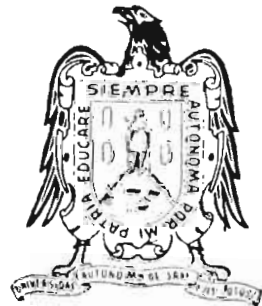


ESCUELA DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

INVESTIGACION DEL SUELO DEL CANAL  
DEL SABINITO EN EL MUNICIPIO  
DE CIUDAD DEL MAIZ, S. L. P.

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA  
EUGENIO PEREZ MOLPHE NOWAHIED

SAN LUIS POTOSI, S. L. P.  
1963



SISTEMA DE BIBLIOTECAS  
Instituto de Investigación de Zonas  
Desérticas UASLP

A mis padres

A mi esposa

TZ  
IC  
P41F

EL

R



DIRECCION

## ESCUELA DE INGENIERIA

MEXICO, S. L. P.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

Mayo 21 de 1963.

Al Pasante Sr. Eugenio Pérez Molphe Nowahied.

P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me permito indicar a usted que el H. Consejo Técnico de esta Escuela ha - tenido a bien designarme Director de la Tesis que deberá desa- rrollar en su examen profesional de Ingeniero CIVIL; así mismo, el Tema propuesto para la misma es:

"INVESTIGACION DEL SUELO DEL CANAL DE EL SABINITO  
EN EL MUNICIPIO DE CIUDAD DEL MAIZ, S.L.P."

### TEMARIO.

#### I.- INTRODUCCION

#### II.- GENERALIDADES

- a) Estudio de la Región
- b) Localización del Canal
- c) Geología de la Región
- d) Estudio Hidrológico
- e) Climatología.

#### III.- ESTUDIO DEL SUELO.

- a) Ensayes de Mecánica de Suelos.
- b) Pruebas: Paleontológicas, Petrográficas, Geológicas y Químicas.
- c) Tipo de Material Encontrado.

#### IV.- PROYECTO DEL CANAL PARA EL TIPO DE SUELO ENCONTRADO.

#### V.- CONCLUSIONES.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cum- plimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, debe prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis me- ses como requisito indispensable para sustentar su examen pro- fesional.

Atentamente.

"MODOS ET CUNCTASUM RERUM MENSURAS AUDEBO".

EL DIRECTOR DE LA ESCUELA.  
*Guillermo González Escamilla*  
ING. GUILLERMO GONZALEZ ESCAMILLA.

## I. PRODUCCION.

El objeto de este trabajo es el de diseñar un canal para el mejor aprovechamiento de una corriente fluvial permanente que se encuentra en el Municipio de Ciudad del Maiz, S.L.P., por lo que lo iniciaremos haciendo un breve estudio de la zona afectada.

El Estado de San Luis Potosí, situado casi al centro de nuestra República, es semejante a una ancha escalera que sube desde la planicie cálida y boscosa del seno Mexicano hasta la fría y árida cumbre del altiplano. Cada una de las planicies de esta escalera se diferencia de tal modo de la anterior que parecen pertenecer a diferentes latitudes y países.

El primer escalón del Territorio, en el cual corren las planicies costeñas del Golfo, tiene una altura promedio de 100 metros sobre el nivel del mar y le sirve de peralte la pendiente selvática de la Sierra Madre Oriental. A esta zona se le denomina Huasteca. Es prácticamente la única región de nuestro Estado en la que encontramos corrientes superficiales permanentes y es en la que estará situado el canal a que nos referimos en este estudio.

El segundo escalón es el limitado por las sierras Gorda y de Guascamá, la de Tablón de Guadalcázar y de la Ventana. Tiene este escalón una altura promedio de 1000 metros sobre el nivel del mar, un clima caliente con estación lluviosa bien diferenciada en el sur y árida hacia el norte. En esta zona se halla la cuenca de Rioverde.

El tercer peldaño tiene una altura de 1500 metros y se extiende desde las cañadas de San Nicolás Tolentino, los planos de Pozo del Carmen, las llanuras de Peotillos, Núñez, Charcos de Santa Anna y Vallejo, hasta la Bonita cerca de Matehuala. Su peralte son las Sierras de Alvarez, Tinaja, Pilas y Pastoriza.

Subiendo un paso más nos encontramos una serie de valles con una altura promedio de 1700 metros, que corren de Norte a Sur desde el Salado, Vanegas, Catorce, Venado, Tangamanga y San Francisco. Los separa de la

plataforma final, la cadena de Sierras que corren en su flanco Oeste desde el Salado hasta Bledos y que toman los nombres de los lugares cercanos.

La plataforma final, con altura promedio de 2000 metros, es la estepa Potosina, se extiende más allá de los límites accidentales del Estado y se pierde en el Estado de Zacatecas hacia el desierto de Chihuahua.

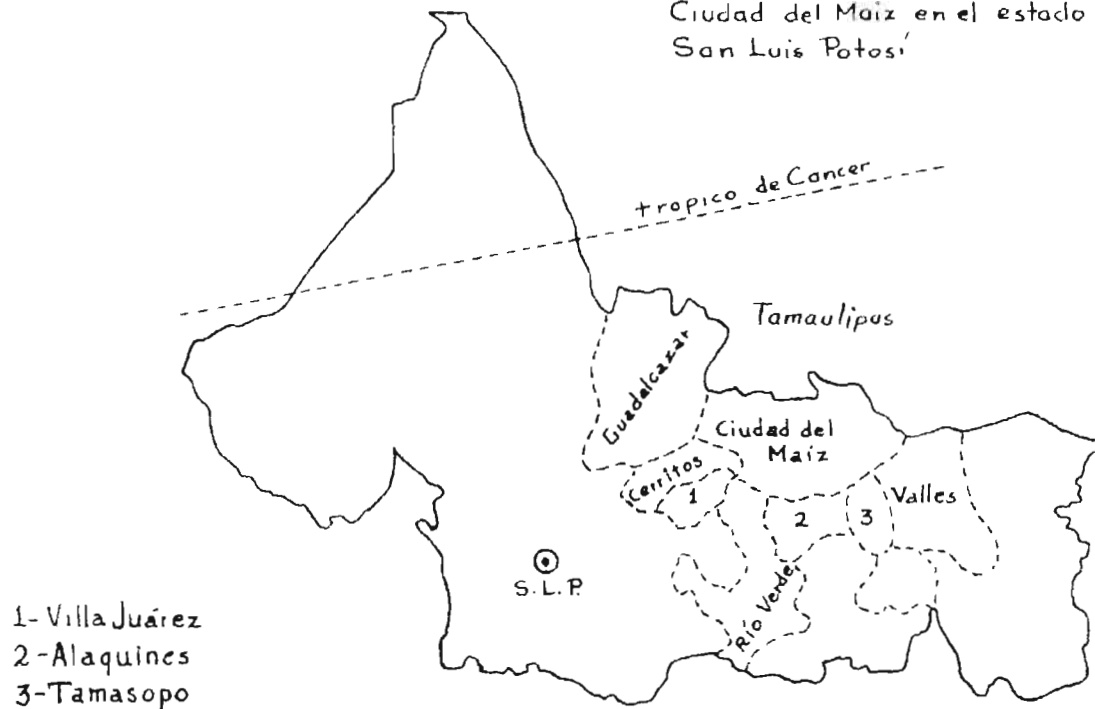
El Estado de San Luis Potosí tiene 54 Municipios divididos en zonas, limitadas por sus alturas o por su posición en el Estado. Tenemos así, los Municipios de la Estepa, que son aquellos situados en la parte más alta de nuestro Estado. Los Municipios riolíticos o del rincón riolítico, que son aquellos que se encuentran limitados por las grandes formaciones de riolitas y tobas riolíticas en el rincón inferior del Estado. Los Municipios de la cuenca de Rioverde. Los Municipios de la Sierra Madre y por último los Municipios de la Huasteca.

El Municipio de Ciudad del Maiz está situado en la parte Norte de nuestro Estado colindando con el Estado de Tamaulipas y los municipios de Guadalcázar, Carritos, Juárez, Rioverde, Alaquines, Tamasopo y Valles. Es uno de los municipios más grandes del Estado, con una superficie de 4240 Km<sup>2</sup>. Se notan dos regiones en su suelo, una al Este cruzada por la Sierra Madre Oriental y la otra al Oeste en el Altiplano y que comprenda más de la mitad de su Territorio, perteneciendo a la Estepa, con un clima seco, a una altura de más de mil metros sobre el nivel del mar, cubierto por una tierra vegetal blanca y suelta, con espesos matorrales y cactáceas. Una gran parte de sus formaciones montañosas son de origen ígneo y tenemos incluso el volcancito del Tepeyac.

Las cuencas son cerradas, como la del Guajolote, que forma pantanos salitrosos, cubiertos de zacatón; grandes derrames de basaltos negros se notan en esa zona, con algunos matos de lavas porosas.

Al pie de las sierras de Capadero, Huilotas y Flechado, formados por plegamientos calizos, se encuentra la Villa de Ciudad del Maiz, que antiguamente se llama-

Localización del municipio de  
Ciudad del Maíz en el estado de  
San Luis Potosí



Eugenio Perez Molphe N  
tesis profesional



ba "Purísima Concepción del Valle del Maíz", a una altura de 1250 metros sobre el nivel del mar, con un clima cálido y a una distancia de 225 kilómetros de San Luis Potosí por carretera. La Misión primitiva fue fundada por Fray Juan Bautista Mollinedo en 1616 y en febrero de 1827 se elevó a la categoría de Villa.

Al este de la Villa comienzan, en las sierras ya mencionadas como Capadero, Huilotas, etc., a verse los principios de la región Huasteca y se observan grandes bosques de encinos.

Terrenos fosilíferos de bivalvos marinos son los de la Pendencia y San Antonio en la falda de la Sierra de Francia.

Hay varios espinazos que forman la sierra y que corren de Sur a Norte, paralelamente con cerros que sobrepasan los 2000 metros, como la llamada Sierra de Cinco Palos, el Ojo de León, la de Puerto Blanco, La Colmena, Puerto del Hambre, el Maguey y Sierra Virgen.

Al terminar la gran muralla de Oriente que forma este conjunto de Sierras y ya para el lado del Golfo de México, el terreno baja abruptamente hasta 500 metros, que tienen los valles intermontanos; el clima se vuelve tórrido con un ochenta por ciento de humedad atmosférica. Termina el encinal y la vegetación se ve formada principalmente por palmas de abanico, higuerones, chacas, etc.

Se llega al río del Salto o Abra de Caballeros, que corre cortando la carretera a la altura del pueblo de El Naranjo, forma los saltos del Meco y del Salto. Es un río de aguas color azul cobalto y sumamente alcalinas -- que forma con sus sales grandes depósitos de travertino que hacen verdaderas represas en su lecho.

En la vertiente de la Sierra Virgen nace el río -- Frío o Gallina.

Termina el Municipio de Ciudad del Maiz en las estribaciones de la Sierra de la Colmena que es también el límite del Estado con el de Tamaulipas.

Esta Demarcación tiene cuarenta mil habitantes, de los cuales cinco mil viven en el pueblo de Ciudad del

Maiz.

El Canal de nuestro estudio está situado a un lado del río del Salto, a la altura del poblado de El Naranjo, sobre el Valle del mismo nombre.

## GENERALIDADES.

### Estudio de la Región.

La región de El Naranjo está situada en la parte - Oriental del Municipio de Ciudad del Maiz. Es un Valle bastante grande que se encuentra bajando de la Sierra - Madre Oriental. Tiene abiertas al cultivo grandes ex- tensiones de terreno, aunque son una mínima parte de sus posibilidades. Su cultivo principal es la caña de azúcar encontrándose también algo de frutales y cultivos de ali- vio.

Se halla atravesado por una corriente superficial - permanente que no había sido aprovechado, hasta ahora -- que se piensa en obtener algún beneficio de ésta, por me- dio de una planta hidroeléctrica en el Salto de Tanloquén y por medio de un canal, el canal del Sabinito.

Por lo anterior vemos que la mayor parte de los cul- tivos de la zona dependen completamente del regimen de- lluvias, que si bien son abundantes, no se puede tener la seguridad que se tendría en un distrito de riego. De ahí la necesidad de un mayor aprovechamiento del río -- del Salto por medio del Canal del Sabinito y más ahora que se piensa beneficiar la caña de la región dentro -- del mismo valle de El Naranjo.

### Localización del Canal.

El Canal del Sabinito se encuentra en el Valle de El Naranjo al Sur del Ejido del Sabinito. Va siguiendo, en casi toda su longitud, el contorno de las laderas de la Sierra de Cinco Palos.

Tiene este Canal dos ramas. Una, la principal, de-- 8480 metros y en el Km 4+600 sale una ramificación que - se acerca hacia el río del Salto con una longitud de --- 3436 metros.

En el Kilómetro 4+471 cruza la carretera Tampico-Barra de Navidad mediante un sifón. La obra de toma es directa y está aproximadamente a 4 kilómetros sobre el río, del Puente de El Naranjo (ver mapa).

### Geología de la Región.

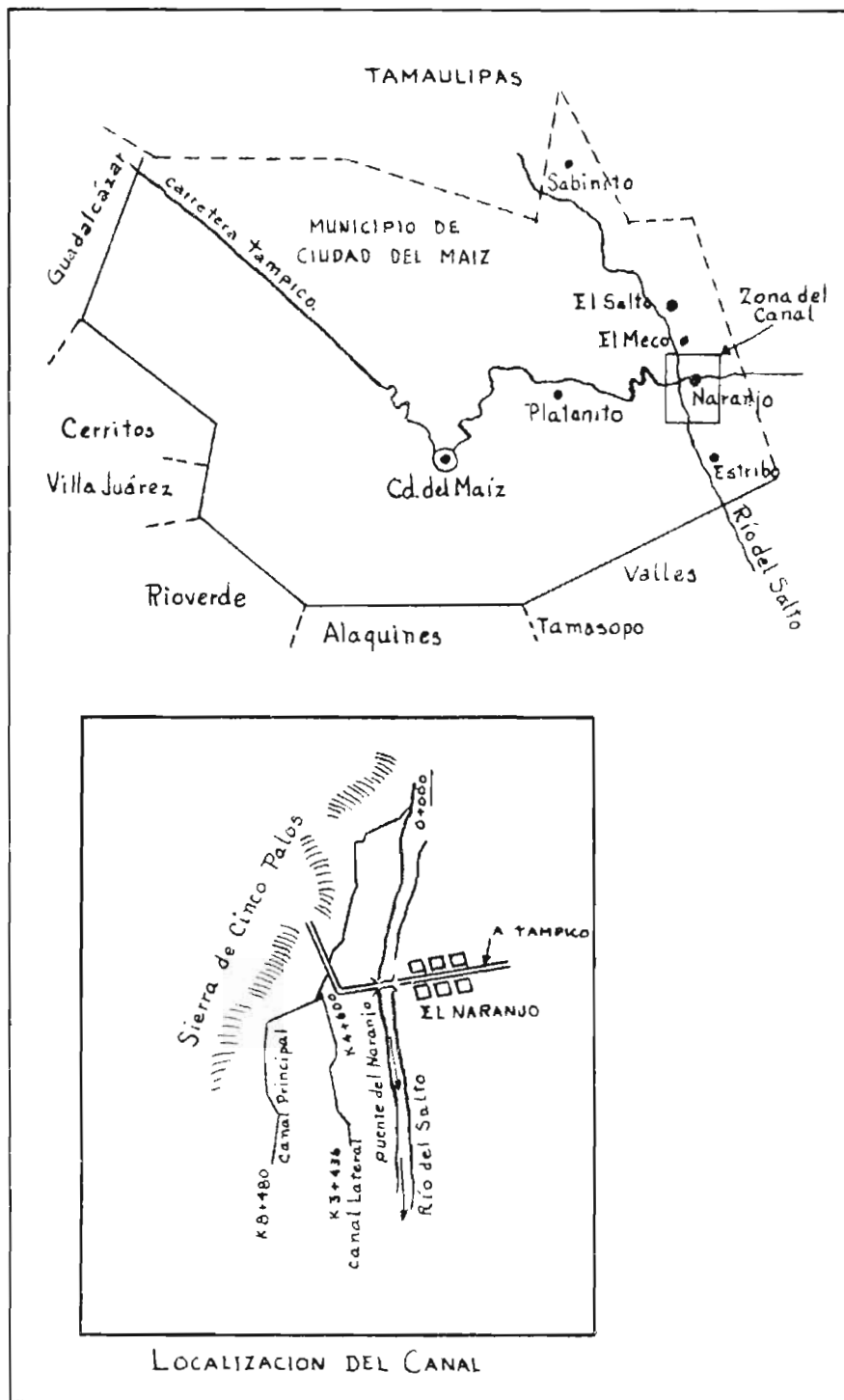
Subiendo por un contrafuerte de la Sierra Madre Oriental y precisamente en la que se denomina Sierra de Cinco Palos, llegemos hasta una altura de 950 metros sobre el nivel del mar, para iniciar el descenso a la cañada de El Naranjo.

Si iniciamos nuestro estudio del terreno de abajo hacia arriba, veremos que a medida que se va ascendiendo a la sierra, se observan las capas de calizas que, ligeramente inclinadas hacia la llanura en un principio, se deprimen y levantan alternativamente para formar pliegues que se suceden en el sentido longitudinal del contrafuerte, ya se observan en capas horizontales o se buzan hacia el Noroeste, o cambian su echado al Suroeste.

La dirección de estas capas de calizas es de  $20^{\circ}$ N-0 y por consiguiente transversales al contrafuerte que -- constituyen, presentándose como líneas paralelas que se distinguen fácilmente a distancia y formando una escalinata de peldaños numerosos para llegar a la cima donde se encuentran horizontales frecuentemente y las cumbres de los contrafuertes corresponden a los dorsos o crestas de pequeños anticlinales que corren paralelamente al eje de la Sierra y que son perpendiculares a la dirección media de los contrafuertes.

La parte superior de la Sierra, al igual que la central, no es necesario estudiarla, puesto que en nada podrán afectar a la estructura del Canal.

Las calizas de la parte inferior que en algunas -- partes son cortadas por el canal, sobre todo en los primeros tres kilómetros, son rocas bastante compactas, de fractura astillosa y bastante corroídas, con una perfecta conformidad en su estratificación. Se encuentra dentro de la caliza en algunas partes, la presencia de lídita o sea una roca de grano finísimo compacta, compuesta de cuarzo y calcodonia, de color pardo y verdoso po-



siblemente por la presencia de carbonatos, hidróxidos de hierro y clorita.

Es casi nula la presencia de fósiles y su formación por semejanza con las calizas de Guajolote dentro del mismo municipio y otras cercanas a las de la Sierra de Cinco Palos, se puede situar en el Cretácico.

Ya en el Valle, la roca madre ha sido tapada completamente por otras capas de terreno. En el lecho del río y en su zona de influencia tenemos grandes depósitos de tobas calizas de color muy claro, abundantes en el Cuaternario, bastante compacta y que dentro del río ha formado represas que le dan un aspecto característico, esta toba es de la variedad denominada Travertino.

Sobre la zona en que va a estar cimentado el canal, tenemos una gruesa capa de suelo vegetal cuyas características mecánicas nos vemos forzados a determinar por medio de un estudio más detallado, puesto que es donde vamos a asentar nuestra estructura.

#### Estudio Hidrológico.

La hidrología subterránea de la zona no va a ser objeto de nuestro estudio, puesto que será un aprovechamiento superficial.

En la hidrología superficial tenemos como única corriente que cruza la zona, al río del Salto o Abra de Caballeros, que es una corriente de régimen permanente, o sea que durante todo el año lleva agua.

Nace este río en las estribaciones de la Sierra de Yerbabuena y recibe los escurrimientos de las cuencas de la Sierra de Yerbabuena y de Cinco Palos.

La zona es bastante lluviosa, de las más en nuestro Estado, llega a registrar una humedad ambiente de hasta 80% debido a que los vientos dominantes son Este-Oeste y a que la muralla de la Sierra Madre detiene el paso de las nubes precisamente sobre esta zona.

Tenemos el registro de la cantidad de agua caída en dos lugares de la zona:

En el Meco, que está situado a 22.36° de latitud y 99.23° de longitud, a una altura sobre el nivel del mar de 348 metros, se precipitan 1453.9 m.m. anuales.

En el Naranjo, a los 22.36° de latitud y 99.23° de longitud, también a 348 metros, se precipitan 960.9 mm. anuales.

### Climatología.

La región es sumamente calurosa, lo que hace que la evaporación cuando la humedad ambiente disminuye, sea muy grande, motivo por el cual casi no es posible depender de los cultivos de temporal solamente. En el Valle de El Naranjo tenemos una temperatura media anual de -- 23.4°C y en el Meco, 21.9°C.

ANALISIS DE LABORATORIO DE MECANICA  
DE SUELOS

Muestra No. 1 para Laboratorio

Fue extraída en el kilómetro 3,000 de la obra de toma, a 1 metro de profundidad; alterada, pero de una sola capa de terreno.

Preparación.

El material venía en forma de terrones o grumos; se desmoronaron primero a mano cuando se pudo y después con sumo cuidado por medio de un pisón de madera de 8 x 8 cms. Para la primera parte de la preparación, se siguió el siguiente procedimiento:

1.- Se obtuvo el peso total de la muestra húmeda, - tal como llegó del campo, que fue de 24.500 Kgs. A ésto se restó el peso del envase (540 gms.) obteniéndose un peso neto de 23.960 Kgs.

2.- Se vació la muestra sobre una charola cuadrada de lámina y se separó la grava con la mano.

3.- Se desmoronaron los grumos con pisón y a mano.

4.- Por la malla No. 4 se pasó el material desmoronado y se clasificó en dos grupos.

5.- Se guardó el material que pasó la malla No. 4, que prácticamente fue todo, para pruebas posteriores.

6.- Con el material que pasó la malla No. 4 se llenaron cuatro cápsulas con 100 gms. cada una, pesadas en una balanza de torsión con aproximación de 0.1 gms. Las cápsulas se colocaron durante 15 horas en un horno a temperatura de 105°C con objeto de obtener el contenido de humedad inicial de la muestra, con los siguientes resultados; por medio de la fórmula que se expone a continuación:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso Seco} \times 100}{\text{Peso Seco}}$$

CAPSULA NO.1

Peso seco = 92 gms.

$$\frac{100-92}{92} \times 100 = \frac{8}{92} \times 100 = 8.69\%$$

CAPSULA NO. 2

Peso seco 91.5 gms.

$$\frac{100-91.5}{91.5} \times 100 = \frac{8.5}{91.5} \times 100 = 9.29\%$$

CAPSULA NO. 3

Peso seco 89 gms.

$$\frac{100-89}{89} \times 100 = \frac{11}{89} \times 100 = 12.36\%$$

CAPSULA NO. 4

Peso seco 91.5 gms.

$$\frac{100-91.5}{91.5} \times 100 = \frac{8.5}{91.5} \times 100 = 9.29\%$$

Tabla No. 1

MUESTRA NO. 1				
Cápsula No. :	Peso Húmedo :	Peso Seco :	% de Humedad	
1	: 100 gms.	: 92 gms.	:	8.69
2	: 100 "	: 91.5 "	:	9.29
3	: 100 "	: 89 "	:	12.36
4	: 100 "	: 91.5 "	:	9.29

Tenemos dos valores iguales, uno semejante y uno que se nos va completamente, por lo tanto aceptamos tres cápsulas y hacemos el promedio de humedad de la muestra.

% humedad de la muestra, 9.09 9.1%

Con este dato y por medio de la siguiente fórmula obtenemos el peso de la muestra seca:

$$\text{Peso de la muestra seca} = \frac{\text{Peso de muestra húmeda}}{1 + \text{humedad en fracción decimal.}}$$

$$\text{Peso de la muestra seca} = \frac{23.880}{1 + 0.091} = 21.808 \text{ Kgs.}$$



Haciendo el resumen de lo obtenido hasta ahora:

Peso de la muestra traída del campo.....	24.500	Kgs.
Peso del envase.....	0.540	"
Peso neto de la muestra húmeda.....	23.960	"
Peso del material retenido por la malla 4...	0.080	"
Peso del material que pasa la malla No. 4...	23.880	"
Porcentaje de humedad del material reteni-		
do por la Malla No. 4.....	0	%
Porcentaje de humedad material que pasa		
por la malla No. 4.....	9.1	%
Peso del material seco que pasa por la		
malla No. 4.....	21.838	Kgs.
Peso seco de la muestra total.....	21.968	Kgs.

#### Muestra No. 2

Extraída en el kilómetro 3+500 de la obra de toma; el terreno en esta parte es el que predomina a todo lo largo del canal, semejante en su textura al de la muestra No. 1, pero difiere en color. Esta muestra es también alterada y se tomó a una profundidad de un metro.

El procedimiento para su preparación es el mismo que el utilizado en la muestra anterior, por lo que nos limitaremos a expresar los resultados.

Porcentaje de humedad.

CAPSULA NO.1

Peso seco 87 gms.

$$100 \times \frac{100-87}{87} = \frac{13}{87} \times 100 = 14.94 \%$$

CAPSULA NO. 2

Peso seco 86,5 gms .

$$100 \times \frac{100-86,5}{86,5} = \frac{13,5}{86,5} \times 100 = 15.60 \%$$

CAPSULA NO. 3

Peso seco 87.2 gms.

$$100 \times \frac{100-87,2}{87,2} = \frac{12,8}{87,2} \times 100 = 14.44\%$$

CAPSULA NO. 4

Peso seco 87 gms.

$$100 \times \frac{100 - 87}{87} = \frac{13}{87} \times 100 = 14.94 \%$$

Tabla No. 2

Muestra No. 2						
Cápsula No.	:	Peso húmedo	:	Peso Seco	:	% de Humedad
1	:	100 gms.	:	87 gms.	:	14.94 %
2	:	100 "	:	86.5 "	:	15.60 %
3	:	100 "	:	87.2 "	:	14.44 %
4	:	100 "	:	87 "	:	14.94 %

Los cuatro resultados se aproximan bastante, por lo que podemos decir que el % de humedad de la muestra será el promedio de estos resultados.

$$\% \text{ de humedad} = 14.98 \%$$

El peso de la muestra seca será:

$$\text{PMS} = \frac{21.910}{1 + 0.1498} = 19.052 \text{ Kgs.}$$

Resumen de la Muestra 2

Peso de la Muestra traída del campo.....	22.500 Kgs.
Peso del envase.....	0.540 Kgs.
Peso neto de la muestra húmeda.....	21.960 Kgs.
Peso del material retenido por la malla 4.....	0.050 Kgs.
Peso del material que pasa la malla No. 4.....	23.880 Kgs.
Porcentaje de humedad del material retenido por la malla No. 4.....	0 %
Porcentaje de humedad del material que pasa la malla No. 4.....	14.94%
Peso del material seco que pasa la malla 4.....	19.052 Kgs.
Peso seco de la muestra total.....	19.102 Kgs.

Análisis Granulométrico (sin lavado)

Muestra No. 1

El análisis granulométrico de un suelo consiste en

separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen; se puede determinar por medio de tamices o por medio del Hidrómetro, en este caso lo determinaremos sólo por el método mecánico de tamices, primero en seco y después lavando las muestras.

No tenemos materiales mayores a la malla No. 4, así que del material menor ponemos a secar en el horno una parte, a 105°C, durante 15 horas y la dejamos enfriar a temperatura ambiente.

Desmoronamos los grumos con las manos y con rodillo de madera y pesamos 500 gramos de muestra seca. Colocamos en orden progresivo las mallas números 8, 10, 16, 20, 35, 40, 60, 100 y 200 con su charola y tapa; agitamos las mallas horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente dando golpes secos de vez en cuando al tiempo de agitarlo. Lo daremos en la tabla siguiente, pues por dificultades presentadas por el tipo de material, los finos hubo de agitarlos más tiempo

Tabla No. 3

Malla	Apertura en mm.	Peso Ret. en gramos.	% parcial retenido	% Acumulativo que pasa	Observaciones
8	2.362	1	0.20	99.8	Arena gruesa y grumos de tierra difíciles de desbaratar.
10	2.000	10	2	97.8	Casi puros grumos.
16	1.19	32.5	6.5	91.3	Mat. orgánica (pequeños pedregos de madera y raíces), arena y algo de grumos.
20	0.840	35.5	7.1	84.2	Todavía existen grumos.

Malla	Apertura : en mm.	Peso re- : en gramos	% par- : cial re- : tenido.	% Acu : mult. : que pa- : sa.	Observaciones
				100 %	
35	0.500	89.5	17.9	66.3	
t 30					
40	0.420	34.5	6.9	59.4	
t 35					
60	0.250	91.6	18.32	41.08	Hasta aquí si- guen siendo vi- sibles a simple vista los grumos.
t 40					
100	0.149	66.5	13.3	27.78	En microscopio con lente x150 de aumento si- guen siendo vi- sibles los gru- mos.
t 45					
200	0.074	64	12.8	14.98	
t 45					
SUMAS		425.1	85.02		
CHAROLA		74.4	14.85		
S U M A		499.5	99.87		

De la Tabla anterior podemos concluir que el análisis granulométrico seco, sin lavado, no nos da la exactitud que podríamos desear, por lo que posteriormente haremos el análisis con lavado.

Análisis Granulométrico (sin lavado).  
Muestra No. 2.

La preparación de la muestra se hizo igual que en el caso anterior por lo que daremos solo resultados:

Tabla No. 4

Malla	:Apertura: :en mm.:	:Peso re- :tonido :en gramos:	:% par- :cial re- :tonido:	:%Acumu- :relativo: :que pa- :sa.:	:Observaciones
8	: 2.362	: 3.5	: 0.7	: 100 % : 99.3	:Casi puros gru- :mos sumamente :duros.
10	: 2.000	: 17.6	: 3.52	: 95.78	:Continúan sien- :do casi puros :grumos.
16	: 1.190	: 97.5	: 19.5	: 76.28	
20	: 0.840	: 113.5	: 22.7	: 53.58	
35	: 0.500	: 126.0	: 25.2	: 28.38	
40	: 0.420	: 29.0	: 5.8	: 22.58	
60	: 0.250	: 60.5	: 12.1	: 10.48	:Persisten los :grumos.
100	: 0.149	: 28.5	: 5.7	: 4.78	
200	: 0.074	: 18.2	: 3.65	: 1.13	
SUMAS		: 494.3	: 98.87		
CHÁROLA		: 5.0	: 1.00		
S U M A		: 499.3	: 99.87		

Observamos que al igual que en la muestra No. 1, es imposible aceptar este análisis como satisfactorio, por lo que deberemos también, hacer el análisis por la vada sucesivos del material.

Análisis Granulométrico con lavado.

Muestra No. 1

Secamos y desmoronamos los grumos al igual que en el análisis sin lavado, pesamos la cantidad de muestra necesaria, que en este caso fue también de 500 gramos. Pusimos la muestra en una cápsula de 12" de diámetro, le agregamos agua y lo dejamos remojando durante 5 horas hasta que todos los grumos se deshicieron. Vaciamos nuestra muestra sobre la malla No. 200 y con agua corriente, deslizándola sobre canalones de lámina para evitar forzar los granos, lavamos la muestra para que los finos pasaran a través del tamíz y guardamos éstos en una charola grande para que se precipitara el material y posteriormente poderlo analizar.

El material retenido por la malla No. 200 se guardó en una cápsula y se lavó la malla con agua, recuperando todo el material que hubiera quedado en ella; el contenido de la cápsula lo dejamos secar durante 24 horas en un horno a temperatura de 105°C. Con el material seco repetimos las operaciones anteriores para todos los tamices con los resultados que se dan a conocer en la Tabla siguiente:

Tabla No. 5

Malla	Apertura en mm.	Peso retenido (gms.)	% Retenido	% Acumulado que pasa	Observaciones
8	2.362	0	0	100	
10	2.000	1.29	0.258	99.742	
16	1.19	3.30	0.66	99.082	
20	0.840	5.62	1.124	97.958	
35	0.500	20.60	4.120	93.838	

(continúa)

Malla	Apertura en mm.	Peso retenido (gms.)	% Par- cial re- tenido	% Acu- mulati- vo que pasa	Observaciones
40	0.420	6.72	1.344	92.494	
60	0.250	25.90	5.18	87.314	
100	0.149	24.32	4.864	82.450	
200	0.074	40.85	8.17	74.28	
SUMAS		128.60	25.72		
CHAROLA		371.30	74.26		
S U M A		499.90	99.98		

Análisis Granulométrico con Lavado.  
Muestra No. 2

Seguimos los pasos ya mencionados y obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla No. 6

Malla	Apertura en mm.	Peso retenido (gms.)	% re- tenido Parcial	% cumu- lativo que pa- sa.	Observaciones
8	2.362	0	0	100	
10	2.000	0	0	100	

(continúa)

Malla	Apertura en mm.	Peso re- tenido, (gms.)	% par- ciel re- tenido.	% acu- mulati- vo que pasa.	Observaciones
16	1.19	1	0.200	99.800	
20	0.840	1.7	0.340	99.460	
35	0.500	2.3	0.460	99.000	
40	0.425	1.2	0.240	98.76	
60	0.250	3.2	0.640	98.12	
100	0.149	4.8	0.960	97.16	
200	0.074	11.20	2.24	94.92	
SUMAS		25.40	5.00		
CHAROLA		474.50	94.90		
S U M A		499.90	99.90		

Vemos que en ambas muestras la gran mayoría de los granos son menores que la malla No. 200, por lo que se hace necesario determinar el diámetro de estos granos. Para ésto y valiéndonos de la Ley de Stokes que dice que para una temperatura T y una misma densidad de los sólidos en suspensión, la velocidad de caída de las -- partículas es proporcional al cuadrado de sus diáme-- tros; utilizaremos el método del hidrómetro que es el más usado para hacer la determinación indirecta de los



diámetros (d) y las fracciones (N) de partículas finas. Por medio de esta opereta es posible conocer la ley de variación del peso volumétrico de una suspensión a medida que transcurre el tiempo y determinar, aplicando la Ley de Stokes, los diámetros equivalentes de las partículas que al sedimentarse pesan a la altura del centro de flotación o de Carena del hidrómetro.

Durante los dos primeros minutos del ensayo, el hidrómetro debe permanecer sumergido dentro de la suspensión y en tal caso la fórmula para calcular los diámetros de las partículas es la siguiente:

$$d = \sqrt{\frac{18 u}{w (S_s - 1)}} \quad \sqrt{\frac{Z_r}{t}}$$

En las lecturas subsiguientes, para las cuales el hidrómetro se introduce cada vez, la fórmula es:

$$d = \sqrt{\frac{18 u}{w (S_s - 1)}} \quad \sqrt{\frac{Z_r - V_H}{2 A_j t}}$$

en donde:

- d, diámetro equivalente de la partícula,
- u, viscosidad del líquido
- w, peso volumétrico del agua,
- S<sub>s</sub>, densidad de los sólidos,
- Z<sub>r</sub>, altura de caída,
- A<sub>j</sub>, área de la sección horizontal de la prueba,
- t, tiempo
- V<sub>H</sub>, volumen hidrométrico.

Dado el peso volumétrico "γ" de la suspensión en un instante t, después de iniciada la sedimentación, se calcula la fracción N de los sólidos cuyos diámetros equivalentes son menores que el valor deducido por la Ley de Stokes con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{S_s}{S_s - 1} \quad \frac{V}{W} \quad (\gamma - \gamma_w) \quad \text{o sea:}$$

$$N = \frac{\text{Sólidos de diámetro menor que } d}{\text{Total de sólidos.}}$$

en la que S<sub>s</sub> es la densidad media de las partículas; V, el volumen total de la suspensión; W, el peso ini-

cial de los sólidos y  $\rho_w$  el peso volumétrico del agua.

Para poder aplicar la fórmula que da el valor de  $N$ , es necesario convertir previamente la escala del hidrómetro de gr/lt a pesos volumétricos. Esta operación es simultánea con la corrección que es indispensable efectuar a la escala del hidrómetro, como veremos en el primer paso de la calibración del hidrómetro.

Por otra parte, el diámetro correspondiente al valor  $N$  para el tiempo  $t$ , se estima considerando que la altura de caída de la partícula de mayor tamaño es igual a la distancia entre la superficie libre del líquido y el centro de volumen del bulbo.

Con este fin se miden previamente las distancias entre las diversas lecturas de la escala del hidrómetro al centro de volumen, las que deben corregirse por inmersión, ya que ésta eleva la superficie libre de la suspensión.

Procedimiento.-

#### 1.- Comprobación de la Escala del Hidrómetro.

La escala del hidrómetro puede desplazarse dentro del vástago y dar lecturas erróneas. Para verificarla, preparamos soluciones de sal químicamente pura, de concentraciones conocidas y observamos las lecturas del hidrómetro en cada una de las soluciones. Se comparan estas lecturas con las calculadas para cada caso.

##### Preparación de las Soluciones.

Pesamos en la balanza de 0.01 gms., las cantidades de 3.16 y 24 gramos de sal bien seca, vaciamos cada porción de sal en matraces calibrados de 500 cm<sup>3</sup> y llenamos éstos con agua destilada hasta su marca de afero, los pesamos y registramos las temperaturas medias de las soluciones.

Para obtener el volumen de la solución se utiliza la siguiente fórmula:

$$V \text{ sol.} = \frac{\text{Peso del agua que llena el matrás}}{\text{Peso volumétrico del agua a la temperatura de operación.}}$$

†En la Lámina N.º. 1 se muestran los valores de la densidad del agua a distintas temperaturas de 0° a 40°C.

a).- Solución de 3 gms. de sal.

Peso + tara = 640.5 gms.

Tara = 135.8 "

Peso neto = 504.7 "

Temperatura = 12.5°C

Peso del agua que lle-  
na el matraz, 500 gms.

Peso volumétrico

del agua a 12.5°C = 0.9995

V sol. =  $\frac{500}{0.9995} = 500.25$

El peso volumétrico de la solución resulta:

$$m = \frac{\text{Peso de la Solución}}{\text{Volumen de la Solución}}$$

$$m = \frac{504.7}{500.25} = 1.0089$$

b).- Solución de 16 gms. de sal.

Peso + Tara = 629.7 gms.

Tara = 119.0 gms.

Peso neto = 510.7 gms. Peso del agua 500 gms.

Temperatura = 13.5°C

Peso volumétrico

del agua a  
13.5°C = 0.9993

$$V \text{ sol.} = \frac{500}{0.9993} = 500.35$$

$$m = \frac{510.7}{500.35} = 1.0206$$

c) Solución de 24 gms. de sal.

Peso + tara = 642.5 gms.

Tara = 127.8 gms.

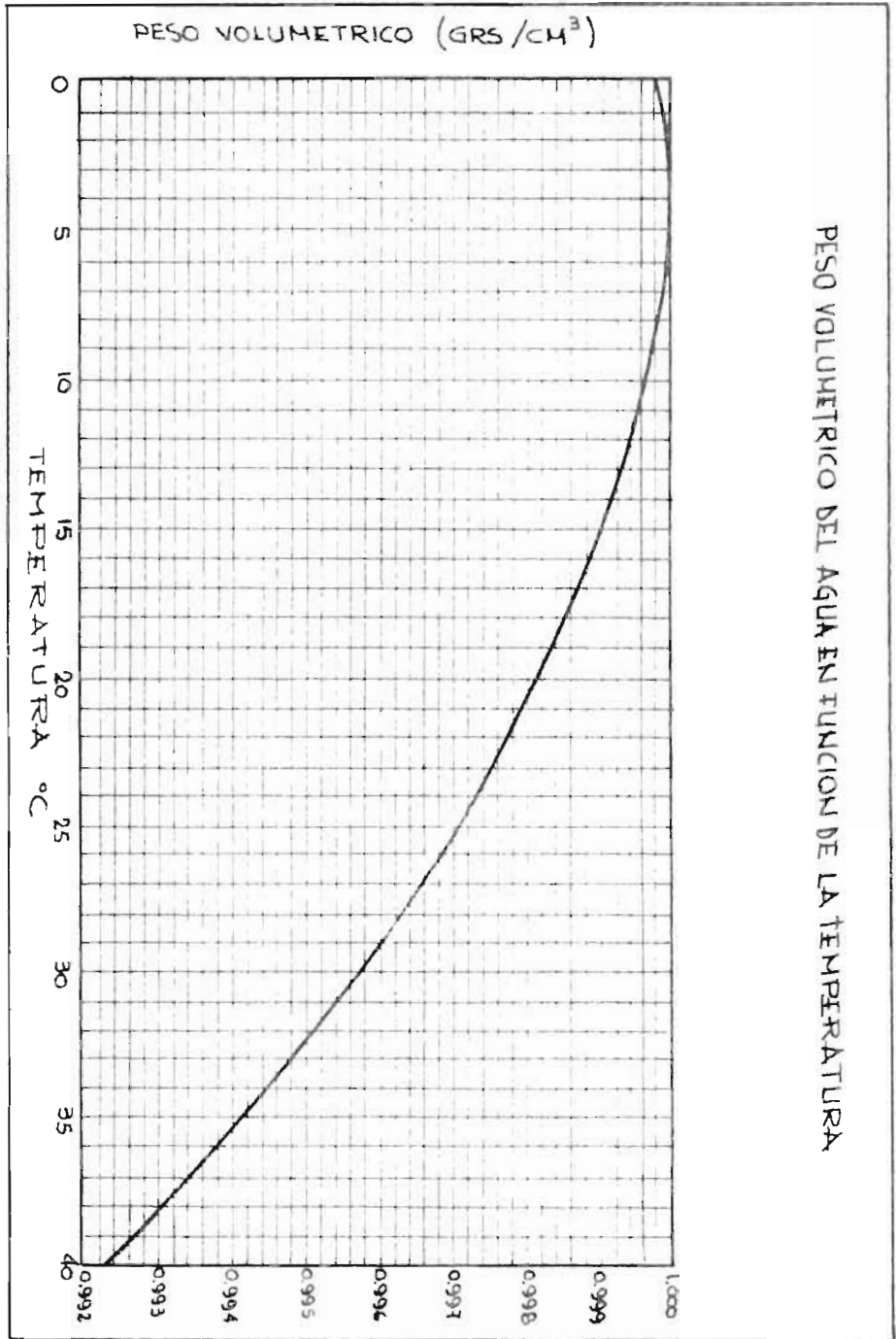
Peso neto = 514.7 gms.

Temperatura = 13.5°C

Peso vol. del

agua a 13.5°C = 0.9993

$$V \text{ sol.} = \frac{500}{0.9993} = 500.35$$



EUGENIO PEREZ HOLPHE N  
 TESIS PROFESIONAL

LAM. N° 1

$$m = \frac{514.7}{500.35} = 1.02867$$

Vertimos el contenido de los matraces en otras tantas probetas, introducimos el hidrómetro en la probeta de 500 c.c. que tiene una de las soluciones y hacemos la lectura abajo del menisco.

Repetimos la operación con las otras soluciones y para agua destilada sola.

Obtuvimos los siguientes resultados:

Para agua sola	1.5
Para la solución de 3 gms.	20.5
Para la solución de 16 gms.	33
Para la solución de 24 gms.	55

A estas lecturas tenemos que hacerles una corrección por temperatura. Para ésto usamos la expresión siguiente con la que se calculan las lecturas que el hidrómetro debería dar si su escala estuviera correcta.

$$W_s = \frac{1000 (m - 1) S_s}{S_s - 1}$$

donde:

$W_s$  = lectura en gr/lt que debería leerse en el hidrómetro,

$m$  = peso volumétrico de la solución,

$S_s$  = 2.65 (valor constante en todos los hidrómetros).

a) Primera solución 3 gms.

$$W_s = \frac{1000 (1.00833-1) 2.65}{2.65 - 1} = \frac{3.87 \times 2.65}{1.65} = 14.29$$

b) Segunda solución 16 gms.

$$W_s = \frac{1000 (1.02063-1) 2.65}{2.65 - 1} = \frac{20.65 \times 2.65}{1.65} = 33.21$$

c) Tercera solución 24 gms.

$$W_s = \frac{1000 (1.02367-1) 2.65}{2.65 - 1} = \frac{23.67 \times 2.65}{1.65} = 46.04$$

Resumimos todos estos resultados:

Tabla No. 7

Matraz No.	Tara	Gramos de sal	Peso sol + tara	Peso solución.	Volu- men Sol.	m	Lectura Hidróme- tro.	W <sub>s</sub>
		0					1.5	
1	135.3	0	640.5	504.7	500.25	1.00339	20.5	14.29
1	119.0	16	629.7	510.7	500.35	1.02563	33	33.21
1	127.0	24	642.5	514.7	500.35	1.02067	55	46.64

Con los valores de los pesos volumétricos de las soluciones y las lecturas correspondientes a la escala del hidrómetro, construimos el nomograma de conversión gr/lit a pesos volumétricos. (lámina II).

Ahora determinamos el volumen del bulbo del hidrómetro ( $V_H$ ) según el método siguiente:

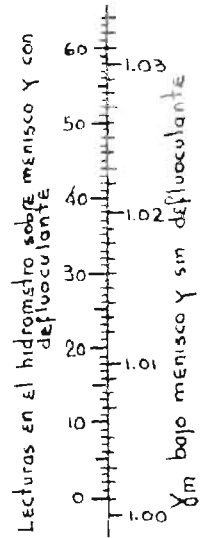
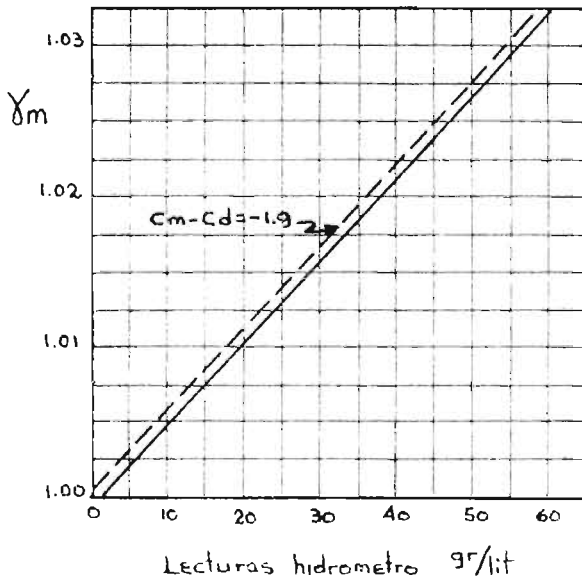
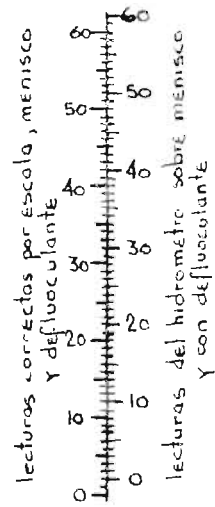
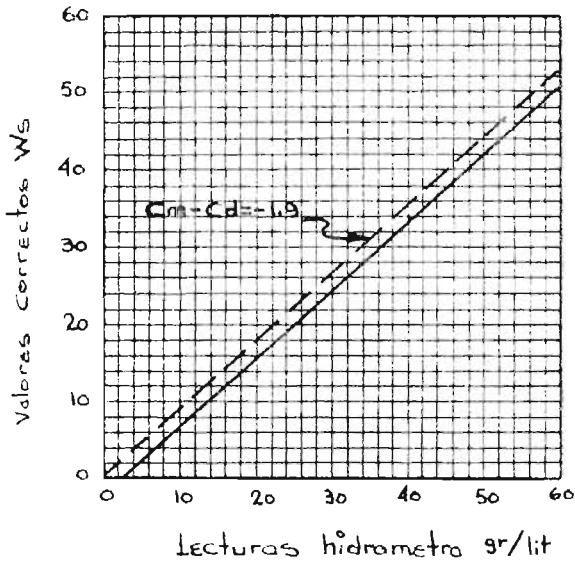
A) Llenamos una probeta de 500 cc. hasta la marca de 400  $cm^3$ . Sumergimos el hidrómetro y observamos el nuevo nivel de agua. El volumen desalojado es el volumen del bulbo.

Volumen del bulbo = 70 cc.

B) Pesamos el hidrómetro con aproximación de 0.01 gms. El peso volumétrico aproximado del hidrómetro es igual a  $\frac{gr}{cm^3}$ ; el peso en gramos puede considerarse como el volumen en  $cm^3$ . Este volumen incluye el vástago del hidrómetro, pero es pequeño el error, por lo que puede depreciarse.

Peso del hidrómetro = 60.2 gms.

## CALIBRACION DEL HIDROMETRO



En la probeta de 500 cm<sup>3</sup> vertimos 420 cm<sup>3</sup> de agua y sumergimos el hidrómetro lentamente hasta desalojar un volumen igual a la mitad del volumen del hidrómetro obtenido en 97. En estas condiciones la superficie del agua señala la altura a que se encuentra el centro del volumen del bulbo.

Se hace la lectura ( $R_G$ ) que, en la escala del hidrómetro coincide con el borde superior de la probeta con una aproximación de 0.1 gr/lt, y se mide la distancia ( $H_G$ ) desde el citado borde a la superficie libre del líquido. El valor de  $H_G$  es la distancia del centro de volumen del hidrómetro a la lectura ( $R_G$ ).

$R_G$  lectura que en la escala del hidrómetro coincide con el borde de la probeta = 41

$H_G$  distancia del centro de volumen al borde de la probeta = 11.3 cms.

Para referir las distancias  $H_i$  de cada lectura  $R_i$  del vástago al centro de volumen, se mide en el vástago la distancia entre  $R_i$  y  $R_G$  tomada como referencia, según sea la lectura  $R_i$  mayor o menor que  $R_G$ , se suma o resta del valor  $H_G$  medido anteriormente.

Distancia entre  $R_i$  y  $R_G$  = 6.9 cms.

Se determina el área  $A_j$  de la probeta de 1000 cm<sup>3</sup> midiendo la distancia entre las graduaciones de 1000 y 500 cc. con un compás de puntas. El área  $A_j$  es el cociente que resulta de dividir el volumen incluido entre la distancia medida.

Distancia entre 500 y 1000 = 17.4 cm.  
Volumen = 500 cm<sup>3</sup>.

$$A_j = \frac{500}{17.4} = 28.16 \text{ cm}^2$$

A los valores  $h_i$  hay que hacerles la corrección debida al desalojamiento del agua, producido por la inmersión del hidrómetro. La zona de la suspensión situada al nivel del centro de volumen y que determina la lectura del hidrómetro, se encontraba más próxima a la superficie antes de sumergir el hidró-



metro que cuando éste se sumergió.

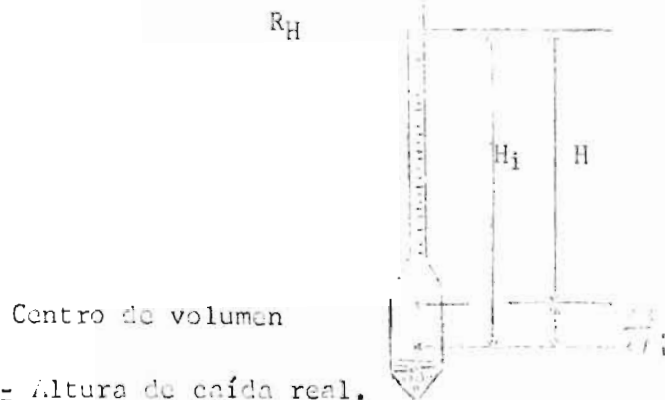
La distancia correcta para una lectura  $R_i$  en la escala del hidrómetro será:

$$H_i = \frac{V_H}{2 A_j}$$

$H_i$  es la distancia al centro de volumen correspondiente a la lectura  $R_i$ .

$V_H$  es el volumen del hidrómetro.

$A_j$  es el área de la sección horizontal hueca de la probeta.



Centro de volumen

$H$  = Altura de caída real.

$H_i$  = distancia de una lectura  $R_H$  al centro de volumen del hidrómetro.

Tabla No. 3

$R_H$	h	H
0	13.15 cm.	16.91
10	16.5	15.26
20	14.35	13.60
30	13.2	11.96
40	11.55	10.21

(continúa)

$R_H$	$h$	$H$
5.	0.9	3.65
6.	3.25	7.01

$h$  = Distancias del centro de volumen del hidrómetro a cada una de las marcas,

$$\frac{V_H}{2V_j} = \frac{75}{56.32} = 1.24$$

Corrección por Menisco.-

Los hidrómetros están calibrados para hacer la lectura al nivel libre del líquido. Al formarse el menisco alrededor del vástago la lectura correcta no puede hacerse, ya que las suspensiones de suelo no son transparentes, por lo que es necesario leer donde termina el menisco y corregir la lectura sumando la altura de él.

La corrección se determina sumergiendo el hidrómetro en agua destilada y haciendo dos lecturas en la escala, una en la parte superior del menisco y otra siguiendo la superficie horizontal del agua. La diferencia entre las dos lecturas da la corrección ( $C_m$ ) que debe sumarse a las lecturas hechas al estar operando.

Tabla No. 9

Corrección por Menisco	$C_m$ (+)
Lectura abajo	= 2
Lectura arriba	= 3.9
$C_m$	= 1.1

### Corrección por defluoculante.-

Al agregar un agente dispersante de la suspensión se aumenta la densidad de ésta, por lo cual hay que hacer una nueva corrección (Cd) que depende de la cantidad de defluoculante.

Para determinar el valor de (Cd) sumergimos el hidrómetro en agua destilada e hicimos la lectura en la escala. Después, añadimos la cantidad de defluoculante que se usaría en la prueba y sumergimos el hidrómetro de nuevo; hicimos la nueva lectura. La diferencia entre ambas lecturas es (Cd).

Tabla No. 10

Corrección por Defluoculante		Cd (-)
Lectura de agua+Defluoculante	=	5
Lectura agua	=	2
Cd	=	3
Defluoculante utilizado =Silicato de sodio		

$$C_m - C_d = 1.1 - 3 = -1.9$$

Con los datos de las tablas 7,8,9 y 10 se procedió a construir las siguientes gráficas, que nos servirán para efectuar el cálculo de la granulometría por el método del hidrómetro.

1).- Con los valores de la Tabla No. 7 se construyó una gráfica que tiene por abscisas las lecturas tomadas directamente del hidrómetro y por ordenadas las lecturas que debería dar la escala del hidrómetro (Lámina 2).

Se fijó la ordenada correspondiente a la suma algebraica de  $C_m$  y  $C_d$  y se trazó a partir de este punto

una paralela a la gráfica anterior.

Con estos datos se construyó el nomograma adyacente a esta gráfica en uno de cuyos lados aparecen las lecturas del hidrómetro tomadas sobre el menisco con defluoculante.

Para pasar de gr/lt a pesos volumétricos, construimos una gráfica, colocando en el eje de las ordenadas los valores de  $\rho_m$  y en el de las abscisas las lecturas del hidrómetro (Lámina No. 2, parte inferior). Fijada la abscisa correspondiente a la suma algebraica de  $C_d$  y  $C_m$ , se trazó, a partir de este punto, una paralela a la gráfica anterior, obteniendo así la corrección por menisco y defluoculante y se construyó a su vez un nomograma.

2).- Con los valores obtenidos en la Tabla No. 3 construimos una gráfica (Lámina No. 3) teniendo por abscisas las lecturas ( $R_H$ ) del hidrómetro y por ordenadas las alturas de caída ( $H$ ) corregidas. Se corrigió por menisco ( $C_m$ ) y trazamos su nomograma.

Para poder determinar el diámetro de las partículas pequeñas necesitamos saber la densidad de la muestra, por lo que procedimos a encontrarla.

#### Determinación de la Densidad.

##### Generalidades.-

Se define como densidad relativa de un suelo, la relación entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que desalojan.

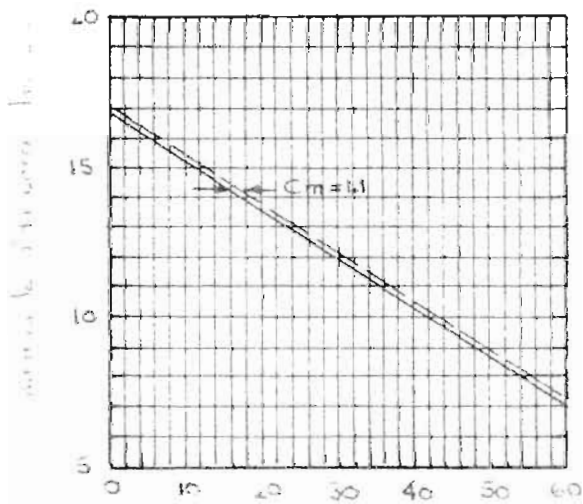
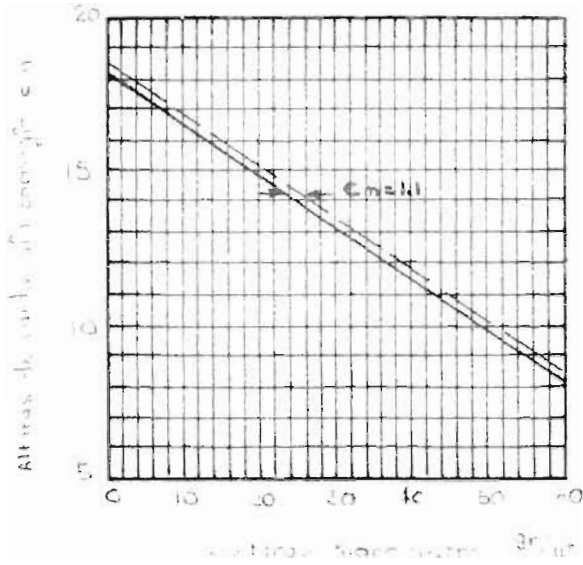
##### a).- Calibración del matraz.

El peso del agua que un matraz puede contener varía con la temperatura. Esto se debe a que los cambios de temperatura provocan variaciones en el volumen del recipiente y por otra parte se modifica la densidad del agua.

##### Procedimiento.

1.- Limpiamos el matraz con amoníaco puro disolver las grasas.

# ALTURAS DE CAIDA - LECTURAS DEL HIDROMETRO



Enjuagamos el matraz varias veces y lo dejamos escurrir. Lo lavamos con alcohol y lo dejamos escurrir nuevamente. Por último lo lavamos con éter; los vapores del éter los eliminamos colocando el matraz con la boca hacia abajo por 15 minutos.

2.- Llenamos el matraz con agua destilada hasta la marca de aforo y lo ponemos a hervir por 15 minutos en baño maría.

3.- Retiremos el matraz del baño maría y tomamos su temperatura a 0.1°C introduciendo el termómetro hasta el centro del matraz.

4.- Con ayuda de una pipeta hacemos coincidir perfectamente la parte inferior del menisco con la marca de aforo y limpiemos exteriormente el matraz. Lo pesamos a 0.1 gms. en la balanza de torsión.

5.- Dejamos enfriar el matraz hasta que la temperatura baje unos 5°C; se afora, se toma la temperatura al 0.1° y se vuelve a pasar. Repetimos la operación 8 veces y hacemos la tabla No. 11.

Tabla No. 11  
Calibración del Matraz

Matraz No. 3		
Prueba	Temperatura	Peso
1	41.6	626.1
2	36.4	627.4
3	33	628.2
4	30.9	628.8
5	29.0	629.3
6	27.1	629.7

(continúa)

Matraz No. 3		
Prueba	Temperatura	Peso
7	23.0	630.7
8	20.0	631.4
Peso Matraz Saco		133.5

#### Procedimiento Densidad

1.- De la muestra preparada que ha pasado la malla No. 4 tomamos 200 gramos procurando que la muestra sea representativa y lo colocamos en una cápsula de porcelana. Trituramos el material en un mortero hasta que pueda pasar íntegramente por la malla No. 40 y lo dejamos secar a temperatura constante de 110°C durante 24 horas. Retiremos la cápsula del horno y la dejamos enfriar en un desecador para que no absorba líquido y pesamos 60 gramos.

2.- Pesamos un matraz limpio de 500 cm<sup>3</sup> conteniendo alrededor de 100 cc. de agua destilada. El peso obtenido a 0.1 gms. lo anotamos en el renglón W<sub>M</sub> de la tabla 12 y 13.

3.- El material seco se vacía en el matraz con agua mediante un embudo de vidrio (60 gms. aproximadamente). Anotamos el peso en el renglón W<sub>ms</sub> de nuestro registro.

Después de haber pesado, desprendimos todo el material adherido al cuello del matraz mediante una pipeta con agua destilada.

4.- Pusimos el matraz en baño maría a fin de expulsar el aire contenido en el material, durante 30 minutos. El líquido que transmitió el calor fue glicerina.

5.- Secamos el matraz del baño maría y lo lavamos exteriormente para eliminar la glicerina o grasas y lo dejamos enfriar. Una vez frío, agregamos agua destilada hasta que llegare cerca de la marca de aforo; esperamos a que la temperatura fuera uniforme y medimos a 0.1° introduciendo el termómetro hasta la mitad de la suspensión y la temperatura obtenida la anotamos en el renglón "Temperatura".

6.- Una vez tomada la temperatura, con ayuda de una pipeta, agregamos agua destilada hasta que la parte inferior del menisco coincidiera con la marca de aforo del matraz.

7.- Eliminamos el agua que quedó adherida al cuello del matraz con un rollo de papel absorbente.

8.- Después de aforado y seco el matraz, se pesó al 0.1 gms. anotando el peso en el renglón " $W_{mws}$ " de nuestro registro, realizando las operaciones 6 y 7 rápidamente para que no hubiera cambios de temperatura.

9.- El peso de los sólidos  $W_s$ , es la diferencia entre los valores anotados en los renglones  $W_{ms}$  y  $W_m$ .

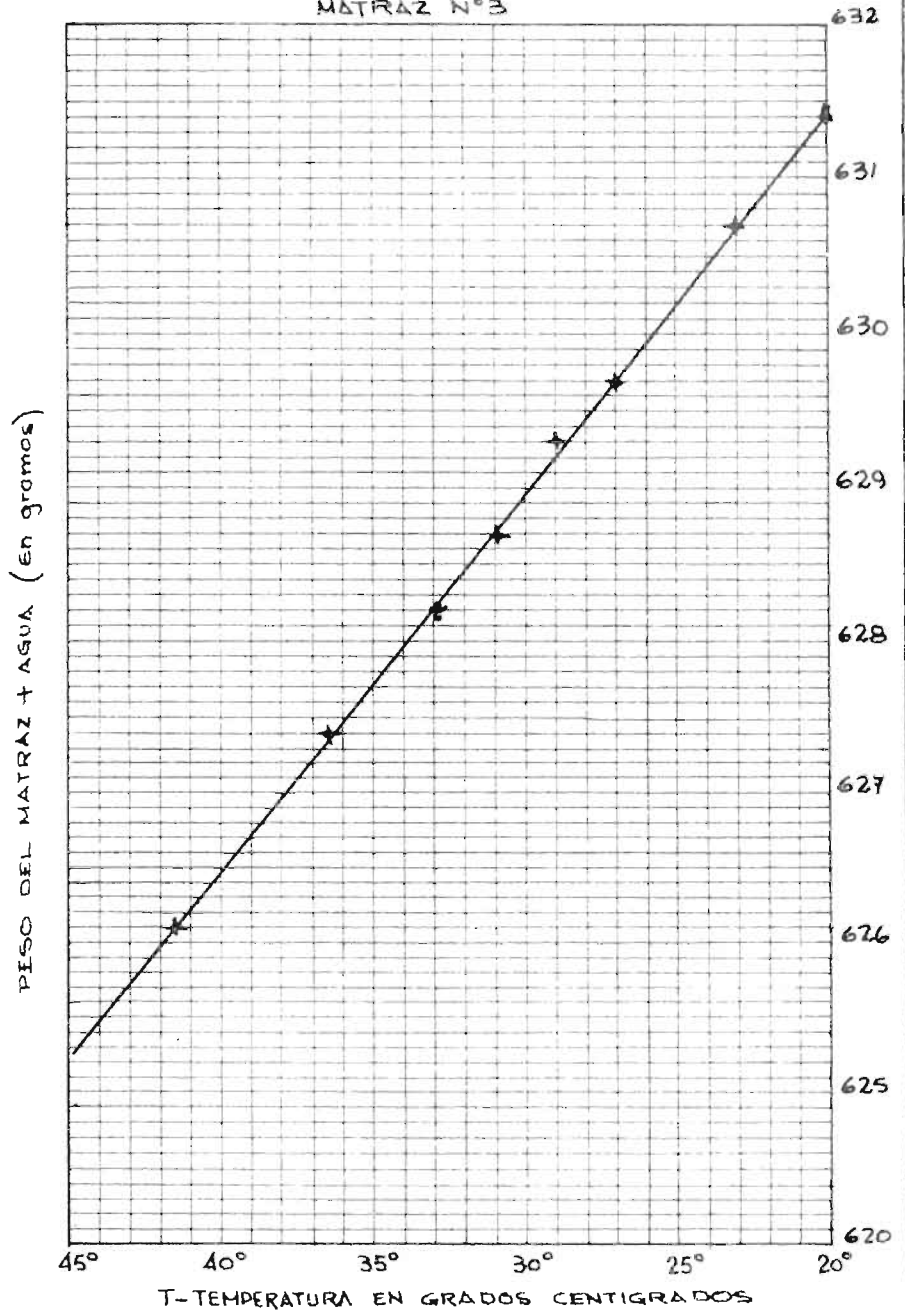
10.- De la curva de calibración del matraz (Lam. 4) se obtiene el peso del mismo con agua destilada hasta la marca de aforo a la temperatura del ensayo ( $W_{mw}$ ).

La expresión  $W_s + W_{mw} - W_{mws}$  representa el peso del volumen de agua desalojado por los sólidos a la temperatura de la prueba, por lo que la densidad será:

$$S_s = \frac{W_s}{W_s + W_{mw} - W_{mws}} =$$



CURVA DE CALIBRACION DEL MATRAZ  
MATRAZ N°3



EUGENIO PEREZ MOLPHE N  
TESIS PROFESIONAL

LAM N° 4

Tabla No. 12

DENSIDAD MUESTRA NO. 1.

Prueba No.	1	2
Matraz No.	3	4
$W_{mws}$ gms.	665.3	673.4
Temperatura	34.4°C	34.2°C
$W_{mw}$	627.85	635.9
$W_{ms}$	293.5	301.3
$W_m$	233.5	241.4
$W_s = W_{ms} - W_m$	60 gms.	59.9 gms.
$W_s + W_{mw} - W_{mws}$	22.55	22.50
$S_s$	2.66	2.66

$W_m$  = Peso del matraz antes de agregar los sólidos.

$W_{ms}$  = Peso del matraz después de agregar los sólidos.

$W_{mws}$  = Peso del matraz + agua + muestra a +°.

$W_{mw}$  = Peso del matraz + agua a +° (de la curva de calibración).

$W_s$  = Peso del suelo seco.

$S_s$  = Densidad =  $\frac{W_s}{W_s + W_{mw} - W_{mws}}$

$W_s = W_{ms} - W_m = 60$  gramos.

$W_s + W_{mw} = 60 + 627.85 = 687.85$

$$W_s + W_{mw} - W_{mws} = 687.85 - 665.30 = 22.55$$

$$S_s = \text{Densidad} = \frac{60 \text{ gms.}}{22.55} = 2.66$$

Para la Muestra No. 2, repetimos el procedimiento.

DENSIDAD MUESTRA NO. 2  
Tabla No. 13.

Prueba No.	1	2
Matraz No.	3	4
$W_{mws}$ gramos.	665	673
Temperatura	33.7°	33°
$W_{mw}$	628.1	636.0
$W_{ms}$	293.5	301.4
$W_m$	233.5	241.4
$W_s - W_{ms} - W_{mws}$	60.0	60.0
$W_s + W_{mw} - W_{mws}$	23.1	23.0
$S_s$	2.597	2.59

$$W_s = W_{ms} - W_m = 293.5 - 233.5 = 60$$

$$W_s + W_{mw} = 60 + 628.1 = 688.1$$

$$W_s + W_{mw} - W_{mws} = 688.1 - 665 = 23.1$$

$$S_s = \frac{60}{23.1} = 2.597$$

## Prueba del Hidrómetro.

### Procedimiento.

1o.- Del material pasado por la malla No. 200, pesamos 50 gramos secos y los colocamos en un vaso de precipitados agregando 20 cc. de silicato de Sodio al 3% y el agua necesaria para hacer que el material quedara sumergido y lo dejamos reposar 24 horas.

2o.- El contenido del vaso lo colocamos en una agitadora eléctrica durante 15 minutos.

3o.- Vertimos la suspensión en una probeta y añadimos agua a la marca de aforo 1000 cm<sup>3</sup>.

4o.- Agitamos la probeta en posición horizontal durante 1 minuto, tapando con la palma de la mano la boca de la misma.

5o.- Pusimos la probeta sobre la mesa y con el cronómetro en marcha sumergimos el hidrómetro hasta que comenzó a flotar, lo dejamos dentro de la suspensión los dos primeros minutos, tomando lecturas a los 20, 40, 80 y 120 segundos. Anotamos las lecturas en las Tablas 14 y 15 para la muestra 1 y 2 respectivamente.

6o.- Retiramos el hidrómetro y lo sumergimos en una probeta con agua limpia, tomamos la temperatura de la suspensión.

7o.- Hacemos otras lecturas a los 5, 10, 20, 25 y 30 minutos, a 1, 1.5, 2, 3, 24 y 48 horas. El hidrómetro lo introducimos en la suspensión aproximadamente 20 segundos antes de hacer la lectura.

8o.- Para calcular el porcentaje y tamaño de las partículas, calculamos el peso de los sólidos en suspensión de acuerdo con la clave del nomograma de la Lámina 5, los valores obtenidos en el eje 5 de dicho nomograma los anotamos en la columna  $R + \frac{ES}{S_S - 1}$  del registro.

9o.- Con estos valores, calculamos los porcentajes acumulativos que pasan la malla 200 empleando la siguiente fórmula:

$$W_4 = 2 \left( R + \frac{MSs}{Ss-1} \right)$$

10.- Para obtener los porcentajes acumulativos pasa 4, se multiplica el porcentaje acumulativo pasa 200 del paso 9 por el porcentaje acumulativo pasa 4 de la malla 200 del análisis mecánico.

11o.- Para obtener los porcentajes acumulativos totales, multiplicamos el porcentaje acumulativo pasa 200 del paso 9, por el porcentaje acumulativo total de la malla 200 del análisis mecánico.

12o.- El diámetro de las partículas correspondientes a cada porcentaje se estima por medio del nomograma de la Ley de Stokes hecho por A. Casagrande, de la Lámina No. 6, en el que se entra con la densidad del suelo, la temperatura, las lecturas del hidrómetro y los tiempos siguiendo la clave.

13o.- Con los valores obtenidos de las tablas construimos las gráficas.

Procedemos igual para las muestras 1 y 2.

Tabla No. 14  
Muestra No. 1.

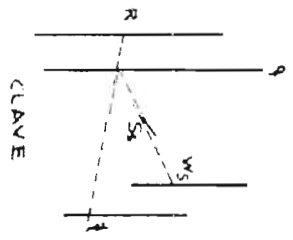
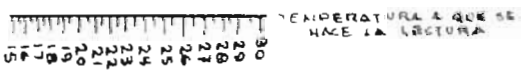
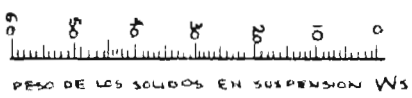
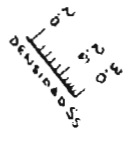
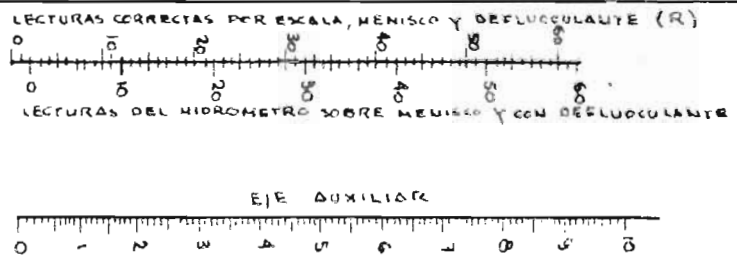
Hora	Tiempo	Lectura: Hidrómetro	Tempe- ratura	R+MS: Ss-1	% acumulado			Diámetro mm.
					Pasa 200	Retena 4	Total	
10:25	20 seg	38	17.2°	39	73	57.93	57.93	0.045
	1 min	37		37	74	54.96	54.96	0.035
	2.5 min	34		34	68	50.51	50.51	0.025
10:35	10 min	25		25.5	51	37.83	37.83	0.014
10.45	20 min	19.5	17.2°	20	40	29.71	29.71	0.0108
10.55	30 min	17.0		18	36	26.74	26.74	0.0104
11.25	1 hora	12.5	17.2°	13	26	19.31	19.31	0.0095
12.25	2 hora	8.5		9		13.37	13.37	0.0085
10.25	24 hora	4	17.2°	5	10	7.42	7.42	0.004

Tabla No. 15

Muestra No. 2 .

Hora	Tiempo	Lectura : Hidróme : tro.	Tempera- : tura.	: R+MSs : Ss-1	W% Acumulativo			Diámetro mm.
					: Pasa : 200	: Pasa : 4	: Total	
9:25	20 seg	40.5	17°C	43	36	81.63	81.63	0.04
	1 min	39.5		41	32	77.83	77.83	0.029
	2.5min	37.5		40	30	75.93	75.93	0.021
9:35	10 min	32.5	17°C	34	68	64.54	64.54	0.0108
9:45	20 min	30.5		32	64	60.74	60.74	0.0103
9:55	30 min	27.5		29.5	59	56.00	56.00	0.010
10:25	1 hora	24.0		25.5	51	48.40	48.40	0.008
	2 horas	20.0		21.5	43	40.31	40.81	0.0065
	24 hora	10.5	17°C	12.0	24.0	22.78	22.78	0.0035

NOIDROGRAMA PARA OBTENER EL PESO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN PARA EL ANÁLISIS HIDROMÉTRICO



FORMULA EMPLEADA

$$W_s = \left[ \frac{R - Y_1 \cdot (t - t_0)}{S_1 - 1} \right] \cdot S_1$$

- W<sub>s</sub> = PESO DE LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN
- R = LECTURA DEL HIDROMETRO CORREGIDO
- S = DENSIDAD DE LA MUESTRA DEL FUELO
- t = TEMPERATURA A LA QUE SE HACE LA LECTURA
- t<sub>0</sub> = TEMPERATURA DE CALIBRACION
- Y<sub>1</sub> = DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA t<sub>0</sub>
- Y<sub>2</sub> = DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMPERATURA t

TOMADO DEL INSTRUCTIVO DE LA S.R.M.

EUGENIO PEREZ HOPPE N  
TÉCNICO PROFESIONAL

LAM N° 5



$\mu$  = Viscosidad del liquido en  $\text{grms/cm}^2$

$S$  = Densidad de solidos  $S_s$

$S_L$  = Densidad especifica del liquido

$V$  = velocidad en  $\text{cm/seg}$

$D$  = Diametro del grano en  $\text{mm}$

$T$  = promedio de la temperatura desde que empieza la prueba hasta que se hace cada lectura del hidrometro

$H$  = altura de cada en  $\text{cm}$

$t$  = tiempo en segundos

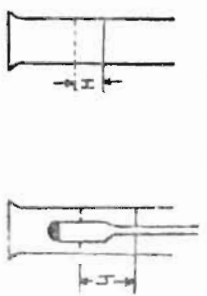
LEY DE STOKES

$$D = \sqrt{\frac{Bv}{S}}$$

$$B = \frac{1800 \mu A}{S - S_L}$$

$$v = \frac{H}{t}$$

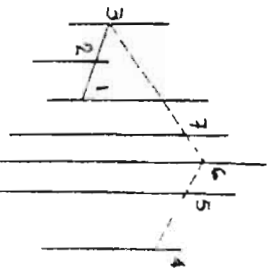
EFFECTO DE LA INMERSION DEL HIDROMETRO



Cuando se introduce el hidrometro en cada lectura la altura de caída  $H$  que corresponde a la lectura  $R_H$  del hidrometro se determina con la formula:

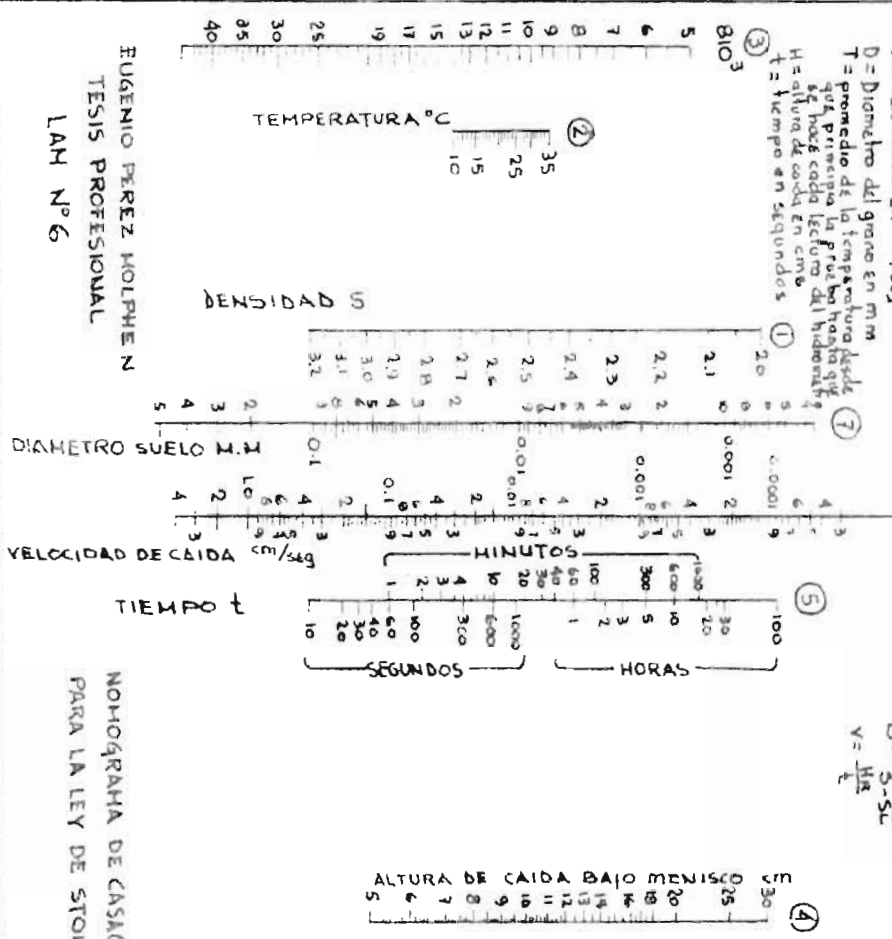
$$H = h - \frac{1}{2} \frac{\text{Volumen del bulbo}}{\text{Area de la Probeta}}$$

h debe determinarse para diferentes valores de  $R_H$  (ver lamina 3)

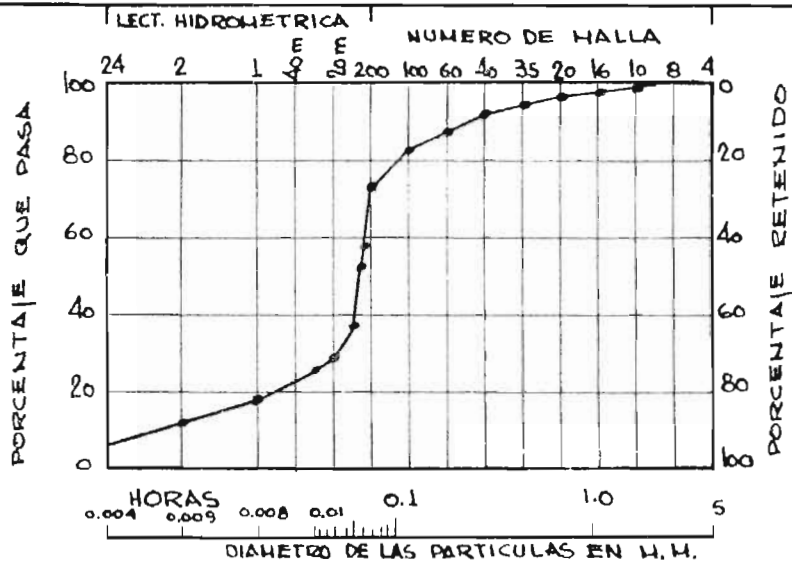


CLAVE

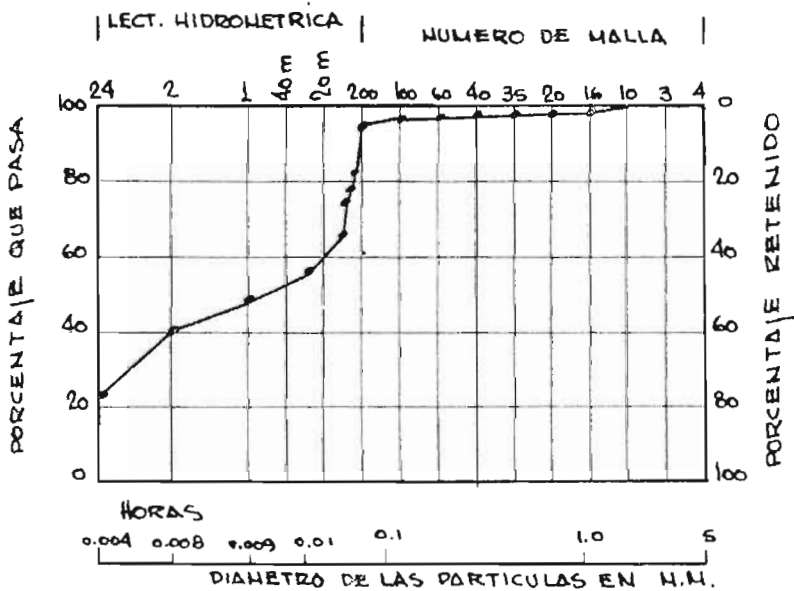
NOMOGRAFIA DE CASAGRANDE PARA LA LEY DE STOKES



EUGENIO PEREZ HOLPHEN  
TESIS PROFESIONAL  
LAN N° 6



MUESTRA N° 1



MUESTRA N° 2

## CAPITULO II.

### Prueba de Compactación Proctor.-

#### Generalidades.-

Se entiende por compactación, todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material granular.

Es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más permeable.

El acomodo de un suelo que se trate de mejorar, no sólo depende de las características del dispositivo que se ha de usar para compactarlo, sino fundamentalmente de la humedad que tenía el material. Si las partículas están secas, la fricción intergranular opone una resistencia mayor al desplazamiento relativo de ellas, que si se encuentran lubricadas por una película de agua; por el contrario si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso.

#### Procedimiento.-

1o.- De la muestra ya preparada y que ha pasado la malla No. 4, tomamos aproximadamente 2 ½ Kgs., los pusimos en una charola y las dejamos secar al aire.

2o.- Desmoronamos terrones con el pisón de madera.

3o.- Esparcimos agua en la cantidad tal que la humedad resulte un poco menor que el 10%.

4o.- Revolvimos perfectamente el material tratando que el agua agregada se distribuyera uniformemente.

5o.- Usando el cucharón, vaciamos en el cilindro proctor previamente armado con su extensión, el material suficiente para obtener una capa de unos 3 cms. de espesor.

6o.- Compactamos esta capa mediante 20 golpes de pisón procurando repartirlos en toda su superficie y

usando la guía metálica para que la altura de la caída fuera siempre la misma.

Para dar los golpes del pisón, lo levantamos hasta el nivel superior de la guía y lo dejamos caer libremente.

7o.- Volvimos a vaciar material en el cilindro para obtener una segunda capa que agregada a la primera nos dió una capa de 12 cms. de espesor aproximadamente y la compactamos del mismo modo que la primera.

8o.- Procedimos de la misma forma con una tercera capa de manera que nos pasara en unos 2 cm. la altura de la cápsula.

9o.- Al terminar la compactación de las capas con una espátula de cuchillo recorrimos el perímetro interior de la extensión para despegar el material y quitamos la extensión, quedando la muestra al ras del nivel superior del cilindro y rebajando el material sobrante con una espátula de cuchillo.

10o.- Limpiamos exteriormente el cilindro y pesamos la muestra compactada en el platillo de la báscula, aproximamos hasta 5 gms.; el peso obtenido lo anotamos en el registro de cálculo en la columna "Peso Cilindro+Tierra" (Tabla No. 16).

11o.- En una cápsula de porcelana o vidrio refractario previamente numerado y tarado, pusimos una porción de 100 gms. a 0.1 de gramo anotando este valor en la columna "Tara+Muestra húmeda".

12o.- Desarmamos el cilindro proctor, con objeto de vaciar fácilmente el material, devolviéndolo a la charola.

13o.- Desmenuzamos el material con una espátula y le agregamos agua en cantidad suficiente para aumentar el contenido de humedad de un 2% a un 5% aproximadamente y repetimos los pasos del 4 al 12 inclusive. Efectuamos 4 a 5 veces esta operación.

14o.- Todas las cápsulas que contienen muestra húmeda de cada ensayo, las colocamos dentro de un horno a 110°C durante 24 horas, transcurrido el lapso, las dejamos enfriar y pesamos registrando el valor en la columna "Tara+Muestra Seca".

15o.- Construimos la gráfica "Pesos volumétricos Secos-Contenido de agua" (Lámina No. 8).



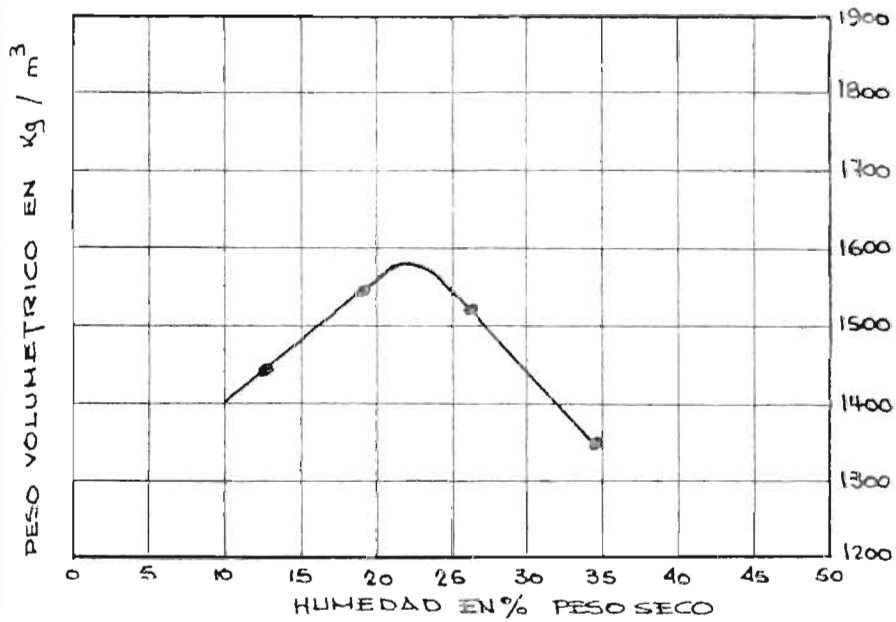
Table No. 17

Muestra No. 2.

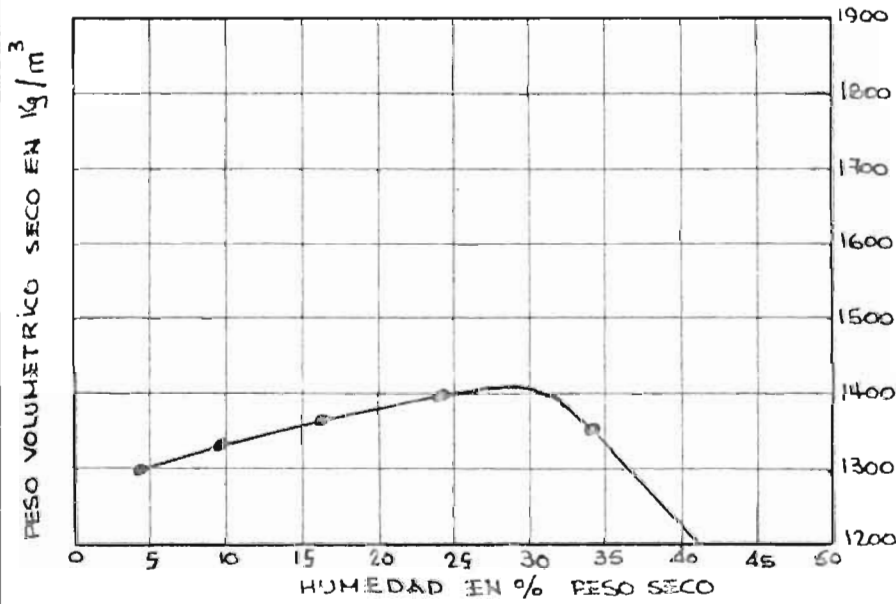
Peso cilindro + Tierra húmeda	Tierra húmeda	Muestra para obtención del contenido de agua.	Tara +		W	W <sub>s</sub>	Cont. agua %	$\frac{W_s - W_{s1}}{W_s}$	$s = \frac{W_{s1}}{V}$	Peso vol. Seco T/m <sup>3</sup>
$W_T + W_H$	$W_H$	Tara	Peso Tara	Muestr. húmeda	Peso Muestr. Seca	Peso H <sub>2</sub> O	Peso Seco	$\frac{W}{100}$	Tierra Seca com. pactada	
4.399	1.334	1	36.5	170 gr	165.9	4.1	99.4	4.124	1.281	1.300
5.000	1.435	2	59.0	170	160.5	9.5	101.5	9.359	1.312	1.331
5.120	1.555	3	71.0	170	156.3	13.7	105.3	16.061	1.339	1.359
5.274	1.709	4	39.0	170	144.7	25.3	105.7	24.003	1.379	1.400
5.367	1.802	5	26.5	170	133.0	37.0	106.5	34.741	1.337	1.357
5.240	1.675	6	41.3	170	130.4	39.6	89.1	44.444	1.158	1.175

PRUEBA PROCTOR

HUESTRA N° 1



HUESTRA N° 2





## Contenido de Materia Orgánica.

Tomamos una parte de nuestra muestra e intentamos primero los métodos de calcinación, para lo cual secamos a 110°C durante 48 horas la muestra, para asegurar nos de eliminar toda la humedad, al final registramos los pesos y secamos otras 24 horas hasta obtener pesos constantes.

Una vez obtenido el peso constante, molimos la muestra en un mortero hasta que pasara la malla No. 40 y en una charola amplia colocamos 400 gramos bien repartidos, hasta tener una capa uniforme. De cada muestra se sacaron dos charolas, una se puso en el horno a 250°C durante 48 horas y la otra a 400°C. Una vez hechos todos los cálculos en la primera calcinación, se obtuvieron 4.7% y 5.1% respectivamente para las muestras y en la segunda 10.6% y 6.4%, resultados que desde cualquier punto de vista nos hacían suponer que era casi seguro que parte de materia no orgánica se estuviera perdiendo, por lo que tuvimos que valer nos de un método más exacto para determinar el contenido de materia orgánica y escogimos el método de Walkley Black, o sea un método que utiliza el ácido crómico basado en la generación espontánea de calor por la disolución del ácido sulfúrico. Envuelve esencialmente el mismo procedimiento que el de Shollenberger, excepto que el calor producido es menor que el suministrado exteriormente. Por esta razón, algo menos que el total de la materia orgánica es oxidado, lo cual es tenido por algunos como ventaja, ya que la materia orgánica menos activa no es medida.

### Exclusión del Carbón Elemental.-

La menor cantidad de calor producido por el humus del suelo diferenciada de otras fuentes extrañas de carbón tales como el grafito y la hulla. Mientras el método de la combustión seca incluye todo el carbón elemental, el método de Walkley Black excluye 90 a 95% de éste.

### Aparatos.-

Los aparatos que se necesitan incluyen un frasco cónico de 500cc., pipetas de 10 y 20 cc. ajustadas a

cero, una bureta para la solución ferrosa y una balanza analítica. Una vasija para prevenir la oxidación del ión ferroso y que puede ser arreglada para mantener hidrógeno o  $\text{CO}_2$  sobre la solución. Por conveniencia, la solución de Cromato es empleada como standard de referencia y la concentración ferrosa es determinada sólo en relación al Ácido Crómico.

#### Reactivos.-

Los reactivos requeridos incluyen  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (ácido fosfórico) al 85%, NaF (Fluoruro de Sodio) sólido,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Ácido Sulfúrico) concentrado a no menos de 96% y los siguientes reactivos especiales: Standard  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , exactamente 49.04 gramos de Cromato de Potasio es disuelta en agua y la solución diluida en un litro.

#### Indicador de Difenilamina.-

Aproximadamente 0.5 gramos de difenilamina es disuelta en 20 cc. de agua y 100 cc. de Ácido Sulfúrico concentrado.

#### Solución Ferrosa.-

La concentración ferrosa pueda estandarizarse y preservarse o hacerse aproximada y el cromato usado tomado como referencia.

Una solución 0.5 Normal de ferrosa es preparada por disolución de 196.1 gramos de alumbre ferroso --  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en 800 cc. de agua conteniendo 20 cc. de ácido sulfúrico concentrado y diluida en un litro. Walkley empleaba 278 gramos de sulfato ferroso  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  por litro con 15 cc. de solución normal de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

#### Procedimiento.-

Un tratamiento preliminar para eliminar el bióxido de manganeso  $\text{MnO}_2$  es a veces necesario.

#### Oxidación de la Materia Orgánica.-

E l medio gramo de muestra de suelo (0.5 gramos p

ra peat y 2 gramos para suelos con menos de 1% de materia orgánica) que ha pasado por la malla número 80 (no de fierro) es colocada en el matraz cónico. Se agrega enseguida 10 cc. exactos de la solución normal de Bicromato de Potasio. La solución es vaciada con la pipeta sobre la tierra y los dos son mezclados por movimientos del frasco. Luego se agregan 20 cc. de Acido Sulfúrico y se mezcla durante 1 minuto por rotación del frasco hasta asegurarnos de un completo contacto del ácido con el suelo, teniendo cuidado de evitar salpicaduras a los lados del frasco. Se deja asentarse de 20 a 30 minutos. Un testigo standard (sin suelo) se corre al mismo tiempo.

#### Titulación.-

La solución es diluída a 200 cc. con agua y se le agregan 10 cc. de la solución de ácido fosfórico, 0.2 gramos de fluoruro de Sodio y 30 gotas de indicador de difenilamina. La solución se titula con la solución de sulfato de fierro y amonio de la burata. El color, un verde profundo con el ión cromoso al principio, se torna azul turbio a medida que se agrega la solución. El punto final es cuando el color se vuelve verde brillante, dándose el punto final con una sola gota. Si se consumen de 8 a 10 cc. de Acido Crómico, se repite la determinación con una muestra más pequeña.

#### Cálculo de los Resultados.-

Los resultados son calculados con la ecuación:

$$\% MO = 10 \left( 1 - \frac{T}{S} \right) \times 1.34$$

S = titulación en cms. de solución ferrosa del testigo.

T = titulación de la muestra.

El factor 1.34 es derivado como sigue:

$$(1.0N) \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.72}{0.77} \times \frac{100}{0.5} = 1.34$$

En el cual 0.5 es el peso de la muestra; 1.72 el factor para materia orgánica del carbón y 12/4000 el peso

molecular del carbón. El 77% de factor de recobro encontrado por Walkey.

La materia orgánica realmente oxidable es calculada por la ecuación:

$$\% MO = 10 \left( 1 - \frac{T}{S} \right) \times 1.33$$

donde S es el peso de la muestra.

En nuestro caso se encontró que el contenido de materia orgánica del suelo es de 2.21%.

#### Determinación de los Límites de Consistencia o de Atterberg.

Las propiedades de un suelo formado por partículas finas, dependen en gran parte de su contenido de humedad, pues el agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante de diferentes comportamientos del material. Cuando el contenido de humedad es muy elevado, en realidad lo que tenemos es una suspensión muy concentrada y sin ninguna resistencia estática al esfuerzo cortante, al perder agua se va aumentando esa resistencia hasta que se alcanza un estado plástico en el que el material es fácilmente moldeable; si continuamos secando, el suelo llega a adquirir las características de un sólido, pudiendo resistir esfuerzos de compresión y de tensión considerables.

Arbitrariamente Atterberg marcó las fronteras de los cuatro estados en que pueden presentarse los materiales granulares muy finos, mediante la fijación de los límites siguientes:

Líquido, plástico y de contracción.

El primero es la frontera entre el estado líquido y el plástico; el segundo entre el plástico y el semi-sólido y el tercero separa el estado semi-sólido

del sólido.

El límite líquido ( $L_L$ ) lo fija el contenido de agua expresado en tanto por ciento del peso seco, que debe tener un suelo moldeado para que una muestra del mismo, en que se haya practicado una ranura de dimensiones fijas, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar su apoyo.

#### Preparación de la Muestra.

##### Método seco.-

Del material que pasa la malla No. 4 desmoronamos 150 gramos en un mortero, teniendo cuidado de no romper los granos, pasamos el material a través de la malla No. 40 desechando el que quede retenido, ponemos en una cápsula el material que ha pasado dicha malla, agregamos agua y con una espátula de cuchillo mezclamos perfectamente hasta obtener una parte suave y espesa.

#### Determinación de $L_L$ .

1o.- La copa de casagrande antes de usarse deberá ser ajustada para que tenga una altura de caída de 1 cm. exactamente, esta distancia la medimos con una solera calibrada; en la copa del aparato se marca el centro de la huella que se forma al golpear con la base.

2o.-Damos vuelta a la manija hasta que la copa se eleve a su mayor altura y tomando como referencia el centro de percusión, se verifica con la distancia entre ésta y la base y cuando la copa esté tangente a la solera en el centro de percusión, se fija con los tornillos para evitar que se modifique esta altura.

3o.-Pusimos en la copa del aparato una cantidad de 50 gramos aproximadamente, de material y lo mezclamos hasta que la muestra quedara homogénea; con una espátula dispusimos el material de modo que, siendo la superficie superior plana su espesor máximo fuera de 1 cm. aproximadamente.

4o.- Ponemos la punta del ranurador en la parte superior y al centro de la muestra, colocando la herramienta perpendicular a la superficie de la copa.

5o.- Hacemos una ranura en el centro de la muestra inclinando el ranurador de manera que permanezca perpendicular a la superficie inferior de la copa.

6o.- Asegurándonos que la copa y la base estén limpias y secas, damos vueltas a la manija uniformemente a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes requerido hasta que se cierre el fondo de la ranura en una distancia de 1 cm.

7o.- Con la espátula, mezclamos el material y repetimos las operaciones indicadas en 3, 4, 5 y 6. Si el número de golpes coincide con la anterior determinación, o su diferencia es de 1 golpe, se anota el resultado en el registro respectivo.

8o.- Tomamos aproximadamente 30 gramos de la porción de la muestra próxima a la ranura en un vidrio de reloj.

9o.- Lo tapamos con otro vidrio de reloj.

10.- Pesamos con aproximación de 0.01 gramos, anotando el valor en la columna tara+muestra húmeda del registro.

11o.- Repetimos los pasos del 3 al 10 inclusive, agregando agua y mezclándola, para ir variando la consistencia del material.

12o.- Introducimos todos los vidrios de reloj en el horno a 110°C durante 10 horas para que se sequen. Una vez secos se ponen a enfriar y se pasan anotando el valor en la columna Tara+muestra seca.

13o.- Se siguieron los pasos necesarios para obtener % de agua, correspondiente a cada número de golpes y construimos la curva en rayado semi logarítmico (Lámina Nos. 7 y 10).

El límite líquido se encuentra donde el contenido de agua en la curva corresponda a 25 golpes.

14o.- Repetimos todo para la muestra No. 2.

## Determinación del Límite Plástico.

1o.- Tomamos aproximadamente la mitad de la muestra separada, según se indicó en la preparación de la muestra, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad óptima de la proctor; la rodamos con la mano sobre una superficie lisa y limpia hasta formar un cilindro de 3 mm. de diámetro y de 15 a 20 cm. de largo.

2o.- Se masa la tira y se vuelve a rodar repitiendo la operación tantas veces como fuera necesario para reducir, gradualmente, la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empiece a endurecer.

3o.- El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido a 3 mm. de diámetro.

4o.- Inmediatamente dividimos el cilindro y ponemos los pedazos en los 2 vidrios de reloj; engrapándolos con su broche.

5o.- Pesamos en balanza de 0.01 gramos y registramos el valor en la columna Tara+muestra húmeda del cuadro correspondiente al límite plástico (Lámina 9), así mismo anotamos el número de la tara y su peso en sus columnas respectivas.

6o.- Con la otra mitad de la muestra repetimos los pasos de 1 al 5 inclusive, para checar la determinación anterior.

7o.- Introducimos las muestras tomadas en el horno durante 18 horas para su evaporación, los secamos y dejamos enfriar, los pesamos y anotamos el valor en la columna Tara+Muestra Seca.

8o.- Con los datos anteriores calculamos el contenido de agua en %.

### Índice de Plasticidad.-

El índice de plasticidad ( $I_p$ ) es la diferencia en % que hay entre el límite líquido ( $L_L$ ) y el límite plástico ( $L_p$ ).

$$I_p = L_L - L_p$$

### LIMITE LIQUIDO

TARA N°	TARAMUESTRA HUMEDA	TARAMUESTRA SECA	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SECO	CANTIDAD DE AGUA EN %	NUMERO DE GOLPES
15	64.185	57.070	46.970	7.115	10.100	70.4	46
16	68.870	59.841	47.150	9.029	12.691	71.2	35
17	68.605	59.665	47.350	8.940	12.315	72.6	25
18	56.546	52.440	47.227	3.906	5.213	74.9	13
14	63.985	56.635	47.310	7.350	9.325	78.7	5
			$L_L =$	72.6%			

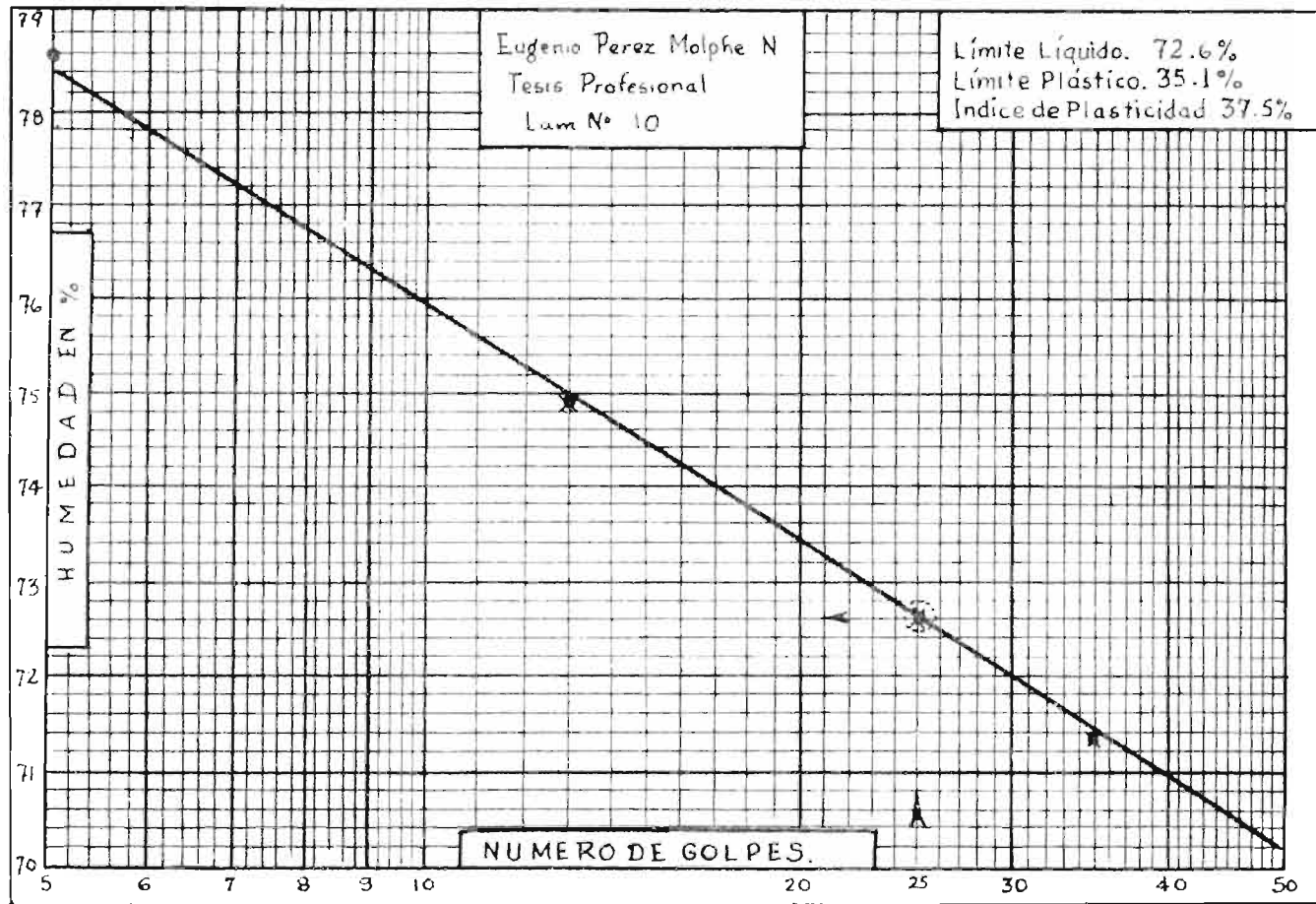
### LIMITE PLASTICO

TARA N°	TARAMUESTRA HUMEDA	TARAMUESTRA SECA	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SECO	CANTIDAD DE AGUA EN %
13	50.795	49.860	47.280	0.935	2.580	36.1
12	50.865	49.940	47.240	0.925	2.700	34.2
			$L_P =$	35.1%		

$$I_p = 72.6 - 35.1 = 37.5\%$$

Lam N° 9





## Pruebas Geológicas y Paleontológicas.

Para poder precisar la edad del suelo o su período de formación, necesitamos valernos de los restos de vida que se encuentren en el mismo o ser que es necesario ligar íntimamente las pruebas geológicas y paleontológicas.

Para las pruebas paleontológicas tomamos dos kilos aproximadamente de nuestra muestra, de éstos llenamos una serie de cápsulas de porcelana e iniciamos un lavado de las muestras con mucho cuidado de no tirar las partículas más gruesas del suelo.

Continuamos el lavado hasta dejar el agua completamente limpia frotando vigorosamente la muestra con el pulgar contra las paredes de las cápsulas, una vez bien lavadas las muestras, las colocamos sobre vidrios de reloj y con ayuda de un lente de aumento las observamos cuidadosamente con objeto de buscar fósiles.

En este análisis no encontramos más que fragmentos casi imposibles de identificar, por lo que se hizo necesario buscar en otra forma nuestros fósiles.

Tomamos otros 2 Kgs. aproximadamente de muestra y colocamos en serie las mallas No. 60, 100 y 200, lavamos la muestra en un chorro de agua no muy fuerte, dejándola sobre la malla No. 60, el lavado lo prolongamos todo el tiempo necesario hasta que el agua que salga por la malla 200 sea completamente limpia. Una vez hecho esto observamos los restos retenidos en cada una de las mallas, con la ayuda también de un lente de aumento.

En esta prueba sí tuvimos éxito, pues se encontraron dos tipos de fósiles. Los analizamos al microscopio y con seguridad podemos afirmar que se trata de dos tipos de Gasterópodos pulmonados, con lo que deducimos por esta circunstancia que tenemos un terreno reciente.

Uno de los fósiles lo clasificamos como "Helix", que es un tipo de los Helicidos que son gasterópodos pulmonados, caracterizado por la concha arrollada en espiral cónica, de forma variable. La boca es oblicua, semo lunar o redonda, con el borde interno del peristoma formado por la penúltima vuelta.

Se desarrolla desde el terciario hasta la actualidad.

### Prueba Petrográfico.

Analizamos al microscopio las partículas retenidas desde la malla No. 60 hasta las defluoculadas, en todas ellas nos encontramos con granos de cuarzo de caras angulosas o sub-angulosas; determinamos el cuarzo por dureza, por ácidos y por espectro, los componentes de las arcillas no se pudieron determinar.

### ANÁLISIS QUÍMICOS

#### Preparación de las muestras.-

Tomamos dos kilos aproximadamente de muestra y los secamos a 110°C para quitarle toda la humedad, una vez seca la muestra la molamos en mortero y la pasamos por la malla No. 100, hacemos cuarteos con la muestra y sacamos 200 gramos.

#### Sílice.-(por fusión)

Pesamos 0.5 gramos de la muestra ya preparada y lo pasamos a un crisol de níquel que contenga 3 gramos de Sosa fundida que enfriamos previamente para evitar pérdidas. Fundimos completamente la mezcla de la muestra y la Sosa, pasamos la muestra fundida a un vaso de precipitados de 400 cc. con ayuda de (HCL) ácido Clorhídrico para que se limpie bien el crisol; seguimos agregando HCL hasta la disolución completa de la masa y luego añadimos un exceso de 10 cc. Colocamos a fuego muy lento para evitar proyecciones de las partes solidificadas y llevamos hasta la evaporación completa, con objeto de insolubilizar el Sílice, repetimos la evaporación dos veces más, agregando en cada una de ellas HCL en cantidad suficiente para cubrir toda la masa; diluimos por último con agua destilada y calentamos, agregando también en esta ocasión HCL, filtramos luego ésto sobre un filtro de cenizas conocidas, lavando con agua caliente las veces que fuera necesario. Calcinamos el filtro y pesamos el calcinado en forma de  $\text{SiO}_2$ ; transformamos el resultado de la pasada en tanto por ciento.

Obtuvimos los siguientes resultados para las muestras:

Muestra No. 1	SiO <sub>2</sub>	45%
Muestra No. 2	SiO <sub>2</sub>	69.5%

#### Fierro en forma de FeO.-

Pesamos 1 gramo de muestra finamente pulverizada, la colocamos en un matraz Erlenmeyer de 500 cc. y la disolvemos con 30 cc. de HCL diluido (20 cc. de HCL + 10 cc. de H<sub>2</sub>O); el matraz deberá estar tapado con un tapón de hule que tenga dos agujeros para dos tubos de vidrio, por uno de los tubos entra una solución de bicarbonato de sodio para engendrar CO<sub>2</sub> a fin de impedir la oxidación del Fe. Por el otro tubo se compensa el exceso de presión del matraz.

Calentamos a fuego suave hasta lograr la disolución del óxido. Se requieren aproximadamente 7 minutos para lograrlo. Después de que todo haya sido disuelto lo dejamos enfriar y diluimos con 200 cc. de agua, le añadimos 10cc. de mezcla de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Acido Fosfórico+Acido Sulfúrico) y unas gotas de difenilamina y lo valoramos con una solución tipo de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (Perclorato de Potasio) hasta el primer tinte violeta permanente.

Los resultados que obtuvimos fueron:

Muestra No. 1	FeO	3.5%
Muestra No. 2	FeO	5 %

#### Calcio.-

Pesamos 0.5 gramos de nuestra muestra preparada, la pasamos a un vaso de 250 cc., agregando 5 c.c. de HNO<sub>3</sub> (Acido Nítrico) y 10 cc. de HCL y llevamos casi a la sequedad; añadimos 10 c.c. de HCL y calentamos, procurando eliminar la mitad del volumen.

Diluimos con agua destilada hasta un volumen aproximado de 75 o 100 c.c.; calentamos, precipitamos el Fe, con NH<sub>4</sub>OH (amoníaco); calentamos y filtramos recibiendo en un vaso de 400 c.c.; alcalinizamos la solución que tendrá un volumen aproximado de 250 o

300 c.c.; calentamos hasta la ebullición y precipitamos con solución hirviente de oxalato de Amonio al 8% y hervimos un momento; dejamos sedimentar el precipitado y filtramos, lavando con agua hirviendo unas diez veces.

En el vaso en que se precipitó y que debe de estar bien lavado, ponemos aproximadamente 300 c.c. de agua fría y 10 c.c. de  $H_2SO_4$  (Acido Sulfúrico), calentamos la solución sulfúrica hasta la ebullición. Pasamos a este vaso el precipitado de oxalato de calcio con todo y filtro, agitamos y en caliente titulamos con solución valorada de Permanganato de Potasio.

Obtuvimos los siguientes resultados:

Muestra No. 1	CaO	22.5%
Muestra No. 2	CaO	1.5%

#### Zinc.-

Pesamos 1.0 gramos de polvo de zinc y lo colocamos en una matraz Erlenmeyer de 500 c.c. Agregamos 50 gramos de sulfato amónico férrico,  $Fe_2(SO_4)_3(NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$  en cristales grandes y 100c.c. de agua.

Agitamos, revolviendo el frasco, hasta que el polvo de zinc se haya disuelto totalmente.

El Zinc metálico reduce una cantidad equivalente de fierro al estado ferroso, la cantidad de hierro ferroso producida se puede determinar ya sea por el método del permanganato o por el de bicromato.

Determinándolo por el método del permanganato, agregamos 100 c.c. de solución 1:10 de Acido Sulfúrico y titulamos.

La cantidad de fierro determinado, la multiplicamos por 1.172 y nos da la cantidad de Zinc metálico contenida en el polvo.

Los resultados que obtuvimos fueron los siguientes:

Muestra No. 1	Zn	0.6 %
Muestra No. 2	Zn	0.2 %

## Aluminio.-

Pesamos 0.5 gramos de nuestra muestra preparada y la pasamos a un crisol de platino; añadimos 2 a 3 c.c. de  $H_2SO_4$  y 20 c.c. de HF (Acido Fluorhídrico); evaporamos en baño maría, aumentando la temperatura gradualmente hasta el desprendimiento de humos blancos de  $H_2SO_4$ . Enfriamos el crisol; añadimos agua y un poco de HCl; calentamos hasta que el contenido se haya disuelto completamente; pasamos ésto a un matraz Erlenmeyer de 300 c.c.; añadimos 5 gramos de  $K_2SO_4$  (Sulfato de Potasio), 5 c.c. de  $H_2SO_4$  y la octava parte de un papel filtro de 9 cms. de diámetro; hervimos la mezcla lentamente - al principio para evaporar el agua y el ácido Clorhídrico, después más fuertemente hasta que haya desprendimiento de humos blancos de  $H_2SO_4$ ; la temperatura la aumentamos tan fuertemente como la espuma del matraz lo permita; la solución debe de quedar clara y con un poco de  $H_2SO_4$  libre; enfriamos el matraz inclinándolo para formar una pasta de un solo lado del matraz y evitar la decrepitación de la pasta. Ya fría añadimos 150 c.c. de agua destilada y 5 c.c. de HCl, calentamos la pasta hasta que se disuelva.

Pasamos a la solución corriente de  $H_2S$  (Acido Sulfhídrico) si existen metales del segundo grupo. Filtramos y lavamos con agua caliente; hervimos el filtrado hasta eliminar el  $H_2S$ , oxidamos el Fe con agua de Br (Bromo) en caliente, diluimos hasta 400 c.c. con agua fría.

Neutralizamos con amoníaco ( $NH_4OH$ ) (si está presente el Fe, hasta que se empieza a precipitar) añadimos 3 c.c. de HCl y 2 gramos de  $Na_2 HPO_4$  (Fosfato Acido de Sodio) disuelto en agua; añadimos 10 gramos de  $Na_2S_3O_3$  (Sulfito de Sodio) disuelto también en agua y 5 c.c. de Acido Acético. Hervimos hasta clarificar y filtramos tan rápido como sea posible en filtro de cenizas conocidas. Lavamos con agua caliente y calcinamos; pesamos el  $Al PO_4$  (Fosfato de Aluminio) y multiplicamos este peso por 0.4183 para obtener el Al en forma de  $Al_2O_3$ .

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Muestra No. 1	$Al_2O_3$	5 %
Muestra No. 2	$Al_2O_3$	14 %

### Magnesio.-

Pesamos 0.5 gramos de nuestra muestra preparada, si la muestra es un silicato insoluble, la fundimos como en el caso de  $\text{SiO}_2$  y se elimina esta previa insolubilización evaporando dos veces con HCl. Después de separar el sílice, al filtrado le agregamos  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (Cloruro de Amonio) y amoniaco para precipitar el  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  y  $\text{Al}(\text{OH})_3$  en el filtrado de la eliminación de estos dos hidróxidos se hace la separación del calcio precipitándolo como  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ . Una vez verificado este paso, el líquido filtrado se acidula con HCl usando naranjado como indicador, le agregamos 1 c.c. de ácido en exceso, le añadimos 25 c.c. de fosfato de amonio al 8% y 30 c.c. de amoniaco concentrado; se agita durante 5 minutos procurando no tocar las paredes del vaso, lo dejamos reposar durante 12 horas para que la precipitación del fosfato amoniaco-magnésico, sea completa y con cristales grandes. Filtramos en filtro fino y lavamos 12 veces con agua fría, calcinamos y pasamos el contenido de  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$  (Fosfato de Magnesio) calculamos el porcentaje de MgO multiplicando el peso del precipitado  $\times 0.3621 \times 2 \times 100$ .

Los resultados obtenidos fueron:

Muestra No.1	MgO	3.5 %
Muestra No. 2	MgO	0.5 %

### Manganeso.-

Pesamos 0.5 de nuestra muestra preparada y la pasamos a un vaso de 250 c.c.; añadimos 10 c.c. de HCl; reducimos a pequeño volumen; agregamos 5 c.c. de ácido sulfúrico; calentamos hasta el desprendimiento de humos blancos; enfriamos y diluimos con agua a un volumen de 100 c.c., calentamos a ebullición y pasamos a un matraz de un litro, diluyendo con agua hasta un volumen de 400 c.c. Calentamos y agregamos óxido de Zinc en cantidad suficiente para precipitar el fierro, evitando un gran exceso de  $\text{ZnO}$ ; continuamos el calentamiento y titulamos en caliente con solución valorada de permanganato de Potasio, hasta el primer tinte rosa.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Muestra No. 1	MnO	0.2 %
Muestra No. 2	MnO	0.3 %

Resumen de los Resultados.-

Muestra No. 1

Sílices	SiO <sub>2</sub>	----	45 %
Fierro	Fe O	----	3.5 %
Cal	Ca O	----	22.5 %
Zinc	Zn	-----	0.6 %
Azufre	S	-----	0.0 %
Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-----	5.0 %
Magnesio	MgO	-----	3.5 %
Manganeso	MnO	-----	0.2 %
Carbón Orgánico	C	-----	1.0 %
Agua	H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O -		9.1 %
	SUMA		<u>90.4 %</u>

Muestra No. 2

Sílicas	SiO <sub>2</sub>	-----	69.5 %
Fierro	FeO	-----	5.0 %
Cal	CaO	-----	1.5 %
Zinc	Zn	-----	0.2 %
Azufre	S	-----	0.0 %
Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-----	14.0 %
Magnesio	MgO	-----	0.5 %
Manganeso	MnO	-----	0.3 %
Carbón Orgánico	C	-----	2.2 %
Agua	H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O -		5.0 %
	SUMA		<u>98.2%</u>



## TIPO DE MATERIAL ENCONTRADO.

Para tratar de definir qué tipo de suelo es, específicamente, no vamos a seguir el orden de las pruebas sino que iremos entrando poco a poco según los factores que creo que nos darán el resultado en una forma más comprensible.

Según los estudios geológicos que se hicieron de toda la región tenemos lo siguiente:

Una formación grande de calizas y pizarras calizas que nos constituyen la sierra de Cinco Palos.

Una región de suelos vegetales que son los que estudiamos, que por su análisis químico y petrográfico nos hacen suponer que son de origen ígneo.

El río que en todo su lecho forma grandes depósitos de travertino y que en la composición del agua denota la presencia de gran cantidad de carbonatos que recoge en su paso por la sierra.

Por lo anterior podemos, en primer lugar, decir: Encontramos un terreno de origen ígneo sobre una zona sedimentaria por lo que este suelo no puede ser originado por la erosión de la Sierra de Cinco Palos.

El tamaño de los granos y la ausencia de fósiles antiguos nos dicen que es un suelo de acarreo.

El acarreo no fue por corrientes de agua puesto que éstas escurren de la región caliza hacia nuestro suelo, entonces el contenido de carbonatos sería muy alto y no lo es.

Por lo tanto el acarreo de este suelo sólo se podrá atribuir a una corriente de aire. Basado en lo anteriormente expuesto se llega a la primera conclusión:

Es un suelo eólico; por lo grueso de la capa cerca de la Sierra podemos decir también que fue acarreado por corrientes que soplaron en dirección Este Oeste.

Ahora, tomando la granulometría para hacer la cla-

sificación tenemos que la mayor parte de los granos tienen un diámetro entre 0.05 mm. a menos de 0.004 por lo que según la clasificación recomendada del Instituto Tecnológico de Massachusetts podremos decir que es un limo arcilloso, pues en la muestra No. 1 tenemos casi 80% de limos y arcillas y en la número 2, aproximadamente 95% de limos y arcillas.

Podríamos limitarnos a decir que nuestro suelo es la unión de la primera y segunda conclusión: un limo-arcilloso de origen cólico; sin embargo la clasificación del suelo debida solo a su granulometría no es no solo vaga sino también anticuada y posiblemente peligrosa, dado el tipo de obra que se piensa construir.

Basándonos también en la clasificación de suelos debido a sus propiedades mecánicas y dad por el "Bureau of Reclamation" de los Estados Unidos y que clasifica los suelos según su plasticidad, podremos decir que como tenemos que nuestro suelo tiene un índice de plasticidad de casi 40 será un limo-arcilloso de muy alta plasticidad.

Podríamos dejar esta clasificación como correcta, dado el caso de que no existieran propiedades muy específicas de este material que nos hicieran pensar en otra cosa, sin embargo esas propiedades existen y necesitamos definirlo en una forma más clara.

Una de las propiedades más notables es la de que con su humedad normal de 9 a 14% el terreno permite la formación de taludes de 90°, característico muy común en los suelos Loessiales y si a ésto agregamos que si saturamos el suelo, su ángulo de reposo no llega ni a los 5°.

Mencionamos aquí la posibilidad de que sea un suelo Loessial, cosa que desgraciadamente por requerir un estudio no de una persona sino de un verdadero equipo de trabajo, no podremos afirmar definitivamente, aparte de las dificultades que he encontrado, pues todas las Instituciones que han estudiado este tipo de suelo dan datos demasiado vagos como para establecer una clasificación bien definida. Sin embargo a continuación expondré las pruebas y razones que me hacen pensar en que éste sea un suelo Loessial.

## Antecedentes y Propiedades de los Suelos Loessiales.

### Definiciones:

Según la Estratigrafía, orogenia y tectónica, un Loess es una variedad de limo cuaternario de origen eólico o glacial, notable por su extensión y espesor.

Según la Geografía Física, un loess es una roca suelta formada principalmente por partículas de cuarzo diseminadas en cemento arcilloso. Es una formación diluviana de origen eólico, que ocupa grandes territorios, es poroso y coherente, los poros son debidos a la existencia de raíces, puede ser pobre en caliza y cuando lo es, se conoce con el nombre de lehm.

Según la petrografía, loess es una roca suelta formada principalmente por partículas de cuarzo siempre angulosas, diseminadas en cemento arcilloso. Su composición es variable y entran a formar parte de ella la arcilla y finísimas partículas de calcita, cuarzo, mica y trocitos de roca partida. Su grano fino y su distribución se atribuyen a la acción eólica y su acumulación en depósitos gruesos a las barreras naturales de las cadenas montañosas y a la sujeción de la vegetación.

Según la Paleontología, el loess es un sedimento de origen eólico, formado por polvo siliceo-calcáreo, de estructura muy porosa, no estratificada, recubre por igual todas las irregularidades del terreno, sin variaciones de composición en relación de las rocas recubiertas. Esta facies terrígena, eólica, se caracteriza además por fósiles especiales: Sobre todo gasterópodos pulmonados y pequeños mamíferos.

Según la mecánica de suelos, un loess es un suelo formado por sedimentos eólicos uniformes y cohesivos. El tamaño de la mayoría de sus partículas oscila entre los estrechos límites comprendidos entre 0.01 y 0.05 milímetros. Se caracteriza por la presencia de agujeros verticales dejados por las raíces extinguidas y porque se mantiene estable con taludes casi verticales.

Los depósitos vírgenes de Loess no han sido nunca saturados y si lo son, el cementante que mantiene la

adherencia entre las partículas se disuelva y el depósito sufre un asentamiento.

No tendremos como única base lo antes mencionado, sino que trataremos de comparar nuestro suelo con estudios hechos sobre suelos loessiales, sin embargo en las definiciones antes mencionadas vemos aparecer el hecho que nos hizo pensar que el suelo merecía mayor atención y que es el de los taludes verticales.

Otros de los factores que nos hacen pensar en el suelo loessial, son:

- a).- Suelo de Origen Eólico, lo cual tenemos.
- b).- Presencia de Gasterópodos Pulmonados en el examen Paleontológico.
- c).- Gran cantidad de arcilla actuando como cementante.
- d).- Granos de cuarzo encontrados en el análisis petrográfico, angulosos y de diversos tamaños, en gran cantidad.
- e).- Secciones del material se hallaban tubificadas en el sentido vertical.

#### Comparación de nuestro suelo con Suelos Loessiales.-

En un recipiente colocamos una parte de la muestra con poca humedad y con los granos desmoronados, hicimos una pequeña compactación tratando de imitar aunque fuera en parte al suelo en su estado natural, posteriormente llenamos el recipiente con agua y esperamos. Al principio el agua bajó de nivel mas casi inmediatamente se estancó y ya no descendió el nivel.

Repetimos la operación con otra parte de muestra pero ya no llenamos el recipiente con agua sino que la rociamos sobre la muestra, en el primer experimento depositamos 10 litros de agua y por medio de un sifón recuperamos 7, sin embargo en el segundo el terreno absorbió los 10 litros.

Conclusión: el terreno con la carga producida por el agua y por el tamaño de las partículas sufre un acomodamiento y se vuelve casi impermeable. Sin embargo si no provocamos carga, sí es capaz de saturarse.

Exactamente este mismo experimento se efectuó en la presa Sherman, cimentada sobre suelo Loessial y diseñada por el "United States Bureau of Reclamation" y con los mismos resultados. Ellos quisieron compactar el suelo de la cimentación pero en estado seco era prácticamente imposible, mientras que con su humedad óptima era más fácil, trataron de saturar el suelo por medio de encharcamientos con resultado negativo, al aplicar el sistema de riego por aspersión, el suelo fue fácilmente compactado.

Para probar más este punto, me permitiré transcribir literalmente la opinión de William J. Quin, expresada en su trabajo de la presa Red Willow y algunos de sus problemas de construcción y que dice:

"Un problema interesante, en la construcción con loess, es el del material mojado en pozos de préstamo y áreas de excavación. Como resultado de varios años de trabajo en diferentes áreas donde el loess es el material principal, somos de la opinión que la humedad adecuada para obtener mejores resultados es cerca de lo óptimo. Hemos encontrado además, que el material loess es por lo general o demasiado húmedo o demasiado seco y requiere, a la vez, equipo para secar y tanques de agua, aun cuando el riego sea hecho con cuidado. Sin embargo, la operación de añadir una pequeña cantidad de agua al levantamiento o de pasar un disco cortante profundo o un tipo de escarificador que dejaría entrar aire a toda la profundidad del levantamiento mojado, es muy sencillo y no muy costoso".

Dice además: " Es mi opinión que es materialmente imposible mojar el material loess desde un estado seco hasta lo óptimo en excavación o terraplén. Si no imposible, es impracticable pues es extremadamente costoso y lleva mucho tiempo. El mojar loess removido es igual que mojar harina o cemento, pues siendo de grano tan fino, el agua solo moja la superficie. Se necesita mezclar una cantidad excesiva de agua para mojarlo, y así, el contenido de agua es demasiado alto."

Esta propiedad la observamos aquí en el laboratorio al hacer la compactación Proctor, pues para definir una curva hubo necesidad de repetir varias veces el ensayo debido a la dificultad de obtener una humedad óptima, cosa que no sólo nos sucedió aquí sino que en las curvas de compactación Proctor hechas en los canales Courtland y Franklin en los Estados Unidos, también tuvieron variaciones en la compactación (Lámina 11).

Nuestra curva proctor de compactación incluso fue bastante semejante a la obtenida por ellos, no podíamos esperar que fuera igual puesto que en sus mismos terrenos tenían variaciones y el loess de esas regiones es de origen glaciario y nuestro terreno es eólico.

En el caso de la granulometría, nuestras curvas fueron parecidas a las encontradas en los canales estudiados por el "Bureau of Reclamation" aunque tenemos mayor cantidad de finos debido principalmente al mayor transporte. (Lámina 12).

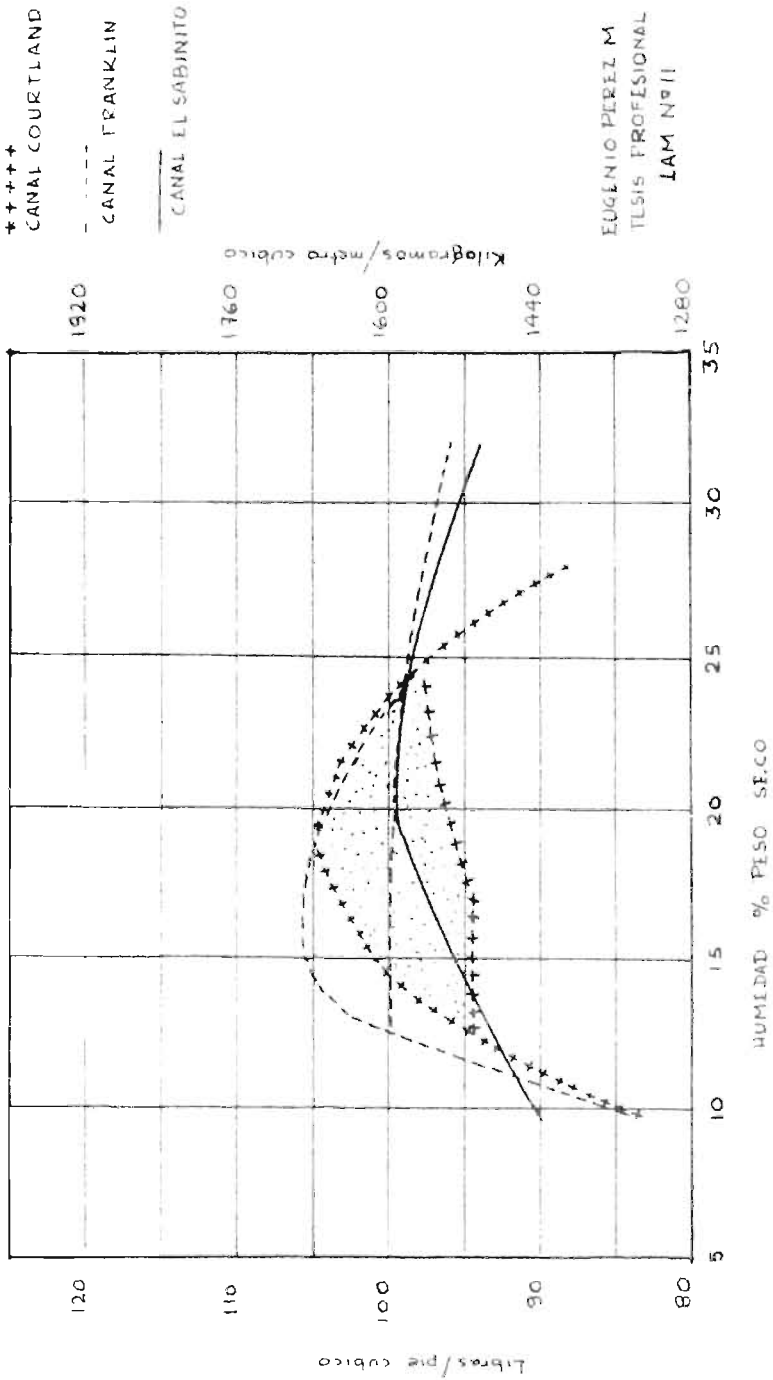
Una posible clasificación es la que nos darían los límites de Atterberg, sin embargo hay una variación demasiado grande entre los suelos loessiales de diferentes partes. Tenemos, por ejemplo, en los terrenos loessiales del estado de Kansas el límite líquido que varía desde 32 a 55, en los terrenos loessiales de Colorado varían de 22 a 42 y en los loessiales de Europa y China de 35 a 75. Así que casi cualquier limo o limo arcilloso por fuerza tendría límites que variarían entre este amplio rango.

El Índice Plástico o de plasticidad varía desde 7 hasta 40 así que tampoco puede ser factor determinante.

La densidad real de nuestras muestras resulta demasiado alta, sin embargo no es de dudarse por su alto contenido de sílice cuya densidad es alrededor de 2.8 Kgs/dm<sup>3</sup>, su densidad proctor sí es semejante a la de otros terrenos loessiales, lo mismo que su humedad óptima.

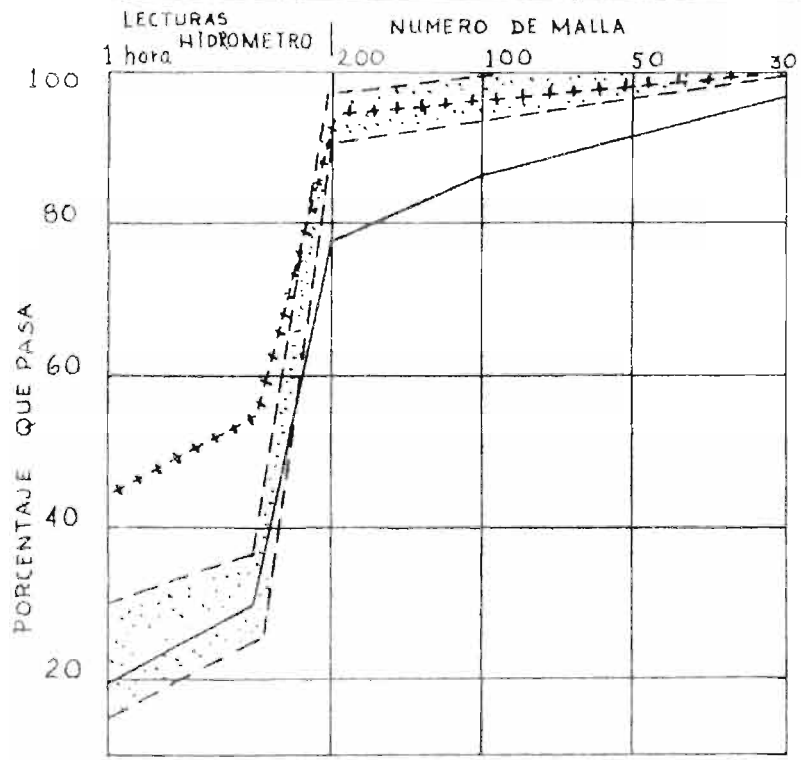
Lo que nos inclina a pensar y nos permite casi asegurar que es un Loess en su análisis químico puesto que concuerda casi exactamente con los efectuados en

CURVAS DE PRUEBAS PROCTOR DE COMPACTACION



+++++  
CANAL COURTLAND  
-----  
CANAL FRANKLIN  
-----  
CANAL EL SABINITO

EUGENIO PEREZ M  
Tesis Profesional  
IAM N° 11



--- variación en granulometría Canal Courtland

----- Muestra No 1, Canal el Sabinito

+ + + +

Muestra No.2, Canal el Sabinito.

El Canal Franklin y el Cambridge  
Tienen granulometría semejante al  
Courtland.

Eugenio Pérez Molphe N.  
Tesis Profesional.  
Lám. No. 12.



otros países.

Tabla no. 18

	Loess Americano	Terreno del Sabinito	
Sílice SiO <sub>2</sub>	50 a 75 %	45 %	69.5 %
Fierro FeO	3.1 a 6 %	3.5 %	5.0 %
Aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6 a 13 %	5.0 %	14.0 %
Cal CaO	1.5 a 10 %	22.5 %	1.5 %
Magnesio MgO	1 a 4 %	3.5 %	0.5 %
Manganeso Mn O	0.05 a 0.5 %	0.2 %	0.3 %

Como se puede ver, casi todos los valores nos concuerdan perfectamente, a excepción de uno de los valores de la Cal que es muy alto, pero esto es perfectamente lógico puesto que tenemos una roca madre caliza, la cual es posible que haya sido erosionada y parte de ella se hubiera mezclado con nuestro suelo.

#### CONCLUSION. =

Dadas todas sus características, podemos sugerir que este suelo es un Loess o un Loess modificado.

## PROYECTO DEL CANAL PARA EL TIPO DE SUELO ENCONTRADO

Aunque debido a las características especiales de nuestro suelo, habrá ciertas dificultades. Los principios del canal serán los ordinarios, así que en el trazo tendremos tres operaciones que son la de reconocimiento del terreno, el trazo preliminar y el trazo definitivo.

El trazo preliminar del canal lo proyectamos sobre la topografía de la zona levantada previamente con plancheta, en la que las curvas de nivel las pasamos, lo más cercanas posible con objeto de que el levantamiento sea lo más cerca a la realidad.

El trazo definitivo lo hacemos ya sobre el terreno y deberá ser prácticamente el mismo que el preliminar salvo las modificaciones forzadas por el terreno.

En nuestro caso tendremos muy especial cuidado de tener los menores cortes posibles sobre roca y los menores movimientos de material, dado lo difícil de la zona para acarreo.

Lo difícil en nuestro caso, es el tipo de revestimiento que tendremos que utilizar, dadas las características del suelo vemos que en primer lugar, sea cual fuere el tipo de revestimiento que se utilice, tendremos previamente que compactar nuestro suelo.

Analizaremos brevemente los tipos de revestimiento que se pudieran utilizar, el procedimiento que seguiríamos y su posible realización.

### Revestimiento del mismo suelo compactado.

#### Ventajas.

Es natural que no tendríamos problemas de manejo de materiales extraños y de ser aceptable el precio de la compactación, sería el de más bajo costo inicial.

#### Objeciones.-

El mantenimiento del canal sería de costo elevado

debido:

1o.- A la gran fertilidad del suelo, que en poco tiempo crece casi cualquier tipo de vegetación.

2o.- A la gran cantidad de lluvia que cae en la región que nos erosionaría notablemente el canal, sobre todo por la cercanía a la sierra que les da un régimen torrencial a todos los escurrimientos.

#### Procedimiento de Construcción que habría de seguirse.

Como mencionamos anteriormente cuando clasificamos el suelo dadas sus características de la mecánica de suelos como un limo arcilloso de alta plasticidad pues según la carta de plasticidad, casi es un caso de frontera entre el  $B_c$  que es una arcilla inorgánica de alta plasticidad y  $L_c$  que es un limo inorgánico o un limo elástico, quedando como:

Limo-arcilloso de alta plasticidad, de color negro o café obscuro, con casi ausencia de arena aunque fuera fina, con una gran cantidad de agujeros verticales debidos a raíces ( $B_c - L_c$ ). Y que por sus características especiales sugerimos que fuera un Loess.

Con esta clasificación para nuestro suelo, la actuación del revestimiento del mismo suelo compactado, puede tener una serie de variaciones debido al clima tan severo que priva en la región y a la gran cantidad de vegetación que puede aumentar o reducir considerablemente la densidad del suelo y por consecuencia lógica disminuir la eficacia de nuestro canal, por lo que deberemos tomar muy en cuenta las variaciones de las propiedades del suelo para construir nuestro canal.

La tierra compactada ha probado en varios países ser uno de los mejores tipos de revestimiento de canales y sólo es superado por el revestimiento de concreto, sin embargo aquí nuestro gran problema es el de la compactación del canal, pues el suelo en estado seco o de humedad natural, es sumamente resistente a la compresión directa (7 a 20 Kg/cm<sup>2</sup>) debido a la gran cantidad de cementante (arcilloso o calcáreo) que contiene. Por lo que una compactación en estado de humedad

natural es prácticamente imposible, pues aparte del peso de herramienta que necesitaríamos, tenemos el gran inconveniente de que es un canal y no un camino y tenemos taludes y un ancho de plantilla muy estrecho para que pudiera circular libremente la herramienta.

Si tratamos de compactar aumentando la humedad del suelo y buscando la humedad óptima proctor, tendremos que una de las características del suelo sería nuestro peor enemigo y esa característica es la que mencionamos anteriormente: es sumamente difícil mojar en una forma uniforme el suelo y, o lo dejamos semi seco o lo sobre saturamos. La prueba más grande de esto es que en la compactación proctor nos fue sumamente difícil definir una curva, pues humedecíamos el suelo y compactábamos hasta finalizar la prueba: al sacar la pastilla de muestra teníamos que se definían perfectamente zonas húmedas y zonas secas, si aumentábamos la humedad entonces la muestra se volvía un verdadero chicle, muy difícil de trabajar y esto no sólo nos pasó a nosotros sino que en las pruebas de compactación Proctor efectuadas en diferentes tipos de suelos Loessiales de los Estados Unidos y efectuadas por el Bureau of Reclamation, les sucedió lo mismo, por lo que en lugar de definir una curva, tenían que definir un área dentro de la cual variaba la compactación. Entonces tenemos que si pensamos compactar nuestro canal para no revestirlo tendremos que escoger un método de compactación, por lo que se sugieren los dos métodos siguientes:

#### I.- Estabilización y consolidación de los taludes y plantilla por el método de electrosmosis.-

Aunque aparentemente este método es demasiado para la compactación de un canal, el problema de un suelo loessial no es tan sencillo como el de un suelo ordinario y aparte de la compactación a base de herramientas de rodillos, no existe otro método. Este método ha sido utilizado con bastante éxito en los Estados Unidos y algunas partes de Europa y en México fue utilizado con bastante éxito también, en un tramo del colector No. 15 en la Colonia Estrella en el Distrito Federal y en la cimentación de algunos edificios.

## Sinopsis Histórica de la Electrosmosis.-

El principio en que se basa la electrosmosis fue descubierto desde el siglo pasado por el científico Ruso Reuss (según la memoria de la Sociedad de Naturalistas de Moscú del año 1809 pg. 327) que descubrió que al aplicar un potencial eléctrico a un diafragma poroso el agua se mueve a través de los poros hacia el cátodo, cesando este flujo al cortarse la corriente y volviendo a iniciarse al volver a aplicar el potencial.

En 1879, Helmholtz, científico alemán, dedujo una fórmula matemática para explicar este fenómeno y la cual con ligeras modificaciones se acepta en nuestros días. Helmholtz partió de una suposición de Quincke el cual afirmaba, que en un tubo capilar, el agua que permanece unida a las paredes del tubo está formada por una doble capa, la exterior cargada negativamente y la interior con cargas positivas.

Posteriormente Govy, científico francés, Nutting, Parks y Terzaghi, realizaron pruebas por separado para determinar el espesor de esa doble capa, que es muy importante para la electrosmosis.

En la actualidad los científicos que más destacan en este estudio son Karl Terzaghi y Leo Casagrande.

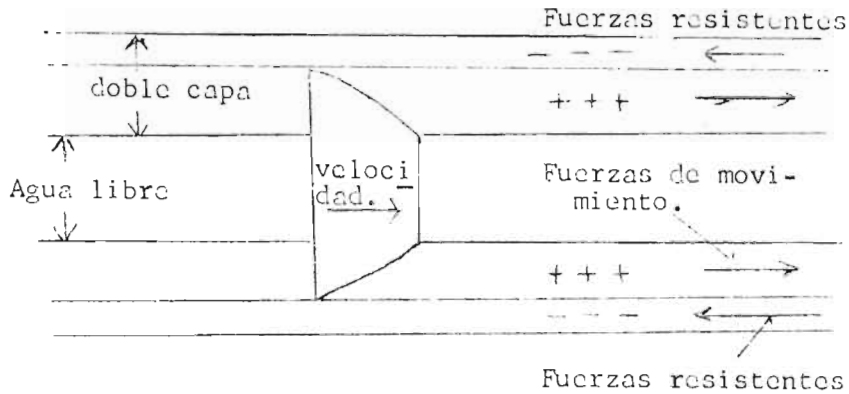
### Principio fundamental.-

Ley de Helmholtz o del flujo electromotico en tubos capilares.-

Helmholtz, de acuerdo con la teoría de Quincke, distingue, en un tubo capilar lleno de agua, dos zonas diferentes, una central, de agua libre y una película adyacente a las paredes del tubo que es lo que se llama doble capa, pues se supone que dicha película se haya formada por dos capas, la exterior más delgada, está rígidamente unida a las paredes y cargada negativamente por lo que se llama parte fija de la doble capa, - mientras que la interior más gruesa y cargada positivamente recibe el nombre de parte móvil de la doble capa, ya que al aplicar un potencial eléctrico en los extremos del tubo capilar, los iones positivos de esa capa, se mueven en dirección al polo negativo, arrastran-

do consigo el cilindro central de agua libre.

### Distribución de la velocidad en el Flujo electrosmótico.



Si no se aplica ningún potencial eléctrico y en cambio se tiene un gradiente hidráulico, sólo se mueve el cilindro central de agua libre, quedando inmóvil toda la doble capa. En este caso el fenómeno se llama flujo hidráulico y la distribución de la velocidad es parabólica ya que el flujo es laminar. Entonces en el aprovechamiento de las propiedades eléctricas de esa doble capa de agua que se adhiere a los tubos capilares de moverse al aplicársele una corriente eléctrica sacando toda el agua libre y más de los tubos capilares, se basa el sistema electrosmótico de consolidación.

### La Electrosmosis en la Estabilización de Taludes.-

Estudio del equilibrio de los taludes con electrodos y sin ellos:

Un aspecto muy importante de la electrosmosis aplicada a los fines de la ingeniería, es el incremento de la resistencia al corte que produce en los suelos arcillosos y que constituye una notable ayuda a la estabilización de los taludes.

El principio en que se basa este método es sumamente sencillo, pues en la parte superior del talud se hincan electrodos de una profundidad mayor que la de la excavación y se conectan alternadamente el ánodo (+) y el cátodo (-), al hacerse pasar una corriente e-

léctrica por los electrodos, el agua de los poros se mueve de los ánodos hacia los cátodos. Este movimiento da por resultado una tensión en el agua de las cercanías del cátodo. Sacamos mediante bombeo el agua que salga por los cátodos, al sacar el agua aumenta la tensión en los poros a medida que se sigue sacando agua, siendo siempre mayor ésta cercana a los ánodos y menor cerca de los cátodos. Sabemos que al extraer agua entre dos partículas arcillosas, a medida que disminuye el contenido de ésta, se va reduciendo el radio de los meniscos que el agua absorvida forma en la unión de dichas partículas. Mientras menor es el radio de un menisco, es mayor la tensión superficial que pueden desarrollar éstos, con lo que se incrementa notablemente la cohesión entre las partículas.

Aparte de que siendo los bufamientos mínimos, la resistencia al corte de los suelos que se encuentran bajo el fondo de la excavación no sufre ninguna disminución por expansión de las arcillas.

Lógico es suponer que al aumentar la cohesión, disminuye también notablemente la permeabilidad del suelo y si se le da el debido drenaje y protección al canal y la velocidad de la corriente no es muy grande los taludes aguantarán bastante tiempo y las pérdidas por filtraciones serán mínimas, además se pueden dejar protegidos los agujeros de los electrodos para otra posible estabilización cuando fuere necesario.

#### Inconvenientes encontrados.-

- 1).- Necesidad de personal especializado para efectuar las instalaciones eléctricas y lecturas de aparatos.
- 2).- Peligro del personal debido a las cargas de los electrodos.
- 3).- Dificultad en las operaciones de extracción de tubos ranurados y electrodos después de efectuada la electrosmosis.
- 4).- Falta de práctica en el empleo del método.
- 5).- Alto costo y difícil amortización del equipo.

Esto aparte de los inconvenientes comunes a todos los canales de tierra que son fácilmente erosionados e invadidos por la vegetación, lo que hace bastante alto el costo de mantenimiento.

## II.- Consolidación por compactación mecánica.

En los revestimientos de tierra con suelos conocidos y en los cuales ya se tiene experiencia y conocimiento amplio de su comportamiento éste es el más soportado de los métodos. Sin embargo en nuestro caso es quizá más difícil que el mismo método de la consolidación electrosmótica, puesto que, antes que nada, no tenemos bien definido un punto de humedad óptima.

Aparte de esto la humedad óptima no se podría obtener por medio de encharcamientos, puesto que nuestro suelo al tener una carga estática de agua cierra sus poros y se hace casi impermeable quedando mojada solo la superficie del terreno, lo que nos lo haría muy chicleso y aparte de quedar seco en su parte interior nos haría el papel de un lubricante para el rodillo, en caso de usarse éste o el de un verdadero cementante en caso de usar pata de cabra, en experimentos realizados en el terreno del canal al tratar de compactar el material con pisón de mano y con humedad normal no lográbamos nada más que hacer vibrar la herramienta en forma tal que el peón la tenía que soltar y el terreno quedaba peor que antes; si agregábamos agua, entonces al pegar contra el suelo éste se ponía chicleso en tal forma que se pegaba al pisón y al levantarlo, si es que esto se lograba, al primer intento salía con varios kilos de tierra pegados a él, entonces el único medio de compactación sería el siguiente, que fue usado con resultados positivos en este tipo de suelos por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos y que es:

Se mide la humedad existente en el canal después de haber hecho la excavación y mediante un sistema de riego por aspersión se rocía agua en pequeña cantidad sobre el suelo y se pasa un rodillo de discos para ranurar el suelo y que de este modo el agua impregne las capas inferiores de suelo, después del rodillo de discos se pasa una pata de cabra y luego un rodillo liso. Se repite el método hasta obtener la compactación deseada.



## Inconvenientes.-

- 1).- La necesidad de un control de laboratorio sumamente riguroso.
- 2).- El precio del sistema de riego por aspersión
- 3).- El número tan grande de pasos a seguir.
- 4).- La inclinación de los taludes que haría difícil el paso de las herramientas.
- 5) El poco peso que se podría aplicar a las herramientas debido a que su ancho máximo sería el de la plantilla del canal.
- 6).- Los inconvenientes que tienen todos los canales de revestimiento de tierra.

Así vemos que el construir el revestimiento de tierra compactada aparte de caro, implicaría unos gastos de mantenimiento también altos y dadas las características de la región sería fácilmente atacable por los agentes erosivos como torrentes, escurrimientos y sobre todo vegetación.

## Revestimiento de Concreto Simple.-

Por supuesto que desde el punto de vista hidráulico y de conservación es la más cómoda de las soluciones, sin embargo para un suelo como el de esa región tenemos que hacer ciertas observaciones.

Si un revestimiento de tierra compactada tiene asentamientos cuando el suelo solo soporta su propio peso y el del agua con un revestimiento de concreto simple en donde habría una carga uniforme que es la del canal y una posible filtración, es de suponerse que habrá más asentamientos.

El revestimiento se podría aplicar de dos formas. Una sería sin compactar el canal aplicar directamente el vaciado de concreto simple, aquí seguramente al secarse el material durante el período en que el concreto despiden calor de fraguado y mientras no se prueba con agua el canal, el terreno sufriría una serie de contracciones que posiblemente podrían absorber el concreto, aunque es seguro que se tengan cuarteaduras, quizá no de importancia, sin embargo al comenzar a te-

ner agua el canal, lógicamente comenzarán las filtraciones que acarrearán una saturación o cuando menos un contenido de humedad mayor que el aceptable, que inmediatamente "hincharán" nuestro suelo y aparte, éste perderá casi toda su resistencia al deslizamiento provocando entonces, fracturas en el revestimiento que pondrían en peligro toda la obra.

Esto nos hace que el revestimiento de este tipo, o sea sin la debida preparación del terreno, sea una pérdida inútil de dinero y trabajo, pues las fallas que mencionamos, tarde o temprano tendrían que suceder.

#### Revestimiento de Concreto simple con compactación Previa.-

Podríamos intentar, sin embargo, revestir nuestro canal de concreto simple, preparando antes nuestro terreno por una compactación semejante a la que se haría si el revestimiento fuera de tierra compactada, aunque nuestro control de compactación no necesitaría ser tan riguroso.

Una vez compactado el suelo, tendríamos que prevenir el alto contenido de humedad que quedaría aprisionado entre suelo y canal. Para ésto habría que impermeabilizar la zona entre revestimiento y suelo, ésto se podría hacer utilizando cualquier tipo de emulsión catiónica y vaciando el revestimiento hasta que hubiera secado el impermeabilizante. Aparte de eso, necesitaríamos un sistema de drenaje muy bueno y una protección que evitara el alto contenido de humedad en las zonas cercanas al revestimiento.

Ya en los problemas en sí del revestimiento, tenemos que habría que haber un control muy riguroso de agregados, pues las arenas cercanas a la zona del canal tienen alto contenido de materia orgánica y de limos, lo que implicaría un lavado de éstas

Las gravas que tenemos a disposición son las que pudieran obtenerse de la trituración de las calizas.

El agua de la zona llega a tener en ocasiones, hasta un 20% de carbonatos en suspensión, así que habría que tener sumo cuidado en las dosificaciones de nuestro concreto y observar las propiedades que adquiriera

con un alto contenido de cal.

#### Recubrimiento de Mampostería.-

Si en el de concreto simple, sin preparación previa, existían muchas dificultades y la presencia casi segura de grietas, no obstante que se supone que el concreto simple nos formaría grandes piezas monolíticas; en la mampostería los asentamientos serían mucho mayores, el control de calidad mucho más difícil y los resultados posiblemente desastrosos, así que no aceptaremos este recubrimiento.

#### Otros tipos de soluciones.-

Mientras más rebuscada sea la solución, más difícil será su realización, sin embargo como las soluciones existen, las mencionaremos aunque sea brevemente.

#### Revestimiento de Concreto Armado.-

En este revestimiento haríamos que las tensiones provocadas por los asentamientos diferenciales fueran absorbidas por el fierro de armado, en las juntas de dilatación del canal que podrían quedar a cada 5 metros, pondríamos conectores de acero para absorber un posible desviajamiento del canal o el asentamiento de toda una sección.

De cualquier forma habría necesidad de una pequeña compactación del suelo.

#### Revestimiento de concreto simple, pero bajando la profundidad del canal.

Este método se basaría en que, por peso propio, el suelo que se encuentre en las capas inferiores se haya compactado más que el de las capas superiores. Sin embargo habría que tomar en cuenta la posible existencia de aguas subterráneas y la longitud que habría que aumentar al canal para obtener la misma área de riego. Esto, sin contar el mayor costo de excavación y la protección que habría de darle a los taludes para que no se erosionaran e e invadieran nuestro canal.

## CONCLUSION

Es conveniente un estudio económico bastante extenso para ver si efectivamente se justifica la inversión tan grande, puesto que cualquier tipo de solución que se le diera al problema sería bastante costoso.

De ser posible, también debería de buscarse una amortización que pagara cuando menos en parte el costo del canal.

Nosotros nos limitaremos a decir que desde el punto de vista de nuestro estudio, posiblemente la solución más adecuada sería la de construir el canal de concreto simple sobre una base compactada.

INDICE.-	Página
INTRODUCCION.....	1
GENERALIDADES:	
Estudio de la región.....	4
Localización del Canal.....	4
Geología de la Región.....	5
Estudio Hidrológico.....	6
Climatología.....	7
ANALISIS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
Muestra 1 Preparación.....	8
Porcentaje de Humedad.....	9
Muestra 2 Preparación.....	10
Porcentaje de Humedad.....	11
Análisis granulométrico sin lavado, Muestra No. 1.....	11
Análisis Granulométrico sin lavado, Muestra No. 2.....	13
Análisis Granulométrico con lavado, Muestra No. 1.....	15
Análisis Granulométrico con lavado, Muestra No. 2.....	16
Comprobación de la Escala del Hidrómetro.....	19
Corrección por Menisco.....	25
Corrección por Defluoculante.....	26
Determinación de la Densidad.....	27
Calibración del Matraz.....	28
Procedimiento para la Densidad.....	29
Densidad de la Muestra No. 1.....	31
Densidad de la Muestra No. 2.....	32
Prueba del Hidrómetro para diámetros menores que la Malla No. 200.....	33
CAPITULO II.-	
Prueba de Compactación Proctor.....	36
Contenido de Materia Orgánica.....	41
Determinación de los Límites de consistencia o de Atterberg.....	44
Preparación de la Muestra.....	45
Límite Líquido.....	45
Límite Plástico.....	47

Indice de Plasticidad.....	47
Pruebas Geológicas.....	48
Pruebas Paleontológicas.....	48
Prueba Petrográfica.....	49

#### ANALISIS QUIMICOS.-

Preparación de las Muestras.....	49
Obtención del Sílice.....	49
"    del Hierro.....	50
"    del Calcio.....	50
"    del Zinc.....	51
"    del Aluminio.....	52
"    del Magnesio.....	53
"    del Manganeso.....	53
Resumen de Resultados.....	54

#### TIPO DE MATERIAL ENCONTRADO.-

Antecedentes y propiedades de los Suelos Loessiales.....	57
Comparación de nuestro suelo con suelos Loessiales.....	58
Conclusión.....	61

#### PROYECTO DEL CANAL PARA EL TIPO DE SUELO ENCONTRADO.

Revestimiento del mismo suelo compactado.....	62
Procedimientos de construcción que habrían de seguirse.....	63
Estabilización y consolidación de los ta- ludes y plantilla por el método de la electrosmosis.....	64
Sinopsis Histórica de la electrosmosis.....	65
Principio fundamental.....	65
La electrosmosis en la estabilización de taludes.....	66
Consolidación por compactación Mecánica.....	68
Revestimiento de concreto simple.....	69
Revestimiento de concreto simple, con com- pactación previa.....	70
Recubrimiento de Mampostería.....	71
Revestimiento de concreto armado.....	71
Revestimiento de concreto simple, bajando la profundidad del canal.....	71
CONCLUSION.....	72

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- APUNTES DE LABORATORIO DE MATERIALES  
Ing. Carlos Santana L.
- 2.- MECANICA DE SUELOS EN LA INGENIERIA PRACTICA.  
Karl Terzaghi y Ralph B. Peck.
- 3.- STANDARD METHODS OF CHEMICAL ANALYSIS  
Scott.
- 4.- APUNTES DE MECANICA DE SUELOS- TESIS PROFESIONAL  
Luis Manríquez T.-Universidad de Guanajuato.
- 5.- SOIL CHEMICAL ANALYSIS  
Jackson.
- 6.- MECANICA DE SUELOS. INSTRUCTIVO PARA ENSAYE DE SUELOS. Secretaría de Recursos Hidráulicos.
- 7.- GEOGRAFIA DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSI  
Profs. Jesús R. Alderete y Vicente Rivera.
- 8.- SAN LUIS POTOSI Y SU TERRITORIO  
Octaviano Cabrera Ipiña.
- 9.- BOSQUEJO GEOLOGICO DE MEXICO.  
EXCURSIONES GEOLOGICAS  
José G. Aguilera.
- 10.- METODOS QUIMICOS PARA EL ANALISIS DE MINERALES  
Comisión de Fomento Minero, Boletín No. 7.
- 11.- DICCIONARIO DE GEOLOGIA Y CIENCIAS AFINES  
Editorial Labor.
- 12.- INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y DE LOS METODOS DE CONSTRUCCION EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS PRESAS DE TIERRA DE SECCION HOMOGENEA  
James L. Sherard - U.S. Bureau of Reclamation.
- 13.- GEOLOGY AND SOIL MANUAL 1962  
Missouri State Highway Commission.

- 14.- CIMENTACION Y TERRAPLEN DE LA PRESA SHERMAN  
SOBRE SUELO LOESSIAL  
Kenneth L. Powers M.ASCE
- 15.- ACTUACION DEL REVESTIMIENTO EN CANALES DE SUELO  
LOESS COMPACTO  
Chester N. Jones, M.ASCE y  
C. A. Lowitz  
U.S. Bureau of Reclamation.
- 16.- LA PRESA RED WILLOW Y ALGUNOS DE SUS PROBLEMAS  
DE CONSTRUCCION  
William J. Quinn.
- 17.- HIDRAULICA  
Samuel Trueba Coronel.
- 18.- ESTABILIZACION ELECTROSMOTICA DE LOS SUELOS  
TESIS PROFESIONAL  
José Antonio Nieto Ramírez,  
Universidad Nacional Autónoma de México.