biológico	70	Secundario
18	San Luis Tlaxiátemalco	Biológico	150	Terciario
19	San Miguel Xicalco	Biológico	8	Secundario
20	San Pedro Atocpan	Físico-químico	45	Primario Avanzado
21	Tlatelolco	Biológico	22	Secundario

En diecinueve de las plantas del Distrito Federal, el tratamiento de las aguas residuales, se efectúa mediante el proceso biológico de lodos activados; y en dos plantas se emplean procesos físico-químicos. De las veintiún plantas, cuatro alcanzan nivel de tratamiento terciario; quince secundario y dos primario avanzado. En todas las plantas, se emplea hipoclorito de sodio para desinfección de los efluentes.

En la época en que las plantas fueron proyectadas, se consideraron los parámetros básicos experimentados para diseño y control. Sin embargo, como resultado de las investigaciones sobre el tratamiento de aguas residuales y el uso de aguas renovadas, se cuentan con un mayor conocimiento de las sustancias recalcitrantes al tratamiento biológico, muchas de ellas originadas en las aguas residuales crudas y otras que se van formando durante los pasos subsecuentes del proceso biológico; por ello, desde este punto de vista, la calidad de los efluentes puede ser inferior a la prevista inicialmente.

Actualmente (1997), el sistema de tratamiento de aguas residuales cuenta con la siguiente infraestructura: 21 plantas de tratamiento de las cuales 17 son a nivel secundario y 4 a nivel terciario con una capacidad conjunta de 6,250 litros por segundo, equivalente al 20% de las aguas residuales generadas en la Ciudad de México, con este caudal se riegan 6,500 ha de áreas verdes y 6,000 agrícolas, y se renuevan 3,500 millones de litros de agua en lagos, laguna y 360 mil metros de canales, que ocupan una superficie de 230 ha. También se abastecen 691 establecimientos comerciales y 120 industriales a través de 783 mil metros de tuberías. Además, el sistema cuenta con 18 tanques de almacenamiento, con capacidad conjunta de 42 millones de litros y 17 plantas de bombeo con capacidad total de 2,400 litros por segundo.

En aquellos lugares en que aún no se cuenta con red de distribución el abastecimiento se realiza mediante carros tanque.

### **TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

Las tecnologías empleadas por el D.D.F. para tratar las aguas residuales y aprovecharlas posteriormente en el riego de áreas verdes y en el llenado de lagos recreativos, respondían favorablemente a la calidad físico-química biológica (FQB) de las aguas residuales a tratar, así como las exigencias de la calidad de las aguas renovadas. A partir de los años cincuenta, el desarrollo industrial originó que el sistema de drenaje captara nuevos desechos, lo cual modificó la mezcla de aguas residuales domésticas, industriales y pluviales susceptible de ser tratada y reutilizada. Esto último ha llevado a la necesidad de identificar, seleccionar y adaptar tecnologías que permitan seguir aprovechando las aguas residuales a costos que compitan favorablemente con los de agua potable.

### **NIVEL DE TECNOLOGIA NECESARIA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

Con el fin de identificar el tipo de tecnología que se ha empleado y que se requerirá en el futuro para tratar las aguas residuales, se ha planteado el marco conceptual a partir del cual se conocen las distintas fuentes de aguas, las alternativas para su manejo y utilización y las restricciones impuestas por la normatividad que habrán de satisfacerse de acuerdo con el uso a que se destinen.

La tecnología aplicada para el tratamiento de las aguas residuales ha respondido a dos enfoques diferentes: prevenir y controlar la contaminación, y considerar el reuso del agua tratada.



En algunos casos las disposiciones del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales obligan a tratamientos que producen efluentes de calidad FQB aceptable, principalmente para ciertos usos industriales.

En cambio, los requisitos de calidad para reusar las aguas son más estrictos, dependiendo de la actividad a que se destinen, lo que implica un desarrollo tecnológico que permita remover los contaminantes tanto domésticos como industriales. Esto se logra con mejores resultados si los contaminantes de origen industrial se remueven en su origen, de acuerdo con lo que especifica la norma oficial mexicana NOM-001-02.

Para identificar la tecnología de tratamiento que debe desarrollarse fue necesario comparar la calidad FQB de las aguas que conduce el sistema de drenaje con los criterios de calidad que sancionan a las aguas tratadas dependiendo del uso que se les desee dar.

Considerando las variaciones de calidad que han tenido las aguas residuales es necesario modificar los sistemas de las plantas de tratamiento. Con objeto de tener una base para diseñar sistemas de tratamiento alternativos, se investigó la capacidad de remoción que tienen las operaciones y procesos unitarios en cada uno de los grupos contaminantes.

En la práctica común, cada operación y proceso unitario se asocia con un nivel de tratamiento según su capacidad para remover contaminantes.

El tratamiento preliminar permite únicamente remover sólidos gruesos, así como grasas y aceites; en cambio, el tratamiento terciario o avanzado es eficaz en la renovación de prácticamente todos los demás contaminantes.

- 1) Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes como son: trozos de madera, telas y basura.
- 2) Separar los sólidos inorgánicos pesados, como la arena, la grava e incluso objetos metálicos.
- 3) Separar cantidades excesivas de aceites y grasas.

A continuación se menciona algún tipo de equipo para lograr lo anterior.

### **REJAS Y CRIBAS DE BARRAS**

Están formadas por barras que constituyen un dispositivo con aperturas generalmente de tamaño uniforme, utilizado para retener sólidos de cierto tamaño que arrastra el agua residual. Según el método de limpieza que se utilice, serán diseñados como mecánicos o de limpieza manual.

Las rejas se usan para proteger las bombas, válvulas, conducciones y otros elementos delicados de la planta contra posibles daños. La separación de las barras generalmente varía en un rango de 1.6 cm a 7.5 cm. Dependiendo de su diseño generalmente estas estructuras tiene una eficiencia de remoción de sólidos de 53% a 61%.

### **TAMICES**

Su función es similar a la de las rejas, sólo que se emplean para sólidos o material menos gruesos ya que están formados por placas perforadas o mayas metálicas. De manera similar a las rejas, también las hay de limpieza manual o de limpieza mecánica. Generalmente sus aperturas ranuradas son de 3mm de anchura o menores.

### **TRITURADORES**

Los trituradores o desmenuzadores consisten en unos dispositivos que trituran el material retenido en una reja, sin eliminarlo del agua residual. Los dispositivos trituradores pueden ir precedidos de desarenadores, cuyo objeto es alargar la vida del equipo y reducir el desgaste de las superficies cortantes

## **TRITURADORES**

Los trituradores o desmenuzadores consisten en unos dispositivos que trituran el material retenido en una reja, sin eliminarlo del agua residual. Los dispositivos trituradores pueden ir precedidos de desarenadores, cuyo objeto es alargar la vida del equipo y reducir el desgaste de las superficies cortantes.

## **DESARENADORES**

El objetivo principal de los desarenadores es separar arena, término que engloba a cualquier sólido o materia pesada que tenga velocidad de sedimentación o peso específico superior a los sólidos orgánicos putrescibles en el agua residual. Los desarenadores se deberán proteger a los equipos móviles de la abrasión y desgaste anormales, reducir la formación de depósitos pesados en las tuberías, canales y conductos, y la frecuencia de limpieza de los digestores.

Existen dos tipos de tanques desarenadores, los de flujo horizontal y los de tipo aerado.

## **TANQUES SEPARADORES DE GRASAS**

Un tanque separador de grasas consiste en un depósito dispuesto de tal manera que la materia flotante ascienda y permanezca en la superficie del agua residual hasta que se recoja y elimine. La finalidad de estos tanques es la de separar las sustancias más ligeras que el agua y que tienden a flotar. El material recogido en la superficie de los tanques separadores de grasa incluye aceite, jabón, pedazos de madera y corcho, residuos vegetales, etc. El tiempo de retención del agua en estos tanques es aproximadamente de 1 a 15 minutos.

## **2.2 TRATAMIENTO PRIMARIO**

Los dispositivos que se usan en el tratamiento primario, están diseñados para retirar de las aguas residuales los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación.

Esto se lleva a cabo reduciendo la velocidad del flujo, en el tratamiento primario la velocidad del flujo se reduce hasta 1 o 2 cm/seg. en un tanque de asentamiento o sedimentación, durante el tiempo suficiente, para dejar que se depositen la mayor parte de los sólidos sedimentales, que son principalmente orgánicos.

Los principales dispositivos para el tratamiento primario son los tanques de sedimentación, algunos de los cuales tienen también la función adicional de servir para la descomposición de los sólidos orgánicos sedimentados, lo cual se conoce como digestión de los lodos. Son diversos los tipos de tanques que se usan en este proceso.

Generalmente mientras mayor sea el tiempo de retención, mayor será el porcentaje de sólidos removidos en el tanque sedimentador. En un tanque que provea 2 horas de tiempo de retención se puede esperar que la remoción de sólidos suspendidos sea aproximadamente el 60% de los sólidos que tenía el agua cruda.

Cuando se eliminan sólidos sedimentales del agua en los sedimentadores primarios, es bastante probable que una buena cantidad de estos sólidos tengan contenido de materia orgánica, por lo que al eliminarlos se eliminará también algo de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) del agua residual. La eficiencia en la remoción de la DBO en un sedimentador primario es de aproximadamente un 30% pero puede variar mucho dependiendo del tipo de desechos que llegan a la planta.

Los sedimentadores primarios, no importa cual sea su configuración, deben estar equipados con sistemas de rastras que acarrear los sólidos sedimentados hasta las tolvas, en donde se depositaran para ser extraídos.

También están equipados con un sistema de desnatadores que acarrear los sólidos flotantes, espumas, grasas y aceites hasta algún equipo que se ocupa de su remoción de la unidad.

Un sedimentador primario operando en forma satisfactoria tiene las siguientes eficiencias de remoción de contaminantes, al emplearse para la depuración de aguas residuales domésticas.

SOLIDOS SEDIMENTABLES	90% - 95%
SOLIDOS SUSPENDIDOS	40% - 60%
SOLIDOS TOTALES	10% - 15%
DBO	25% - 35%
BACTERIAS	25% - 75%

### **TANQUES IMHOFF**

Estos dispositivos son usados para la eliminación de sólidos sedimentarios y la digestión anaerobia de los mismos.

El tanque Imhoff consiste en un dispositivo de dos pisos en el que consigue la sedimentación, en el compartimiento superior, y la digestión de los lodos sedimentados en el inferior. Los sólidos que se sedimentan atraviesan unas ranuras existentes en el fondo del compartimiento superior, pasado al compartimiento inferior para su digestión a la temperatura ambiente. La espuma se acumula en los compartimientos de sedimentación, así, como en unos respiraderos de gas situados a los lados de aquellos. El gas producido en el proceso de digestión en el compartimiento inferior se escapa a través de respiraderos.

## **2.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO**

Existen dos métodos básicos de tratamiento secundario que pueden aplicarse y que son: métodos de cultivo adherido, como los filtros rociadores y métodos de cultivo suspendido, como lodos activados. Pueden usarse los filtros de arena cuando se desee un alto grado de tratamiento. Hay algunos otros métodos cuya aplicación es limitada. En estos tipos de tratamientos se emplean cultivos biológicos para llevar a cabo una descomposición aerobia transformándolo en compuesto más estable lográndose un mayor grado de tratamiento en el que se obtiene por sólo una sedimentación primaria.

Los filtros rociadores y los lodos activados dependen de los organismos aerobios para llevar a cabo la descomposición, existe entre ellos una diferencia operacional. En los filtros, los organismos están adheridos al medio filtrante y hacia ellos va el material orgánico sobre el cual tiene que trabajar. En los lodos activados son los organismos los que llevan hasta la materia orgánica de las aguas residuales. En ambos casos es muy necesario mantener las condiciones aerobias ambientales que son favorables para el ciclo vital de los organismos y en controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan.

### **FILTROS ROCIADORES**

El filtro rociador consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante comúnmente usado en piedras volcánicas o plástico rígido. La materia orgánica presente en el agua residual es degradada por una población de microorganismos adherida al medio. Dicha materia orgánica es absorbida sobre la película biológica o capa viscosa, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar todo el espesor de la película.

Los filtros rociadores ocupan grandes superficies y su construcción es muy costosa. Con los filtros rociadores solamente alteran las características de los sólidos de las aguas residuales, pero no los elimina, el efluente contiene sólidos suspendidos que deben ser eliminados antes de que se disponga de tal efluente por descargar en aguas receptoras. Para este propósito se usan tanques de sedimentación secundaria o de asentamiento final, estos tanques son similares a los de tratamiento primario.

## **LODOS ACTIVADOS**

En el proceso de lodos activados el agua residual se estabiliza biológicamente en un reactor, que es un tanque donde se mantiene una base bacteriana, llamada lodo activado. La estabilización de la materia orgánica tiene lugar bajo condiciones aerobias, las que se logran a base de inyección mecánica de aire por difusión de oxígeno. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos biológicos sedimentados son retornados al reactor. Otra parte de los lodos son eliminados fuera del sistema, puesto que de no ser así, la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más. El proceso de lodos activados es muy flexible y puede adaptarse a casi cualquier tipo de problema relativo al tratamiento biológico de las aguas residuales.

El tratamiento secundario tiene como objetivo remover del agua residual la mayor cantidad posible de materia orgánica. Una de las técnicas más empleadas en el tratamiento secundario es el proceso de lodos activados. Mediante este proceso una parte importante de la materia orgánica presente en las aguas residuales es aprovechada como alimentación por ciertos microorganismos (biomasa) que viven en el sistema, que producen, a partir de ella, sustancias estables, bióxido de carbono y agua; a esta transformación de la materia orgánica se le denomina biodegradación. Después de que el agua residual sale del sedimentador primario se envía a un tanque de aeración, donde es mezclada con aire, con el propósito de que los microorganismos tengan el oxígeno necesario para respirar y de que la materia orgánica se ponga en contacto con la biomasa durante varias horas. Al agua contenida en el tanque se le llama licor mezclado. En el licor mezclado se pueden observar grumos, que están formados por agrupamientos de materia orgánica y microorganismos, de apariencia esponjosa y color pardo a los que se llama flóculos o lodos activados.

El licor mezclado se envía al sedimentador secundario donde los floculos se separan del agua y, por ser más pesados, se depositan en el fondo del tanque. El sistema de rastras lo conduce hacia las tolvas, de donde son extraídos para regresar parte de ellos al tanque de aeración y para desechar otra parte.

El agua ya clarificada es colectada en las canaletas del sedimentador secundario y se conduce al siguiente proceso de la planta que es la desinfección.

## **2.4 DESINFECCION Y CLORACION**

### **DESINFECCION**

Para la desinfección de las aguas se han empleado agentes físicos y químicos.

Agentes químicos. Los agentes químicos más comunes son los oxidantes químicos, como son los compuestos de cloro y ozono. Dentro de los compuestos de cloro los más usuales son: gas cloro, cloraminas, bióxido de cloro e hipoclorito de calcio. Las principales características de un buen desinfectante son: tóxicos a los microorganismos, soluble, estable, no tóxico a otras especies y disponible a bajo costo. Además debe ser seguro para aplicarse y manejarse, y su concentración debe ser medible en el agua tratada.



## **AGENTES FISICOS.**

Los agentes más empleados en desinfección son el calor y la luz. El calor es un magnífico desinfectante, que ha estado en uso por mucho tiempo; pero su aplicación principal es a nivel domiciliario. Al hervir, se destruye la mayor parte de los microorganismos. La luz es desinfectante, especialmente la radiación ultravioleta, la eficiencia depende de la penetración de los rayos en el agua.

En resumen los desechos orgánicos, tanto de personas sanas como enfermas, contienen microorganismos que son vertidos al sistema de alcantarillado. Los organismos que producen enfermedades pueden estar presentes en cualquier agua residual y deben removerse o eliminarse antes de que éstas puedan reutilizarse. El propósito de la desinfección es destruir los organismos que pueden producir enfermedades y así prevenir que se transmitan.

## **CLORACION**

El proceso más común de desinfección consiste en el empleo del cloro debido a que es económico y muy eficaz; aunque tiene la desventaja de ser, en estado gaseoso, venenoso y, por ello requiere de sumo cuidado y manejo.

El cloro, para desinfección, puede usarse como gas cloro, como hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y bióxido de cloro. De las formas anteriores, la más común es la de cloro molecular (o gas cloro).

La medida de la efectividad de la desinfección es la destrucción de las bacterias patógenas y se obtienen también por medio de análisis de laboratorio; sin embargo; un indicador que facilita el control de proceso es el cloro residual. Se recomienda que después de un tiempo de contacto de 15min., el cloro residual no sea menor de 0.5 mg/l.

## **PORCENTAJES QUE SE ALCANZAN EN LOS DIFERENTES NIVELES DE TRATAMIENTO.**

### **NIVEL PRIMARIO**

Se eliminan sólidos suspendidos y algo de carga orgánica, los objetivos que se alcanzan son:

80% a 90%	disminución de sólidos suspendidos
25% a 40%	reducción de D.B.O.

### **NIVEL SECUNDARIO**

90% a 95%	disminución de sólidos suspendidos
90% a 95%	reducción de D.B.O.

### **TERCIARIO AVANZADO**

100%	disminución de sólidos suspendidos
95% a 90%	reducción de D.B.O.
90%	reducción de nutrientes

El análisis del comportamiento hidráulico de la línea de conducción de 72" de diámetro, que va de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella hacia Xochimilco y a Chalco, dio como resultado que en el cruce de la Avenida San Rafael Atlixco y calle Juan De Dios Peza (Zapotitlán Tlahuac D.F.) presenta las condiciones adecuadas para realizar la derivación que alimentará los equipos de bombeo en la estación, implementando un cárcamo.

## **2.5 LINEA DE CONDUCCION**

El diámetro y el material seleccionado para la tubería de la línea de conducción son de 36" (920mm) de diámetro y de asbesto-cemento, respectivamente. El gasto será de  $1\text{ m}^3/\text{seg}$ .

Con apoyo en los trabajos preliminares de topografía y del estudio de mecánica de suelos, se efectuó el trazo en planta y perfil de la línea de conducción, que va desde la estación de bombeo hasta el tanque de regularización, con una longitud de 2,568m. figuras 2.2 y 2.3

## **TANQUES DE REGULARIZACION**

Tomando en cuenta las condiciones de operación de los equipos de bombeo y el programa de operación de los estanques de filtración, se elaboró el análisis funcional del tanque de regularización obteniendo que la capacidad necesaria de este depósito es de  $1,000\text{ m}^3$ ; desplantado a nivel de terreno y de dimensiones siguientes: 24m de largo, 18m de ancho, y 2.5m de altura. figura 2.4.

El tanque ha sido diseñado en forma de embalse de concreto reforzado y además cumple la función de tanque de aeración suplementaria (a efecto de reducir la concentración de cloro del agua proveniente de la planta de tratamiento), para lo cual la parte interior se divide longitudinalmente con paredes de partición, dando lugar a seis canales (compartimientos) de 3m de ancho por 24m de largo, con una trayectoria de flujo suficiente para permitir favorablemente la función de aeración.

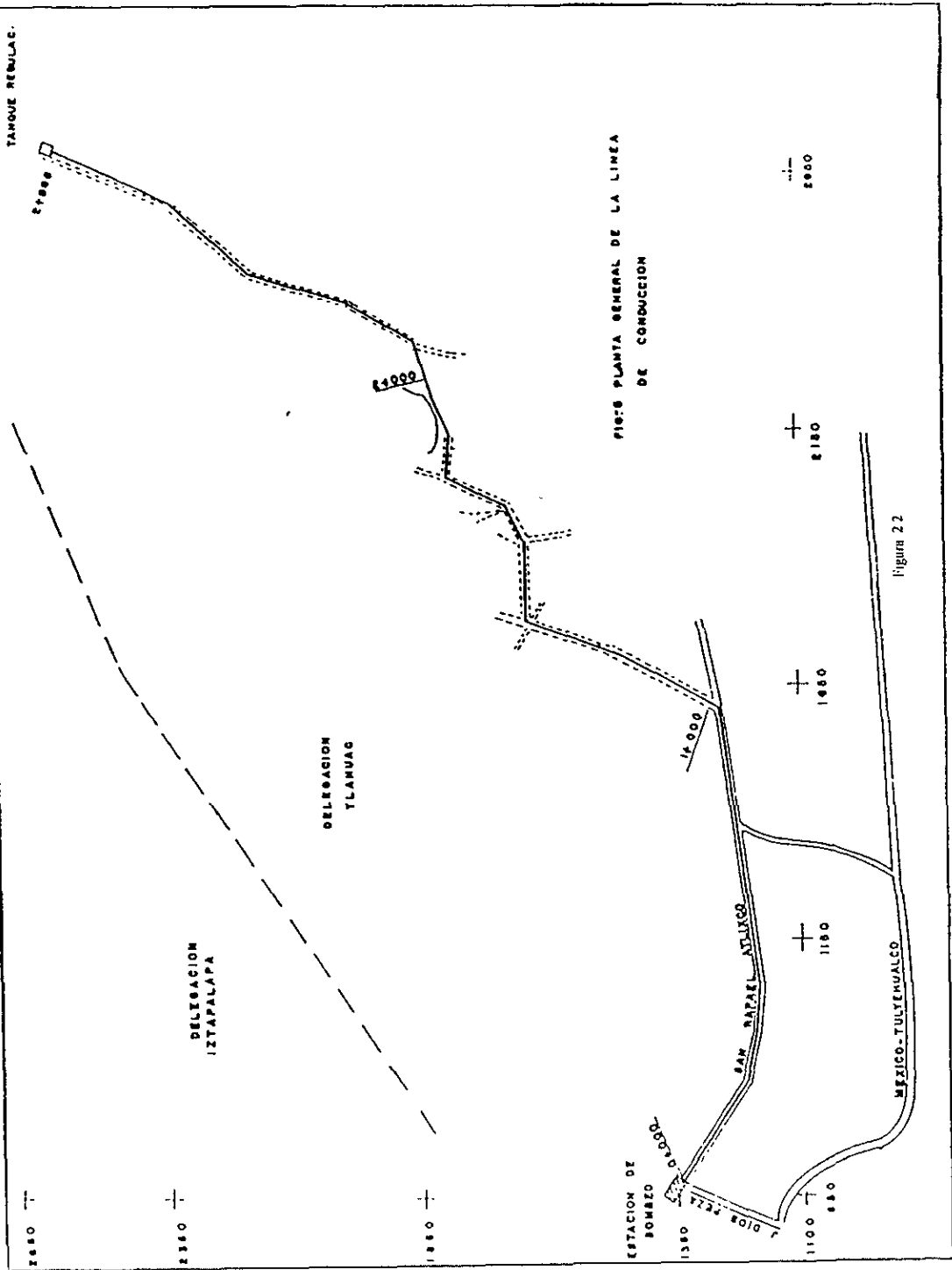


Figura 22

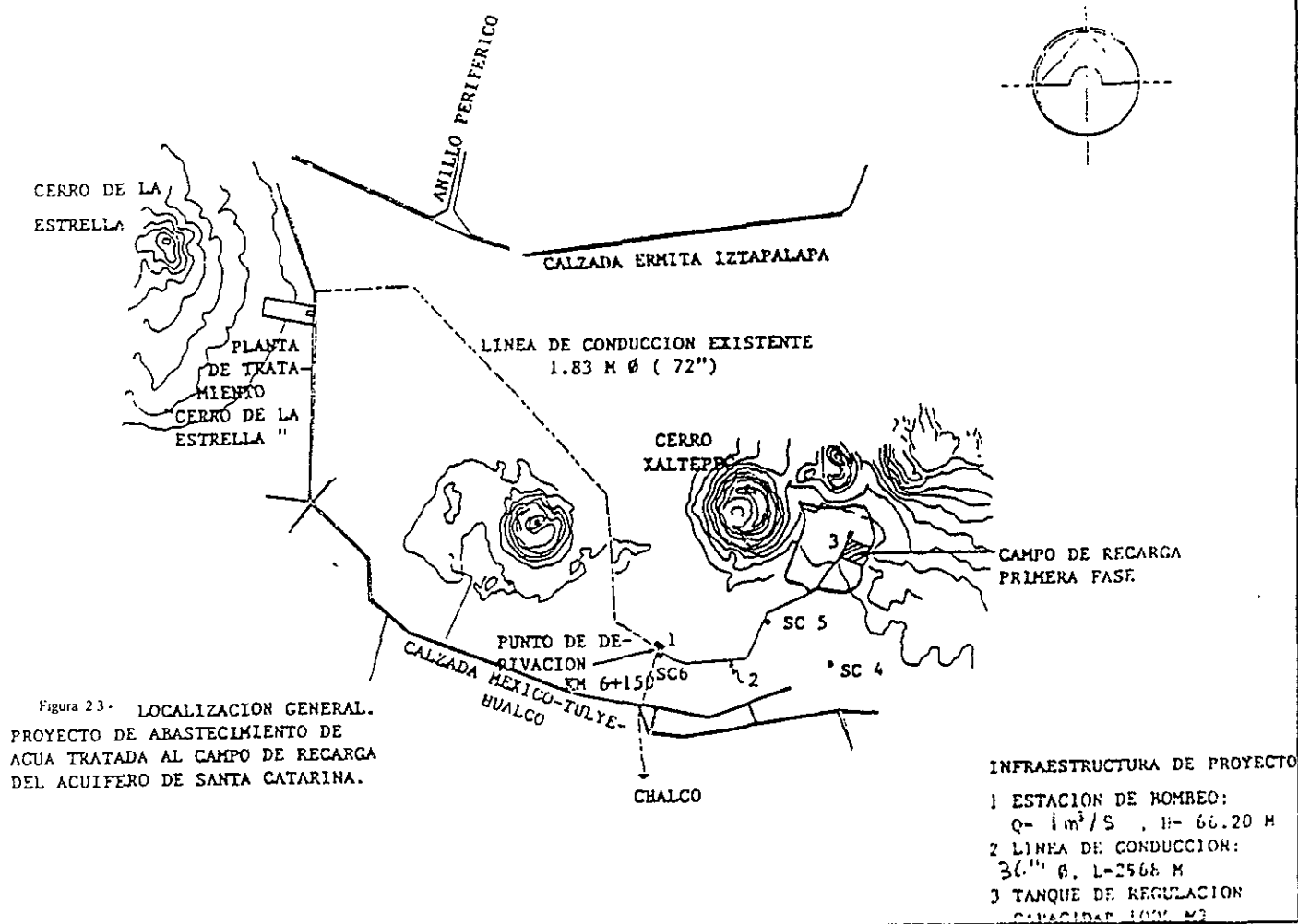


Figura 23.- LOCALIZACION GENERAL.  
 PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE  
 AGUA TRATADA AL CAMPO DE RECARGA  
 DEL ACUIFERO DE SANTA CATARINA.

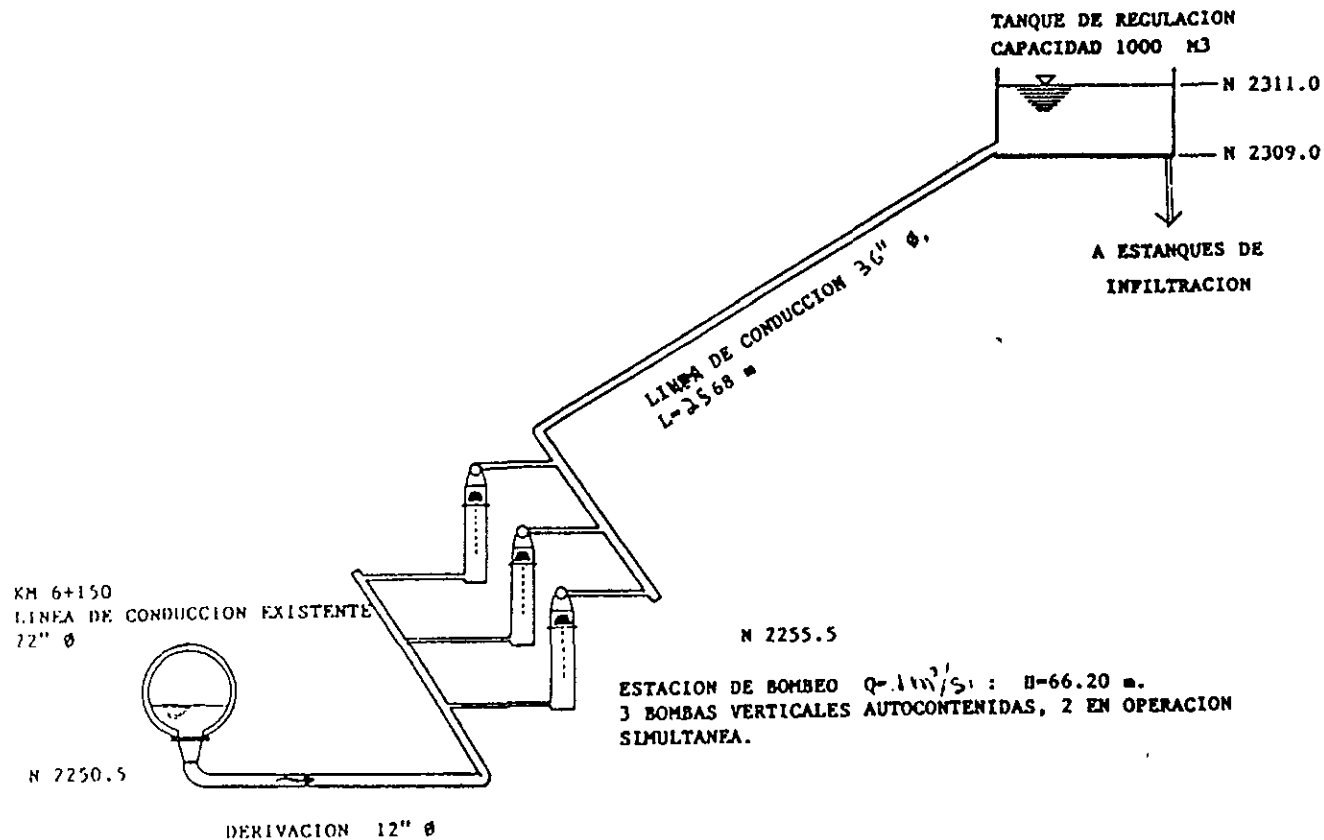


figura 2.4 - COMPONENTES DEL PROYECTO

### **3. DISEÑO DE ESTANQUES**

#### **3.1 ESTUDIO DE BANCOS DE MATERIALES**

El presente capítulo contiene el estudio de bancos de materiales que se requieren para la formación de los bordos de la laguna de recarga al acuífero Santa Catarina. El objeto del estudio fue la investigación y muestreo de bancos, así como la caracterización de los materiales que pueden ser obtenidos en ellos, mediante apropiados ensayos de laboratorio, conforme a las posibles alternativas de estructuración de los bordos.

Se investigaron y muestrearon dos bancos comerciales de materiales apropiados para estructurar los bordos de la obra en cuestión: Banco "La Estancia" de grava y arena de tezontle para el revestimiento y material filtrante y "San Isidro" de arcilla arenosa, para el corazón impermeable de los bordos. De los dos bancos, se inspeccionaron y muestrearon los frentes actualmente en explotación. En las tablas 3.1 a 3.3 se resumen las principales características de los bancos estudiados como son: denominación del banco, régimen de propiedad, localización, volumen aprovechable, distancia de acarreo, tratamiento y utilización.

Tabla 3.1 Características de los bancos de materiales para la construcción de la Laguna de recarga al acuífero "Santa Catarina".

Denominación del banco	Régimen de propiedad	Localización	Clasificación	Volumen aprovechable	Dist. de acarreo (Km)	Tratamiento	Utilización
"San Isidro"	Ejidal	Km 5.9 Carr. Fed. México-Puebla 1,900 m	Arcilla de mediana plasticidad con arena (CL)	Suficiente	9.4	Disgregación	Corazón impermeable
"La Estancia"	Privada	Camino a las Minas S/N Col. Xalpa, Iztapalapa, D. F., 2,800 m	Gravas de tezontle (GP-GM)	Suficiente	2.4	Cribado	Revestimiento
			Arenas de tezontle (SP)	Suficiente		Cribado	Material filtrante



ESTRATIGRAFIA			CLASIFICACION GEOTECNICA
ESTRATO	SIMBOLD		
1	0.20		Tierra vegetal (despalme)
2	5.00		Arcilla de mediana plasticidad (CL), con arena de consistencia firme, café amarillento (Frente 1)
2	5.00		Arcilla de alta plasticidad (CH), con arena, de consistencia firme, café (Frente 2)

CARACTERISTICAS	
LL 38 - 53	%
IP 16 - 20	%
S 32 - 24	%
F 68 - 76	%
$\gamma_{dm}(1)$ 1445	kg/m <sup>3</sup>
W <sub>o</sub> (1)	30 %
$\gamma_{dm}(2)$ 1360	kg/m <sup>3</sup>
W <sub>o</sub> (2)	33 %

COEFICIENTES DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICACION PRESUPUESTO		
90%	95%	100%	BANDEADO	A	B	C
				100	00	00
1.00	0.95	0.90		70	30	00
1.00	0.95	0.90		70	30	00

DATOS GENERALES DEL BANCO	
Denominación	"SAN ISIDRO"
Ubicación	Km. 5.9 DE LA CARRETERA LIBRE MEX-PUEBLA, 1900 m desv. 12a.
Vol estudiado	m <sup>3</sup> 300,000
Cap. del banco	suficiente
Empleo	corazón impermeable de bordos
Tratamiento	Disgregación y compactación
Tamaño máximo de las partículas	Nº 4
% de partículas > 2"	0
" " > 1 1/2"	0
" " > 3/4"	0
Observaciones	propiedad estatal

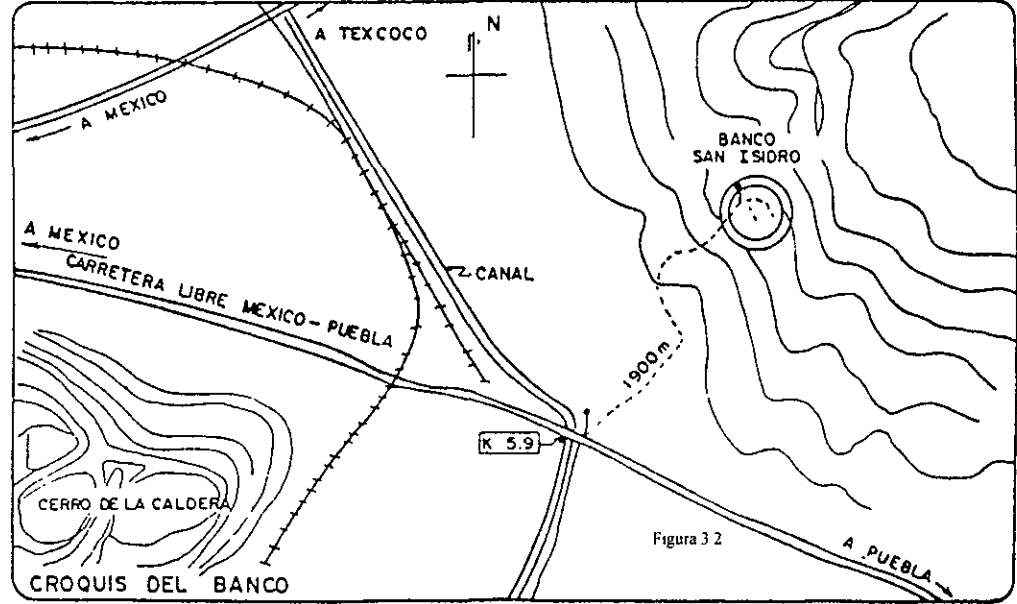
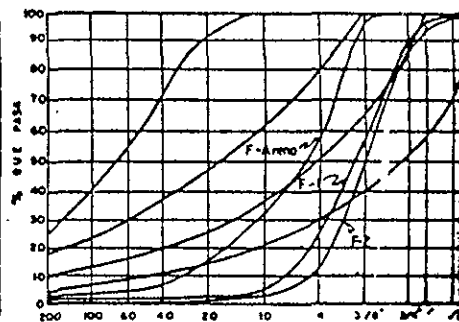


Figura 3 2

CROQUIS DEL BANCO

ESTRATIGRAFIA		CLASIFICACION	PRESUPUESTO			CARACTERISTICAS	
ESTRATO	ESQUEMA	CLASIFICACION GEOTECNICA	A	B	C		
N° (Esp. (m))							
1	10m.	Gravas de tezontle, color gris oscuro con manchas amarillentas (F. 1) o rojizo (F-2)	100	00	00	G.	78 %
						S.	21 %
						F.	1 %
						$\gamma_{ds}$	850 kg/m <sup>3</sup>
						$\gamma_{dm}$	967 kg/m <sup>3</sup>
						Densidad'	1.7
						Abs	7 %



#### DATOS GENERALES DEL BANCO

Denominación. "LA ESTANCIA"

Ubicación CAMINO A LAS MINAS S/N.

COL. XALPA IZTAPALAPA, D.F.

Vol. estudiado m<sup>3</sup>. 300,000

Cap del banco. suficiente

Empleo Revestimiento y filtro

Tratamiento. cribado

Tamaño máximo de las partículas. 5 cm.

% de partículas > 2" 0

" " " > 1 1/2" 13

" " " > 3/4" 15.3

Observaciones. Propiedad privada

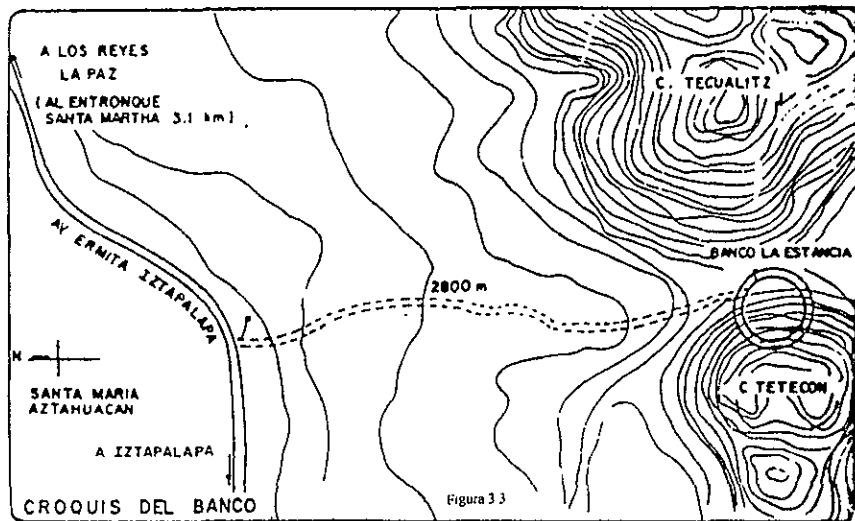
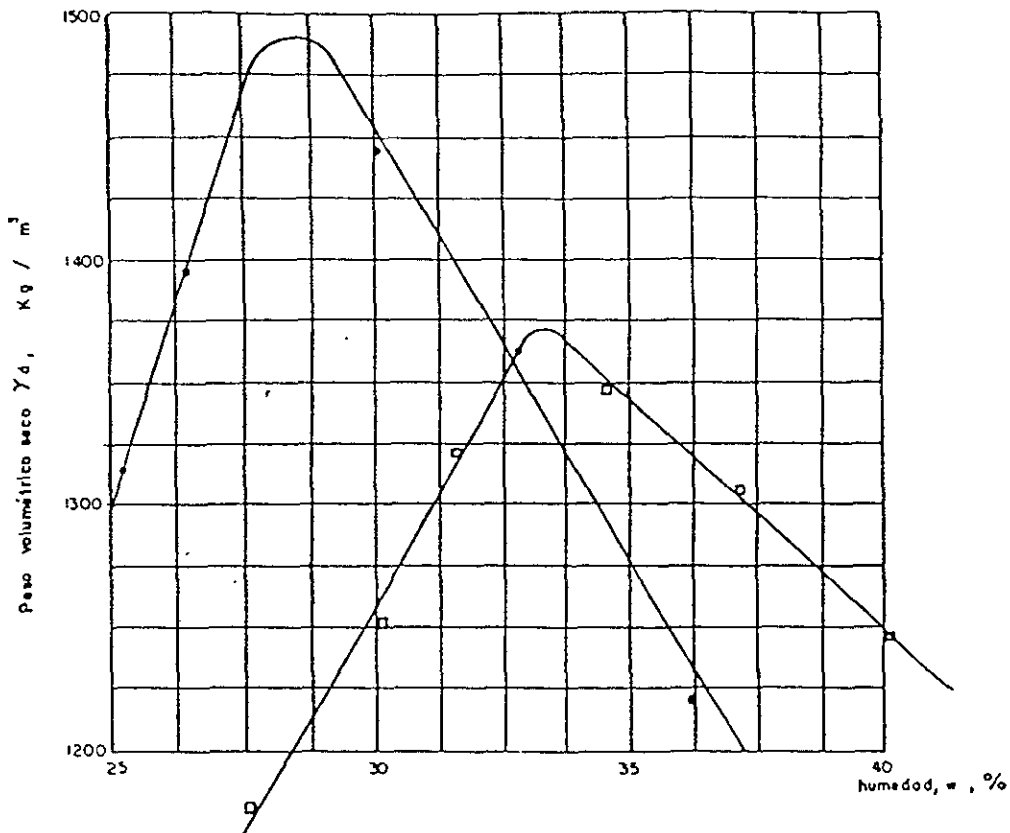


Figura 3.3



Banco " Sn Isidro	F-1	F-2
	●	□
Peso volumétrico seco máximo (kg/m <sup>3</sup> )	1490	1365
Contenido de agua óptimo (%)	28	34
Porcentaje de finos (%)	68	76
Límite líquido (%)	38	53
Índice plástico (%)	16	20

Prueba de compactación Proctor  
 (E<sub>c</sub> = 7.5 Kg-cm/cm<sup>3</sup>)

Figura 3.4

## **3.2 CONSTRUCCIONES DE TALUDES**

Se conoce con el nombre de talud cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra. Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera. Cuando los taludes son hechos por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales.

En primer lugar será preciso analizar la necesidad de definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como poder decir en un instante dado cuál será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Aquí radica la esencia del problema.

A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover y, por lo tanto, diferentes costos.

### **3.2.1 FALLAS RELACIONADAS A LA ESTABILIDAD DE TALUDES ARTIFICIALES**

#### **a) Falla rotacional.**

Se considera que la superficie de falla es circular y se presenta cuando los esfuerzos cortantes actuantes sobrepasan la resistencia del material, a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo, con la formación de una superficie de deslizamiento, a lo largo de lo cual se produce la falla. De echo, se puede afirmar que aún los deslizamientos más rápidos de tierra van siempre precedidos de movimientos, agrietamientos y, en general, de señales de que la relación esfuerzo-deformación está evolucionando desfavorablemente en el interior del talud. En este tipo de fallas influyen la secuencia geológica local, el perfil estratigráfico y la naturaleza de los materiales, las fallas rotacionales de forma circular ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa.

**b) Falla traslacional.**

Estas fallas por lo general consisten en movimientos traslacionales importantes del cuerpo del talud sobre superficies de falla básicamente planas, asociadas a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad bajo el talud.

Los estratos débiles que fomentan estas fallas son por lo común de arcillas blandas o de arenas finas o limos no plásticos sueitos. Con mucha frecuencia, la debilidad del estrato está ligada a elevadas presiones de poro en el agua contenida en las arcillas o a fenómenos de elevación de presión de agua en estratos de arena (acuíferos).

**c) Fallas con superficie compuesta.**

Este tipo de fallas abarca movimientos en que se combina la rotación y la traslación, dando lugar a superficies de fallas compuestas. En general, estas superficies están predeterminadas por la presencia de heterogeneidades dentro del talud. En general, cuanto menor sea la profundidad a que la heterogeneidad aparezca (fallas, juntas, un estrato débil, etc.) mayor será la componente traslacional en la falla.

**d) Fallas múltiples.**

Son aquellas fallas que se producen con varias superficies de deslizamiento, sean simultáneas o en rápida sucesión.

Las fallas regresivas se forman a partir de una primera (la situada más abajo), por la inestabilidad en que sucesivamente van quedando las zonas de cabeza de cada falla que se forma.

Las fallas rotacionales regresivas ocurren con frecuencia en regiones de topografía movida o escalonada, en que existan importantes fenómenos de erosión, especialmente si existe estratos gruesos de arcilla sobre consolidadas, fisuradas o de lutitas, por espesores grandes de roca o suelos firmes.

Las fallas traslacionales regresivas ocurren en capas superficiales y muchas veces también se asocian a arcillas fisuradas.

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE LOS DIQUES**

El procedimiento de cálculo seleccionado para llevar a cabo el estudio de la estabilidad de los taludes, es el conocido con el nombre genérico de “Método Sueco”, y en particular el de las “dovelas”, atribuido a Fellenius.

Se trata ahora del caso de un análisis que se haga con esfuerzos totales para suelos situados sobre el nivel de aguas freáticas. En tales casos, se dispone en general de los parámetros de resistencia que se obtengan en una prueba sin consolidación y sin drenaje (triaxial rápida o una prueba de campo o laboratorio o equivalente). El método consiste en lo siguiente:

En primer lugar, se propone un círculo de falla a elección y la masa de tierra deslizante se divide en dovelas, del modo mostrado en la figura siguiente:

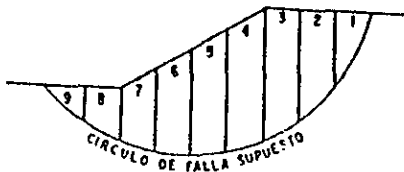


Figura 3 5

El número de dovelas es, hasta cierto punto, cuestión de elección si bien, a mayor número, los resultados de el análisis se hacen más confiables.

El equilibrio de cada dovela se puede analizar como se muestra en la siguiente fig.

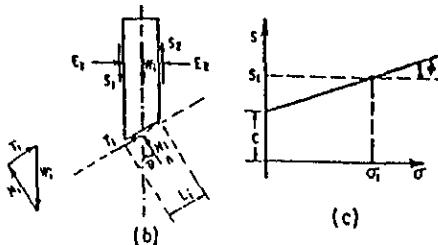


Figura 3 6

$W_i$  es el peso de la dovela de espesor unitario. Las fuerzas  $N_i$  y  $T_i$  son las reacciones normal y tangencial del suelo a lo largo de la superficie de deslizamiento  $\Delta L_i$ . Las dovelas adyacentes a la  $i$ -ésima, bajo estudio, ejercen ciertas acciones sobre ésta, que pueden representarse por las fuerzas normales  $P_1$  y  $P_2$  y por las tangenciales  $T_1$  y  $T_2$ .

En el procedimiento de las dovelas se hace la hipótesis de que el efecto de las fuerzas  $P_1$  y  $P_2$  se contrarresta; es decir, se considera que esas dos fuerzas son iguales, colineales y contrarias. También se acepta que el momento producido por las fuerzas  $T_1$  y  $T_2$ , que se considera de igual magnitud, es despreciable. Estas hipótesis equivalen a considerar que cada dovela actúa en forma independiente de las demás y que  $N_i$  y  $T_i$  equilibran a  $W_i$ .

El cociente  $N_i/\Delta L_i$  se considera una buena aproximación al valor de  $\sigma_i$ , presión normal actuante en el arco  $\Delta L_i$ , que se considera constante en esa longitud. Con ese valor de  $\sigma_i$  puede entrarse a la ley de resistencia al esfuerzo cortante que se haya obtenido, determinar ahí el valor  $\tau_i$  de resistencia al esfuerzo cortante que se supone constante en todo el arco  $\Delta L_i$ . Puede calcularse el momento motor debido al peso de las dovelas como:

$$M_m = R \sum |T_i| \quad (a)$$

Nótese que la componente normal de peso de la dovela,  $N_i$ , pasa por 0 por ser la superficie de falla un arco de circunferencia, y por lo tanto no da momento respecto a aquel punto. Si en la corona del talud existiesen sobrecargas su momento deberá calcularse en la forma usual y añadirse al dado por la expresión (a).

El momento resistente es debido a la resistencia al esfuerzo cortante, que se desarrolla en la superficie de deslizamiento de cada dovela y vale:

$$M_r = R \sum S_i \Delta L_i \quad (b)$$

Calculados el momento resistente y el motor puede definirse un factor de seguridad:

$$F.S.=MR/Mm= \frac{\sum S_c \Delta L_c}{|\sum T_c|}$$

La experiencia ha demostrado que una superficie de falla en que resulte  $F.S.=1.5$  es prácticamente estable. El método de análisis consistirá también en un procedimiento de tanteos, en el cual deberán fijarse distintos círculos de falla, calculando el F.S. ligado a cada uno; es preciso que el F.S. min., sea mayor de 1.5 en general, para garantizar en la práctica la estabilidad de un talud.

El procedimiento descrito habrá de aplicarse en general a círculos de falla de base y por el pie de talud.



## **DISEÑO DE TALUDES PARA LA CONSTRUCCION DE LOS ESTANQUES.**

### **Criterios Generales**

- a) Estanques de forma rectangular con  $r = a/l = 1/3$ .
- b) El fondo del estanque quedará nivelado.
- c) Los diques se construirán con la tierra excavada del fondo de los estanques y la faltante será transportada del banco, "La Estancia".
- d) La altura del agua en los estanques no excederá de 0.3m, la altura del dique no será mayor a 1.0m.
- e) La inclinación propuesta para las pendientes es 1:4.
- f) La capa superior del suelo de 0.3 a 0.6m de espesor será removida.
- g) Los materiales para la protección de las pendientes de los diques serán acarreados de otro lugar.
- h) Sobre los diques principales habrá circulación de vehículos en su cresta.
- i) El área de los estanques será de 1,000m<sup>2</sup>.

### **ANALISIS**

Con el propósito de poder reafirmar que los taludes 1:4 propuesta para construir tanto los diques primarios como los secundarios son confiables, se procedió a revisar la estabilidad de los mismos.

El procedimiento de cálculo que se empleó fue el de las dovelas. La aplicación del método anterior presupone como consideración básica el hecho de que la superficie de falla del talud sea circular, esto es, que la falla del mismo sea por rotación.

En análisis anterior finalmente nos lleva a encontrar el factor de seguridad del talud, dado por la relación entre los momentos resistentes y motor, en este caso en particular por tratarse de suelos conformados por varios estratos, fue necesario trabajar con resistencias y esfuerzos actuantes medios, a lo largo de la superficie de falla. En términos generales se hizo la consideración que un factor de seguridad.

Mayor o igual a 1.5, representaba un parámetro confiable para valuar la seguridad de los taludes respecto a la falla.

Los parámetros del suelo fueron seleccionados de los estudios de Mecánica de suelos disponibles del lugar tratado de emplear aquellos que resultaran ser más representativos, para lo cual se decidió emplear los valores medios de los mismos. Así, por ejemplo, para el caso de las arenas se utilizó un ángulo de fricción interna ( $\phi = 32^\circ$ ) y un peso volumétrico ( $\gamma_m = 1.6 \text{ t/m}^3$ ).

Además se revisó la estabilidad de los taludes considerando la aplicación de una carga puntual en su corona de 3.8 t., que podría representar el peso de un camión de volteo y en todos los casos, se obtuvieron resultados aceptables, tanto para superficies de falla por el pie, como por la base del talud. Del estudio de mecánica de suelos efectuado en la realización de los sondeos de penetración estándar y pruebas de laboratorio, se obtuvieron los parámetros siguientes:

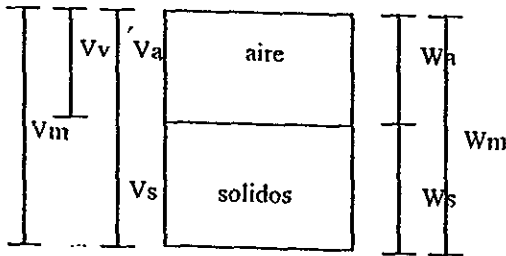
SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	COMPACIDAD	DR	$e$	$\phi$	PROFUNDIDAD	Ss
P.P.E 1	0.00-2.70	SUELTO	0.3	0.7	32°	1.60	2.70
	2.70-4.50	SEMICOMPACTO	0.5	0.6	35°		
	4.50-5.00	SUELTO	0.2	0.7	30°	3.30	2.73
	5.00-7.50	SEMICOMPACTO	0.5	0.6	35°	7.20	2.69
	7.50-9.00	MUY COMPACTO	0.8	0.4	45°		
P.P.E 2	0.00-3.40	SUELTO	0.3	0.7	32°	4.50	2.68
	3.40-5.20	SEMICOMPACTO	0.5	0.6	35°		
	5.20-6.20	SUELTO	0.2	0.7	30°		
	6.20-8.00	COMPACTO	0.7	0.5	35°		
	8.00-9.00	MUY COMPACTO	0.8	0.4	45°		
P.P.E 3	0.00-4.40	SUELTO	0.3	0.7	32°		
	4.40-6.20	SEMICOMPACTO	0.5	0.6	35°		
	6.20-7.00	MUY COMPACTO	0.2	0.4	45°		
P.P.E 4	0.00-3.40	SEMICOMPACTO	0.5	0.6	35°		
	3.40-5.00	MUY COMPACTO	0.2	0.4	45°		

Fig 3.7

De los resultados mostrados en la tabla anterior obtenemos valores medios tanto de la relación de vacíos como del peso específico de los sólidos.

Es decir  $e = 0.70$  y  $S_s = 2.70$

Si suponemos al material completamente seco:



Sabemos que:

$$e = V_v / V_s; \quad S_s = \gamma_s / \gamma_o; \quad s = W_s / V_s; \quad \gamma_m = W_m / V_m;$$

Si suponemos que:  $V_s = 1$  y que  $\gamma_o = 1 \text{ t/m}^3$ .

$$\Rightarrow e = V_v; \quad \gamma_s = W_s; \quad W_s = S_s \gamma_o; \quad W_m = S_s \gamma_o; \quad V_m = 1 + e$$

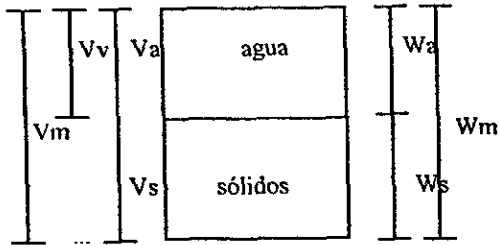
Sustituyendo valores:

$$\gamma_m = W_m / V_m; \quad = \quad S_s \gamma_o / (1 + e) = \quad 2.70 (1) / (1 + 0.70) = \quad 1.588 \text{ t/m}^3$$

$$\therefore \gamma_m = 1.588 \text{ t/m}^3$$

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Si suponemos ahora que el material está completamente saturado:



Sabemos que:

$$e = V_v/V_s, \quad S_s = \gamma_s/\gamma_o, \quad \gamma_s = W_s/V_s, \quad \gamma_m = W_m/V_m, \quad w\% = W_w/W_s;$$

Si suponemos que:  $V_s = 1$  y que  $\gamma_o = 1 \text{ t/m}^3$

$$\Rightarrow e = V_v, \quad \gamma_s = W_s, \quad W_s = S_s \gamma_o, \quad V_m = V_s + V_v = 1 + e \quad w(\%) = W_w$$

Sustituyendo valores:

$$V_v = e = 0.7; \quad W_s = S_s \gamma_o = 2.7 (1) = 2.70 \text{ t}$$

$$\gamma_s = W_s = 2.70 \text{ ton/m}^3; \quad V_m = 1 + e = 1 + 0.7 \text{ m}^3$$

$$V_w = V_v = 0.7 \text{ m}^3, \quad W_w = \gamma_o, \quad V_w = 1 (0,7) = 0.7 \text{ t}$$

$$W_m = W_s + W_w = 2.7 + 0.7 = 3.4 \text{ t}$$

$$\Rightarrow \gamma_m = W_m/V_m = 3.4/1.7 = 2 \text{ t/m}^3$$

$$\therefore \gamma_m = 2 \text{ t/m}^3$$

Por lo tanto la revisión de los taludes se hará utilizando un peso volumétrico de la arena de  $1.6 \text{ t/m}^3$ .

Por lo que respecta al ángulo de fricción interna,  $\phi$ , éste será igual a  $32^\circ$ .

Los parámetros de resistencia de los materiales que constituyen al dique son:

<b>Arcilla</b>	$\gamma_m = 1.8 \text{ t/m}^3$ $C = 1 \text{ t/m}^3$
<b>Arena:</b>	$\gamma_m = 1.6 \text{ t/m}^3$ $\phi = 32^\circ$
<b>Concreto:</b>	$\gamma_m = 2.1 \text{ t/m}^3$ $\phi = 45^\circ$

## ESTRATIGRAFIA

Depósitos característicos:

- limosos-arenosos
- arena-limosas con gravilla
- aglomerado (limos-arenosos con gravas y boleos)

Pesos volumétricos:

Profundidad (m)	$\gamma = (\text{t/m}^3)$
1.8	1.45
4.0	1.37
5.8	1.39

En las gráficas y tablas siguientes (3.8 a 3.15) se muestran los cálculos de estabilidad de los taludes en el pie y la base.

arcilla  $\gamma_m=1.8 \text{ T/m}^3$   
 $C=1 \text{ T/m}^3$   
 arena  $\gamma_m=1.6 \text{ T/m}^3$   
 $\phi=32^\circ$   
 concreto  $\gamma_m=2.1 \text{ T/m}^3$

TALUD 1:4 BASE

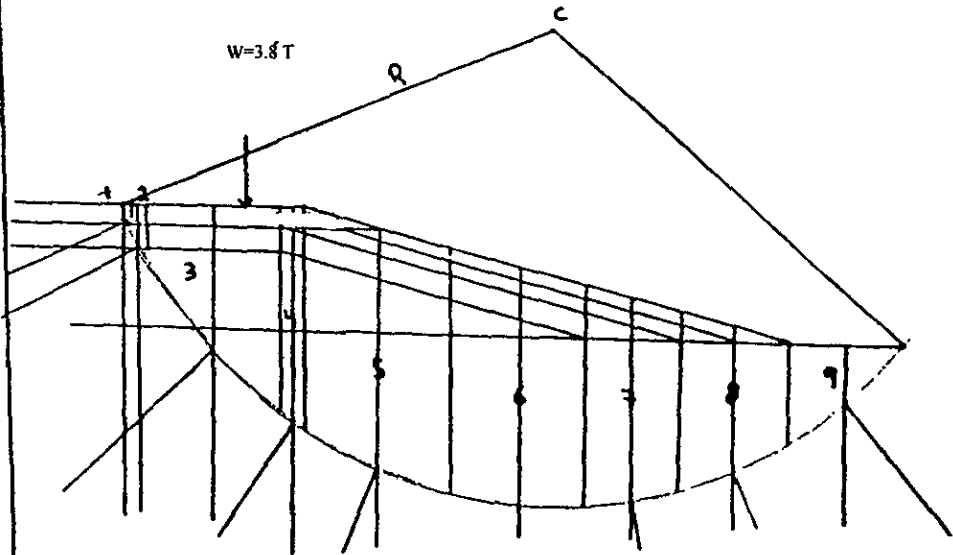
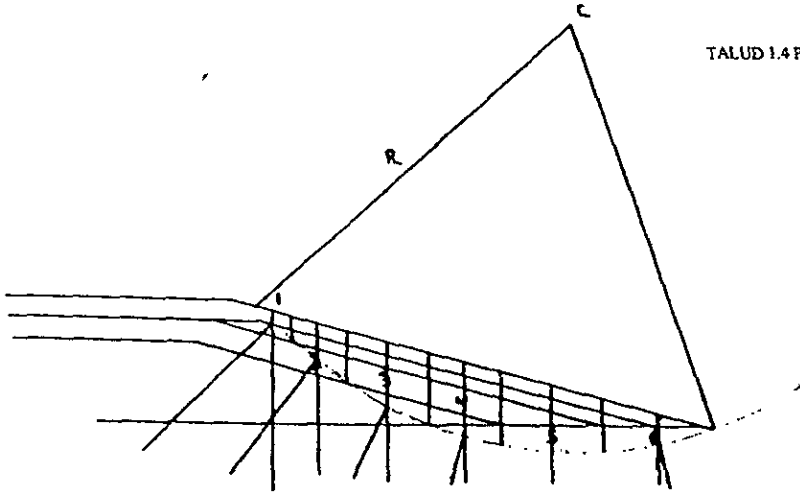


Fig. 1.1

DOVELA	AREA	$\omega_i$	$\alpha_i$	$\cos \alpha_i$	$\sin \alpha_i$	$N_i$	$T_i$	$\Delta L_i$	$\sigma_i$	$\sigma_i \operatorname{tg} \theta \%$	$S_i \Delta L_i$
1	007	011	61°	485	875	005	010	.175	030	.018	.003
2	019 .012	052	55°	.573	819	.030	042	2	149	0	20
3	112 .15 3	4 729	46°	694	.719	3 282	3.402	1.05	3 126	1 953	2 051
4	041 005 06	.567	35°	819	573	464	.326	35	1 327	829	.290
5	045 02 055	1 387	27°	891	454	1 236	.63	65	1 901	1 188	.772
6	08 08 16 .814	1.886	12 5°	976	.216	1 841	408	.8	2.301	1.438	1.15
7	085 085 .17 784	1 875	1°	.999	017	1.873	033	8	2.341	1 463	1 17
8	087 087 .085 616	1.46	17°	956	.292	1 396	427	.925	1.509	943	872
9	.07 021 27	613	32°	848	.53	520	.325	1.125	.462	.298	.325
F.S. = 6 833/5 602 = 1 22 < 1.5						$\Sigma = 5.602$			$\Sigma = 6.833$		

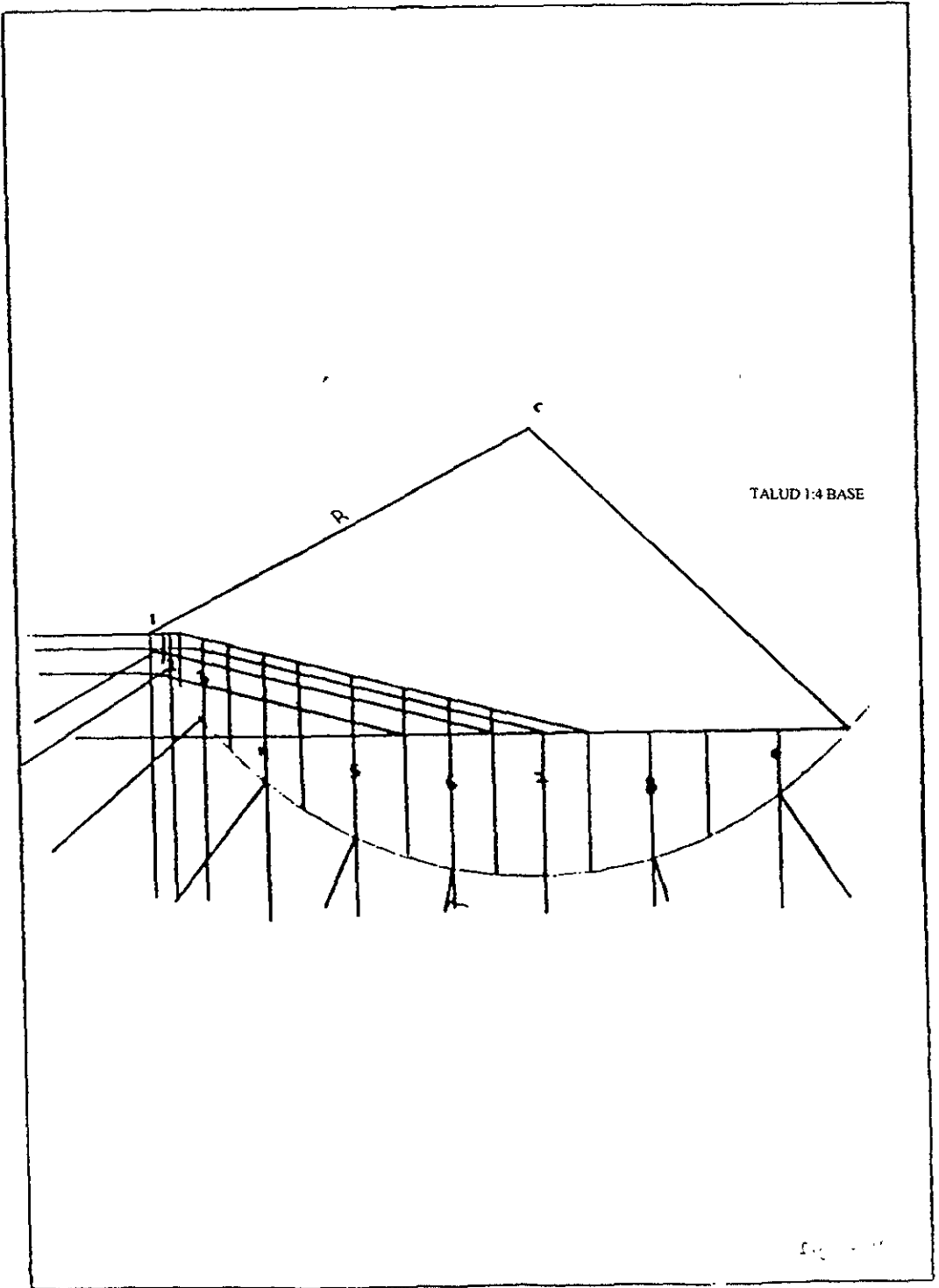
TALUD 1.4 PIE





DOVELA	AREA	$\omega_i$	$\alpha_i$	$\cos \alpha_i$	$\sen \alpha_i$	$N_i$	$T_i$	$\Delta L_i$	$\sigma_i$	$\sigma_i \operatorname{tg} \theta_i$	$S_i \Delta L_i$
1	.005 01 007	.402	45°	.707	.707	284	.284	.25	1.137	.71	.178
2	.045 .045 045	.247	38°	.788	.615	.195	.152	.55	.354	0	.55
3	.07 07 14 061	.609	25°	.906	.423	552	257	.775	.345	.215	.167
4	.06 06 12 09	.582	14°	.97	.242	565	141	1.25	.452	.282	.355
5	.085 .085 082 165	.726	1°	.999	.017	726	.013	.825	.880	.55	.453
6	.072 022 095	.338	13°	.974	.225	329	.076	.95	.347	.217	.206
F S = 1 909/ 923 = 2.07 > 1.5						$\Sigma = 923$					$\Sigma = 1 909$

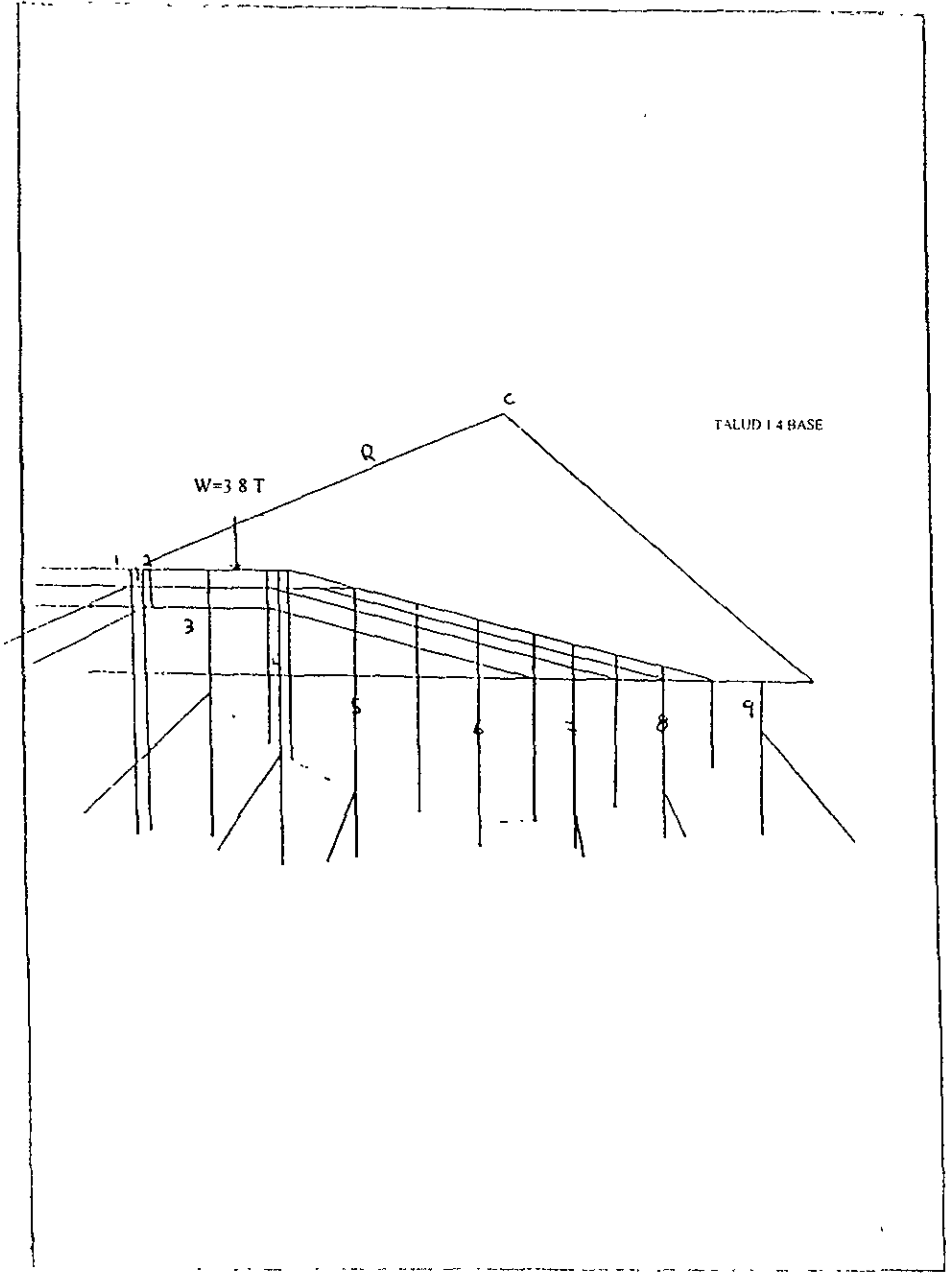
...



TALUD 1:4 BASE

Fig. 10

DOVELA	AREA	$\omega_i$	$\alpha_i$	cos $\alpha_i$	sen $\alpha_i$	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	$\Delta L_i$	$\sigma_i$	σ <sub>tg θ<sub>s</sub></sub>	S <sub>i</sub> ΔL <sub>i</sub>
1	.007 022	.011	59°	.515	.857	.006	.009	.225	.025	.016	.003
2	.007 015	.073	58°	.53	.848	.039	.062	6	.064	0	.6
3	.022 .02 045 09	.473	51°	.629	.777	.300	.367	.725	.410	.256	.186
4	.07 14 42	1.123	38°	.788	.616	.885	.691	.85	1.041	.650	.553
5	.1 1 2 971	2.284	25°	.906	.423	2.07	.965	1.125	1.84	1.15	1.29
6	.09 09 085 .96	2.033	12°	.978	.208	1.988	.423	.875	2.273	1.42	1.242
7	.07 022 1.125	1.982	1°	.999	.017	1.982	.034	9	2.202	1.376	1.238
8	1.265	2.024	16°	.961	.276	1.945	.558	1.2	1.621	1.013	1.215
9	.772	1.235	34°	.829	.559	1.024	.691	1.675	.611	.382	.64
						Σ = 3.8				Σ = 6.97	
F S = 6.97/3.8 = 1.83 > 1.5											



DOVELA	AREA	$\omega_i$	$\alpha_i$	$\cos \alpha_i$	$\sin \alpha_i$	$N_i$	$T_i$	$\Delta L_i$	$\sigma_i$	$\sigma_i \operatorname{tg} \alpha_i$	$S_i \Delta L_i$
1	006	.010	66°	.407	.913	.004	.009	.175	.023	.014	.002
2	019 012	.052	61°	.485	.875	.025	.045	.225	.112	0	.225
3	165 22 797	5.73	46°	.694	.719	3.984	4.125	1.65	2.414	1.509	2.489
4	03 005 04 262	.547	34°	.829	.559	.453	.306	.225	2.015	1.259	.283
5	047 082 115 25	3.72	20°	.94	.342	3.498	1.273	1.325	2.640	1.65	2.186
6	112 112 224 1.55	3.312	2.5°	.999	.044	3.309	.144	1.075	3.078	1.923	2.067
7	04 .04 077 98	1.86	10.5°	.983	.182	1.836	.34	.8	2.295	1.434	1.147
8	.069 021 922	1.654	24°	.913	.407	1.51	.673	1.0	1.511	.944	.944
9	421	.674	41.5°	.749	.663	.505	.447	1.25	.404	.252	.315
F.S. = 9.658/7.362 = 1.31 < 1.5						$\Sigma = 7.362$					$\Sigma = 9.655$

Corrección de los taludes donde  $F.S < 1.5$

Si  $\phi = 40^\circ$

DOVELA	Si	Si $\Delta Li$	
1	.025	.004	
2	0	.2	
3	2.623	2.754	
4	1.13	.389	$\Rightarrow F.S. = 9.107/5.602 = 1.62 > 1.5$
5	1.595	1.037	
6	1.931	1.545	
7	1.964	1.571	
8	1.266	1.171	
9	.388	<u>.436</u>	
		9.107	

Si  $\phi = 40^\circ$

DOVELA	Si	Si $\Delta Li$	
1	.019	0.003	
2	0	.225	
3	2.025	3.342	
4	1.691	.380	$\Rightarrow F.S. = 12.893/7.362 = 1.75 > 1.5$
5	2.215	2.935	
6	2.583	2.776	
7	1.926	1.540	
8	1.268	1.268	
9	339	<u>.424</u>	
		12.893	

### **3.3 CARACTERISTICAS DE LA CONSTRUCCION DEL FONDO DE LOS ESTANQUES**

Conforme a los resultados del estudio de bancos de materiales, se hacen las siguientes recomendaciones, tomando en cuenta la calidad de los materiales, así como la mejor ubicación de las fuentes de abastecimiento:

a) Como materiales impermeables podrán emplearse las arcillas de mediana plasticidad (CL) procedentes del banco "San Isidro", cuidando que su contenido de arena (material que pasa la malla # 4, pero se retiene en la malla # 200) sea inferior a 30% y que su límite líquido (LL) y su índice plástico (IP) no sea mayor de 45% y 15% respectivamente. Estos materiales deberán compactarse por capas al 95%, respecto al peso volumétrico seco máximo obtenido en laboratorio. La humedad recomendable de compactación será aproximadamente 3% mayor que la óptima de campo.

b) El fondo de la laguna podrá construirse con material producto del corte y con gravas de tezontle "en greña" procedentes del Banco "La Estancia", con tamaño máximo de 10.1cm. (4"), colocadas en el fondo y bandeándolas en el lugar. Estos materiales no deben colocarse bajo los bordos.

c) El material filtrante y el que se emplee como rezaga o revestimiento se construirán respectivamente con arenas y gravas de tezontle, procedentes del Banco "La Estancia", cribados de tal manera que tengan las secuencias granulométricas que se indican en la siguiente tabla:

Características granulométricas de los materiales que se empleen como material filtrante (arenas) y revestimientos (gravas).

Malla #	% que pasa	
	Arenas	Gravas
1 ½"	100	100
1"	100	80-100
¾"	100	65-100
½"	100	50-80
3/8"	95-100	40-75
4	90-100	25-55
20	60-80	10-25
60	35-50	3-12
200	15-30	0-5

- d) Los materiales arenosos y las gravas se compactarán con rodillos vibratorios ligeros (2 a 4 t de peso ), hasta alcanzar pesos volumétricos secos de 1.5 t/m<sup>3</sup>.



#### **4. CONCLUSIONES**

Actualmente la ciudad de México atraviesa por un problema muy complejo en materia de agua (potable y residual); por un lado es indispensable desalojar los grandes volúmenes que se precipitan, aunado con el agua residual producto del consumo de la ciudadanía en tiempos muy cortos y que en ciertas épocas han causado grandes catástrofes. Referente a agua potable subsiste un contraste entre los propios usuarios del servicio de agua; mientras que unos están acostumbrados a patrones de consumo ilimitado, otros reciben dotaciones muy reducidas, esto debido a las fuentes de abastecimiento cada vez más lejanas. Por esta razón se ha tomado en cuenta la posibilidad de aprovechar el agua residual tratada inyectándola al subsuelo y posteriormente extraerla por bombeo, en la medida en que los usos del agua se aproximen a la calidad requerida para que el agua pueda usarse como potable. Es necesario tomar en cuenta una gran diversidad de factores que surgieron respecto al proyecto.

#### **FACTORES TECNICOS**

La aplicación técnica para lograr la posibilidad de reuso de las aguas residuales consistió en la inyección de agua residual tratada hacia el subsuelo teniendo como resultados la recarga de los mantos acuíferos y posteriormente la extracción por bombeo. El método para realizar la recarga es a base de lagunas de infiltración, para ello es necesario elegir el sitio que cumpla con las características requeridas por el proyecto como son: topográficas, hidrológicas, geotécnicas, etc.

## FACTORES FISICOS

En pruebas iniciales de operación de la laguna posteriores a su construcción, se vertieron en los estanque caudales de alrededor de 500 l/s, los que se infiltraron muy rápido al subsuelo. Se desconocen los volúmenes de agua infiltrados, así como el tiempo de operación de las lagunas. Por ello se considera necesario hacer un estudio de mecánica de suelos sobre el piso de dichas lagunas, que permiten determinar la textura y permeabilidad del subsuelo y en base a esto el comportamiento de un tirante de agua sobre dichas lagunas, que era lo que se tiene contemplado en el proyecto, mantener un tirante casi estable.

## FACTORES QUIMICOS

El acuífero que se localiza cerca de las lagunas de infiltración presenta agua con cierto grado de salinidad, no es apropiada para consumo humano, por ello se ha permitido la inyección de agua residual tratada ya que la calidad del agua (acuifero) es ya deficiente. Por otro lado la inyección de agua residual tratada al acuífero de agua con bajo contenido salino origina una mezcla que mejora la calidad del agua del acuífero, esto a través de los análisis efectuados a los pozos de monitoreo que se ubican en las cercanías de las lagunas de acuerdo a los resultados obtenidos se llegó a determinar que el agua si es aceptable para consumo humano.(fig. 4.1).

# CARACTERIZACION FQB DEL AGUA DE RECARGA Y DEL ACUIFERO EN LAS LAGUNAS DE INFILTRACION DE SANTA CATARINA

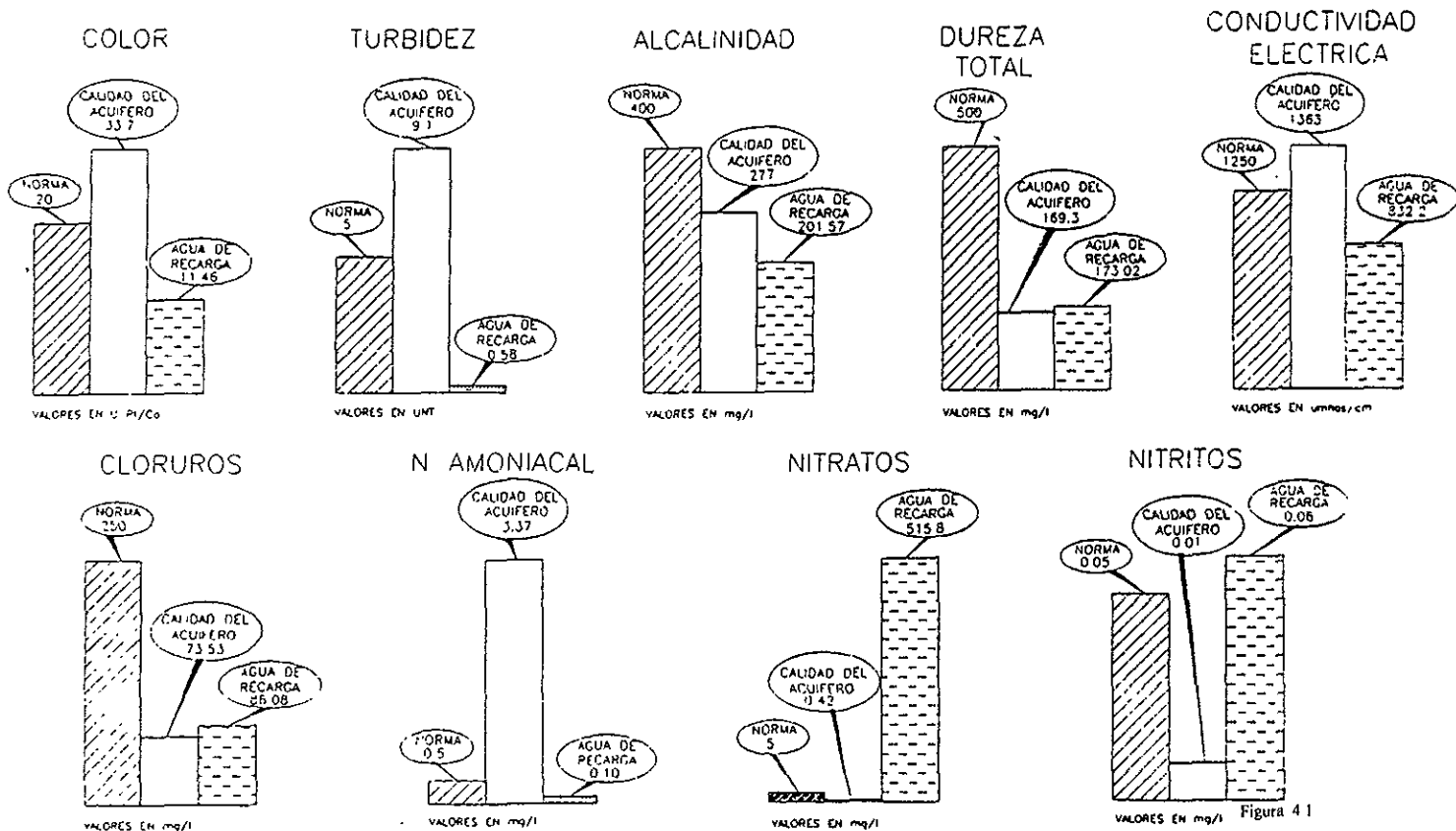


Figura 4.1

## ASPECTOS SOCIALES

El tratamiento y uso del agua residual tratada es una alternativa para obtener soluciones que en corto plazo contribuyan a satisfacer la demanda de agua potable a la población de la ciudad de México, ya que día con día el problema es más complejo, se tiene considerado la construcción del proyecto en su totalidad (100 has) para que de esta forma se logre aprovechar la mayor cantidad de agua en la recarga.

## ASPECTOS POLITICOS

Actualmente el proyecto está funcionando en su primera etapa, pero lo conveniente es que se construya en su totalidad (100has), el problema existente es que la mayoría de los predios son de régimen privado y los dueños los ocupan como predios de siembra temporal, lo conveniente es que el Departamento del Distrito Federal indemnice justamente a los propietarios para que el proyecto se construya totalmente y funcione como se tiene contemplado.

## BIBLIOGRAFIA

Juárez Badillo – Rico Rodríguez  
Mecánica de Suelos, Fundamentos de la mecánica de suelos  
Tomo I  
Limusa

Manual de diseño de obras civiles  
Exploración y muestreo de suelos  
Sección B.2.1.  
Comisión Federal de Electricidad

Manual de diseño de obras civiles  
Clasificación de Suelos y Rocas  
Sección B.1.2  
Comisión Federal de Electricidad

Manual de Diseño de obras Civiles  
Pruebas de Campo y Laboratorio  
Sección B.3.4.  
Comisión Federal de Electricidad

Abastecimiento de Agua Tratada al Campo de Recarga del  
Acuífero “Santa Catarina”  
Clasificación: 3.7.2. (4412)  
CONIISA

Investigación del Subsuelo en un área Para Recarga del Acuífero en la Sierra “Santa  
Catarina” Tláhuac, D.F.  
GEOTEC

**Proyecto Para Abastecimiento de Agua Tratada al Campo de Recarga "Santa Catarina"**  
Clasificación : 3.6.1 ( 4690)  
CONIISA

**Delimitación de la Zona de Recarga de "Santa Catarina" e  
Ingeniería de Detalle del Proyecto Piloto**  
Clasificación : 3.7.2. (4685)

**Estudio Para la Adecuación de los Procesos Experimentales  
de Tratamiento en la Planta Piloto "Cerro de la Estrella"**  
Clasificación : 3.4.2. (6616)  
DAMCO

**Manual de Tratamiento de Aguas Residuales  
(Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York)**  
LIMUSA, Noriega Editores

**Aguas Residuales y Plantas de Tratamiento.**  
SICTEC