



Universidad Autónoma de Sinaloa

Escuela de Ingeniería de Mazatlán

Licenciatura en Ingeniería Civil

Edición 2023

Laboratorio de Mecánica de Suelos



Edición 2023

I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION.....	1
PRACTICA No. I. METODOS DE SONDEO DE EXPLORACION.....	2
PRACTICA No. II. CONTENIDO DE AGUA.....	21
PRACTICA No. III. PESO VOLUMETRICO NATURAL.....	24
PRACTICA No. IV. DENSIDAD DE SOLIDOS.....	30
PRACTICA No. V. DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA.....	40
PRACTICA No. VI. DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG.....	52
PRACTICA No. VII. PRUEBAS CON PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE.....	67
PRACTICA No. VIII. CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL.....	80
PRACTICA No. IX. PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE.....	87
PRACTICA No. X. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.....	93

INTRODUCCION

Viendo la necesidad de contar con material de apoyo didáctico para prácticas de laboratorio, nació la idea de crear en este primer intento el "Instructivo de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos"; que habrá de ayudar tanto al maestro como al alumno en las actividades prácticas por realizar en esta materia.

Tanto el profesionista como el alumno se habrán de dar cuenta de la importancia que reviste el observar y comprender la Patología de los fenómenos naturales como suele ocurrir en la Mecánica de Suelos.

El presente instructivo comprende diez prácticas del laboratorio de Mecánica de Suelos, donde se hace mención al objetivo, procedimiento, equipo y posibles errores que pueden darse en el transcurso de cada una de ellas; y para su mayor comprensión y objetividad se anexan formatos de cálculo, gráficas e ilustraciones en cada una de estas prácticas.

El desarrollo de ellas habrá de permitir al alumno comprender y analizar la determinación de parámetros básicos, hasta la clasificación de un suelo determinado, así como deducir la capacidad de carga del mismo; dato de suma importancia que deberá de considerar el calculista de estructuras.

Tener un conocimiento de algunas características físicas del suelo es de gran importancia en el estudio de la Mecánica de Suelos, pues si damos una correcta interpretación de éstas; podremos llegar a determinar el futuro comportamiento de un terreno, bajo ciertas cargas ante los diferentes tipos de humedad que llegue a presentar éste.

Se agradece la colaboración a quienes hicieron posible la realización de este instructivo.

MÉTODOS DE SONDEO DE EXPLORACION.

El propósito de la investigación exploratoria es obtener una información exacta de las condiciones del suelo y de la roca en el lugar que se investiga. La profundidad, espesor, extensión y composición de cada uno de los estratos; la profundidad de la roca y la profundidad del agua subterránea, son los principales objetivos de la exploración; además se obtienen datos aproximados de la resistencia y compresibilidad de los estratos para hacer los estimados preliminares de la seguridad y de los asentamientos de la estructura.

Espaciamiento de los sondeos. Es imposible determinar el espaciamiento de los sondeos antes de comenzar la investigación porque el espaciamiento depende no solamente del tipo de estructura sino también de la uniformidad y regularidad del depósito de suelo. El espaciamiento debe ser menor en las áreas que serán sometidas a cargas pesadas y mayor en las áreas menos críticas.

Los espaciamientos que se dan en la siguiente tabla se usan a menudo en el planeamiento de los trabajos de sondeos.

ESPACIAMIENTO DE LOS SONDEOS

Estructura u obra	Espaciamiento, m.
Carretera (investigación de la subrasante)	300-600
Presa de tierra, diques	30-60
Excavación para préstamo	30-120
Edificio de varios pisos	15-30
Edificio industrial de un piso	30-90

Cuando las condiciones del suelo son regulares y uniformes, los espaciamientos arriba indicados se pueden duplicar y si son irregulares se reducen a la mitad.

Profundidad de los sondeos. Para obtener la información necesaria para poder predecir el asentamiento de una estructura, los sondeos deben penetrar todos los estratos que puedan consolidarse notablemente por efecto de las cargas. Para estructuras pesadas muy importantes, como grandes puentes y edificios muy altos, esto significa que los sondeos deben llegar hasta la roca; sin embargo, para estructuras pequeñas, la profundidad se puede estimar por características geológicas, por los resultados de investigaciones previas en la misma área y teniendo en cuenta la extensión y peso de la estructura.

Una regla adoptada por E. De Beer, del Instituto Geotécnico de Bélgica, especifica que los sondeos penetren hasta una profundidad en que $\Sigma\sigma = 0.1\sigma_0$.

La experiencia indica que los asentamientos perjudiciales son raros cuando el esfuerzo adicional en el suelo debido al peso de la estructura, $\Sigma\sigma$, es menor que el 10% del esfuerzo inicial en el suelo debido a su propio peso σ_0 .

En la siguiente tabla se dan las profundidades típicas para sondeos de exploración, basadas en la relación de esfuerzos.

Profundidades para sondeos de exploración

Ancho del edificio, m	Profundidad del sondeo, m					No. de pisos
	1	2	4	8	16	
30	3.5	6.0	10.0	16.0	24.0	
60	4.0	6.5	12.5	21.0	33.0	
120	4.0	7.0	13.5	25.0	41.0	

Una antigua regla establece que la profundidad de los sondeos debe ser igual a dos veces el ancho del edificio; sin embargo, es una profundidad exagerada para estructuras anchas de un solo piso, como son los modernos edificios industriales y demasiado somera para torres esbeltas.

Una regla más simple para estructuras como hospitales y edificios para oficinas, relaciona la profundidad aproximada de los sondeos, z_b , con el número de pisos, S.

Condición	Metros
Ligera de acero o estrecha de concreto	$z_b = 3S^{0.7}$
Pesada de acero o ancha de concreto	$z_b = 6S^{0.7}$

Para las presas y terraplenes la profundidad varía entre la mitad y el doble de la altura, de acuerdo con la resistencia, compresibilidad y permeabilidad de las cimentaciones. Los sondeos para excavaciones profundas deben extenderse de 1.5 a 5.0 metros por debajo del fondo de la excavación y más abajo si se encuentra arcilla blanda o arena suelta y limo.

TIPOS DE SONDEOS.

Métodos de exploración de caracter preliminar

- a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado.
- b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.
- c) Métodos de lavado.
- d) Método de penetración estándar.
- e) Método de penetración cónica.
- f) Perforaciones en boleos y gravas (con barretones, etc.)

Métodos de sondeo definitivo

- a) Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
- b) Métodos con tubo de pared delgada.
- c) Métodos rotatorios para roca.

Métodos geofísicos

- a) Gravimetría.
- b) Magnetometría.
- c) Sísmicos.
- d) Uphole y Crosshole.
- e) Eléctricos.
- f) Electromagnéticos.
- g) Registros de pozos.
- h) Radiometría.
- i) Percepción remota.

A continuación describiremos los métodos ya mencionados.

Sondeos exploratorios.

- a) Pozos a cielo abierto.

Equipo

1. Pico y pala.
2. Hachuela.
3. Bote de lamina, de 18 lts.
4. Cable de manila.
5. Costales o cajones.
6. Hoje de lamina o lona de 1.50 x 1.50 m.
7. Etiquetas.

Para empacar muestras inalteradas.

8. Cajón con tapa.
9. Aserrín o paja.
10. Estufa de gasolina.
11. Brochas.
12. Vendas de manta.

13. Charola con parafina y brea (una parte de brea y cuatro de parafina).

Muestras alteradas.

1. Se abren pozos de 1.00 m x 1.50 o 2.00 m. hasta una profundidad de unos 5.00 m o bien, hasta encontrar material no excavable con pico y pala, como tepetate, roca, etc.

2. En una de las paredes del pozo, se va habriendo una ranura vertical de sección uniforme, de 20 cm de ancho por 15 cm. de profundidad.

3. El material excavado se recibe totalmente, si el muestreo es integral, en un bote de lamina; en caso contrario, debe escogerse por separado el producto de cada una de las capas en que el material cambie.

Muestras inalteradas.

Las muestras inalteradas deben conservar las condiciones del suelo en su estado natural, por lo que su obtención, empaque y transporte, requieren cuidados especiales a fin de no alterarlas.

Procedimiento (Suelo cohesivo duro).

1. Se limpia y nivela el terreno y se traza un cuadro de unos 30 cm de lado.

2. Se excava cuidadosamente alrededor del perímetro marcado hasta una profundidad un poco mayor que la altura que se quiere dar a la muestra, labrando al mismo tiempo las cinco caras descubiertas.

3. Para obtener la muestra de una pared, se excava alrededor en forma semejante a la anterior, conservando la cara inferior.

4. Con todo cuidado se recorta el terreno por la base de la muestra, para poder desprenderla. Debe marcarse con la letra S la cara superior, a fin de darle, cuando se ensaye, similar posición a la que tenía en el terreno.

5. Una vez extraída la muestra, debe ser inmediata y cuidadosamente protegida con vendas de manta impregnadas de parafina y brea, de ser posible esa protección deberá iniciarse in situ al ir descubriendo cada cara, para lo cual:

Se calienta la mezcla de parafina y brea hasta que se derrita completamente, y en caliente, con una brocha se extiende la mezcla sobre el vendaje de manta impregnándolo de manera que cubra perfectamente la muestra.

6. Se coloca la muestra en un cajón de mayores dimensiones a fin de poderla empacar con aserrín, papel o paja de manera que la muestra quede protegida contra golpes o choques durante su transporte.

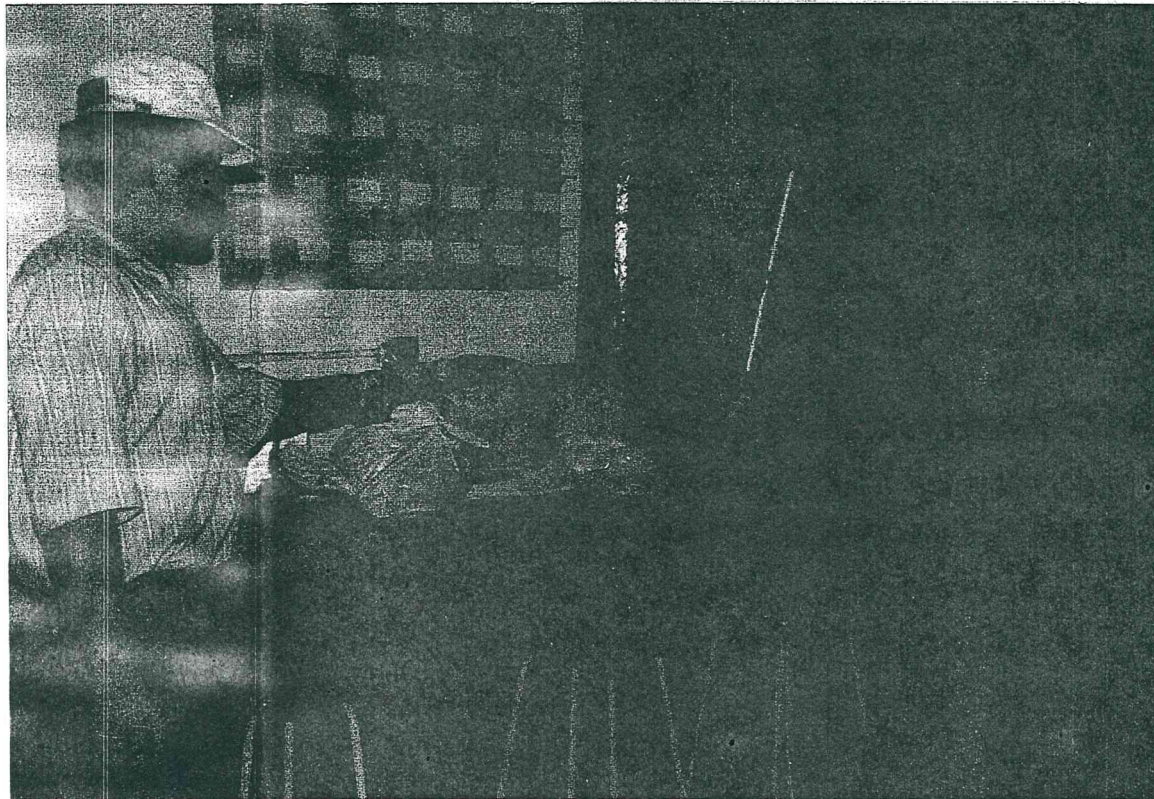
7. Una de las tarjetas de identificación se adhiere a la muestra, pegándola con la misma mezcla de parafina y brea, y se coloca la otra en la parte exterior del cajón utilizado como envase.

8. Todo pozo de prueba, sondeo o cualquier excavación debe ser registrado y referido de modo que permita su localización; también debe anotarse la profundidad, clase del material que se encuentre y todas las observaciones que se consideren pertinentes. Estos datos se vacían en un registro de campo.

Cada muestra debe llevar dos tarjetas de identificación, una sujeta al exterior del envase y otra en su interior, con los siguientes datos claramente escritos:

- Nombre y ubicación de la obra.
- Número y coordenadas del pozo o sondeo.
- Profundidad a que fue tomada la muestra.

En esta exposición se muestra el pozo a cielo abierto de 1.0 por 1.50 o 2.00 m. hasta profundidades de unos 5.00 m. y la forma de extraer la muestra en el lugar. Así como también se señala la muestra inalterada ya preparada.



b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.

Se considera que para este tipo de sondeos exploratorios la muestra de suelo es completamente alterada. Los barrenos helicoidales estos pueden ser de muy diferentes tipos no sólo dependiendo del suelo por atacar sino también de acuerdo a cada perforista. Aquí tenemos que es importante el paso de la hélice que debe ser muy cerrado para suelos arenosos y mucho más abierto para el muestreo en suelos plásticos.

Es muy común el uso de las posteadoras, a las que se hace penetrar en el terreno ejerciendo un giro sobre el maneral adaptado al extremo superior de la tubería de perforación.

En arenas colocadas bajo el nivel de aguas freáticas estas herramientas no suelen poder extraer muestras y en esos casos es preferible recurrir al uso de cucharas especiales, de las que también hay gran variedad de tipos. Las muestras de cuchara son generalmente más alteradas todavía que las obtenidas con barrenos helicoidales y posteadoras; la razón es el efecto del agua que entra en la cuchara junto con el suelo, formando en el interior una pseudosuspensión parcial del mismo.

Un inconveniente serio de la perforación con barrenos se tiene cuando la secuencia estratigráfica del suelo es tal que a un estrato firme sigue uno blando. En estos casos es muy frecuente que se pierda la frontera entre ambos o aun la misma presencia del blando.

c) Método de lavado.

La obtención de las muestras en este método son bastante alteradas de tal forma que prácticamente no deben ser consideradas como suficientemente representativas para realizar ninguna prueba de laboratorio.

El equipo necesario para realizar la perforación incluye un trípode con polea y martinete suspendido, de 80 a 150 kg de peso, cuya función es hincar en el suelo a golpes el ademe necesario para la operación. En el extremo inferior de la tubería de inyección debe ir un trépano de acero, perforado, para permitir el paso del agua a presión. El agua se impulsa dentro de la tubería por medio de una bomba.

La operación consiste en inyectar agua en la perforación, una vez hincado el ademe, la cual forma una suspensión con el suelo en el fondo del pozo y sale al exterior a través del espacio comprendido entre el ademe y la tubería de inyección; una vez fuera es recogida en un recipiente en el cual se puede analizar el sedimento. El procedimiento debe ir complementado en todos los casos por un muestreo con una cuchara sacamuestras apropiada, colocada al extremo de la tubería en lugar del trépano; mientras las características del suelo no cambien será suficiente obtener una muestra cada 1.50 m aproximadamente, pero al notar un cambio en el agua eyectada debe procederse de inmediato a un nuevo muestreo.

Método de penetración estándar.

La prueba de penetración estándar, es el método más ampliamente usado para las exploraciones de suelos. La perforación se hace con barrena, inyección de agua o sondeo rotatorio usando un taladro giratorio de alta velocidad y circulando agua para extraer los detritos, de la misma manera que en el sondeo por inyección de agua.

El muestreador, llamado también tomamuestras partido, es un tubo de acero de paredes gruesas partido longitudinalmente.

El extremo inferior está unido a un anillo cortante y el superior a una válvula y pieza de conexión a la barra de sondeo.

Se hace el agujero hasta que se observe un cambio en el suelo, se sacan las herramientas de perforar y se introduce el tomamuestras hasta el fondo del agujero uniéndolo a las barras para el sondeo. Primero se hinca el muestreador 15 cm en el suelo para asegurarse que la zapata de corte se asienta en material virgen.

Después se hinca 30 cm en incremento de 15 cm a golpes de un martillo que pesa 64 kg (140 lb) y cae de una altura de 76 cm (30 plg). Se anota el número de golpes que se necesita para hincar el tomamuestras cada uno de los 15 cm. La resistencia a penetración estándar, N , del suelo es la suma de los golpes para los incrementos segundo y tercero.

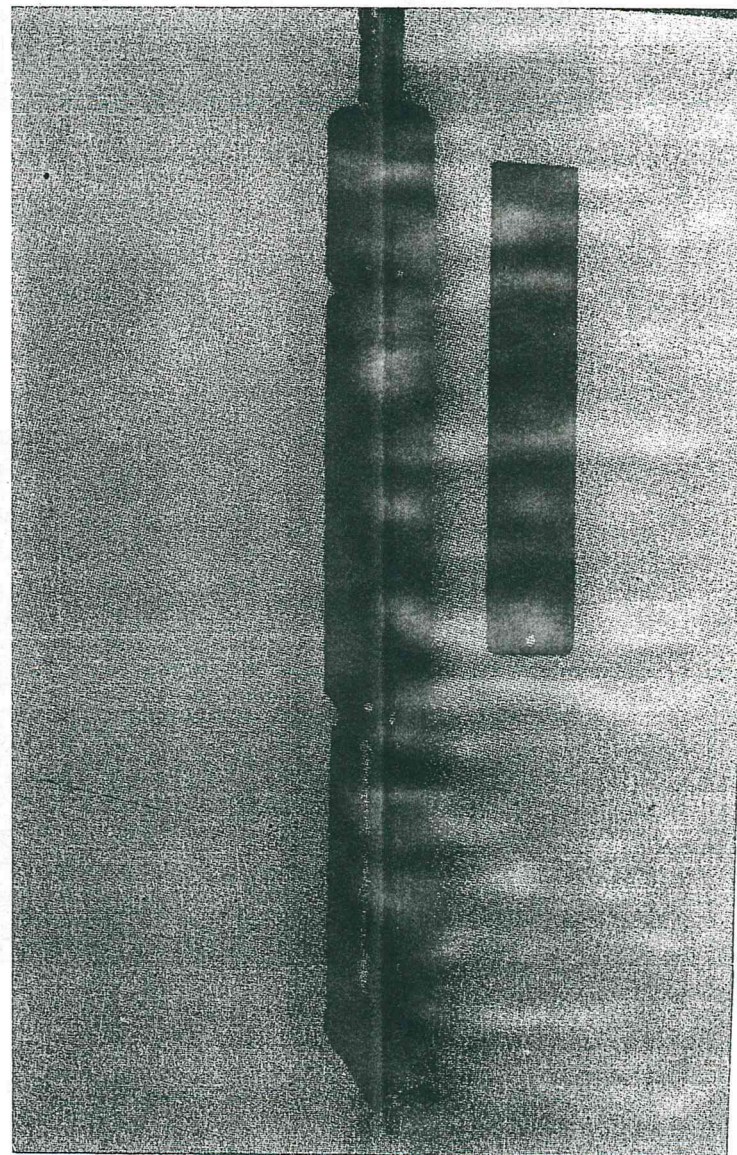
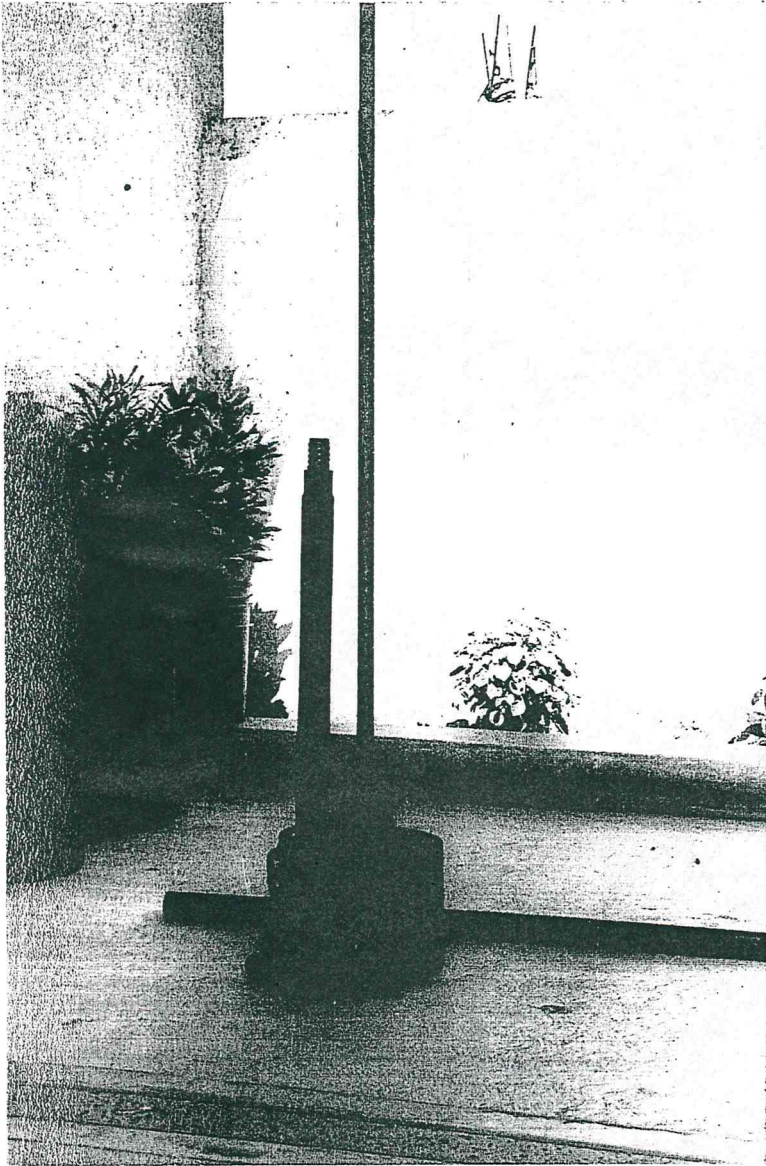
La muestra se examina y clasifica por el técnico de campo encargado del sondeo y después se introduce a un depósito de vidrio o plástico, que se sella y se envía a laboratorio.

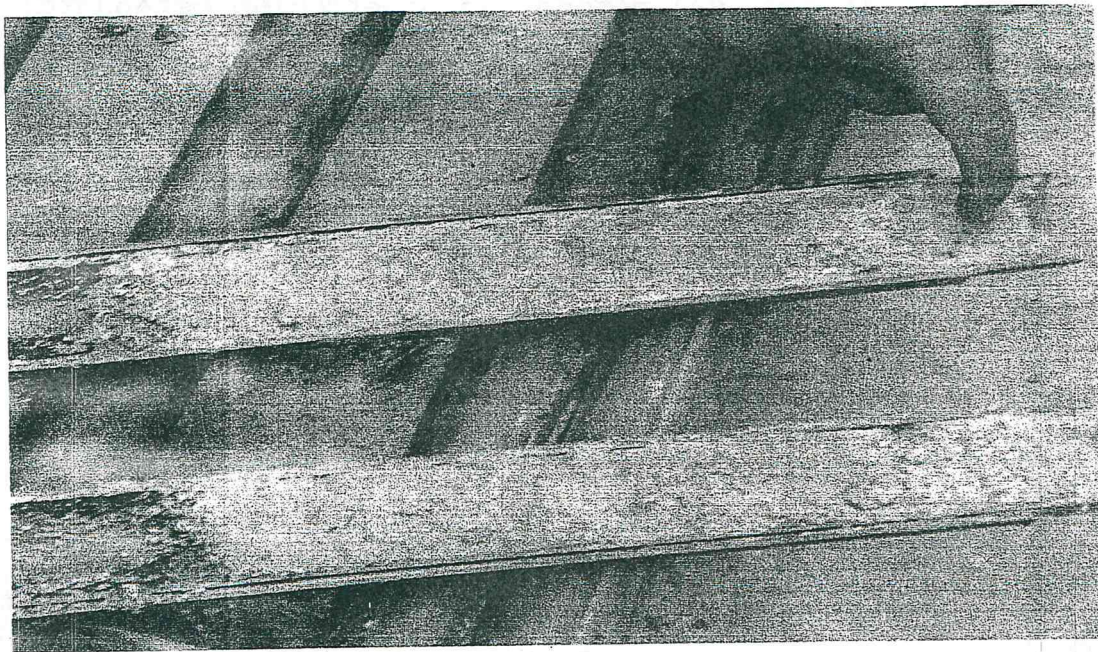
Las muestras buenas se pueden usar para pruebas a compresión sin confinar, pero no tienen suficiente calidad para pruebas triaxiales.

La resistencia a la penetración es una indicación de la compacidad de los suelos no cohesivos y de la resistencia de los cohesivos, pues es en efecto, un ensayo dinámico a esfuerzo constante in situ.

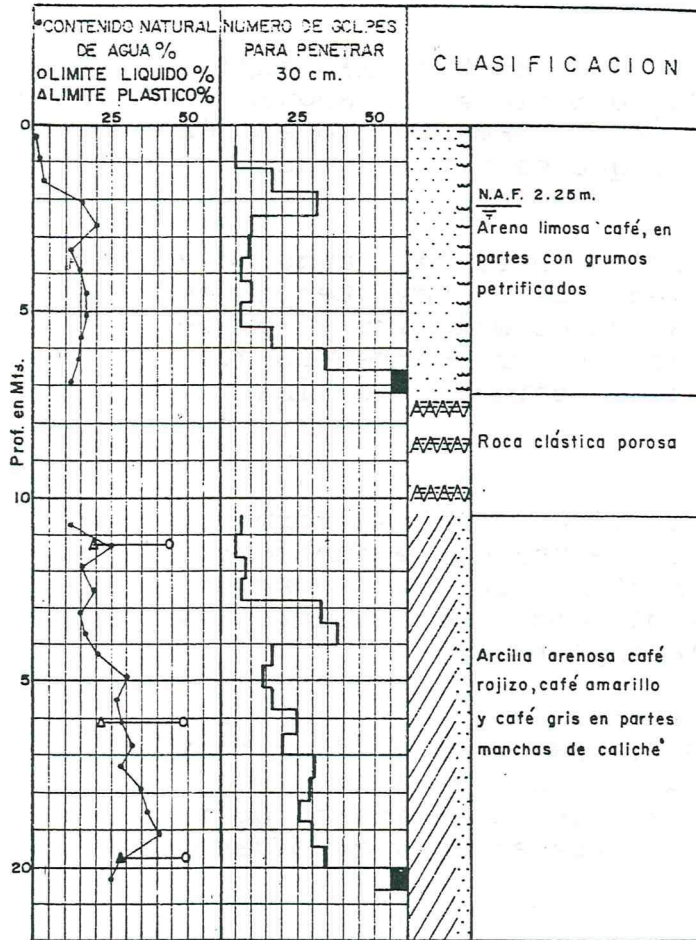
La prueba de penetración estándar es el método más ampliamente usado para obtener datos con respecto a la profundidad, espesor y composición de los estratos del suelo y una información aproximada de la resistencia de los suelos.

Equipo necesario que nos permite conocer la compacidad de los mantos, tal es el caso del método de penetración estándar; en suelos plásticos la prueba nos permite adquirir una idea de la resistencia a la compresión simple. A continuación en otro equipo se aprecia el detalle del cono en su posición cerrada.





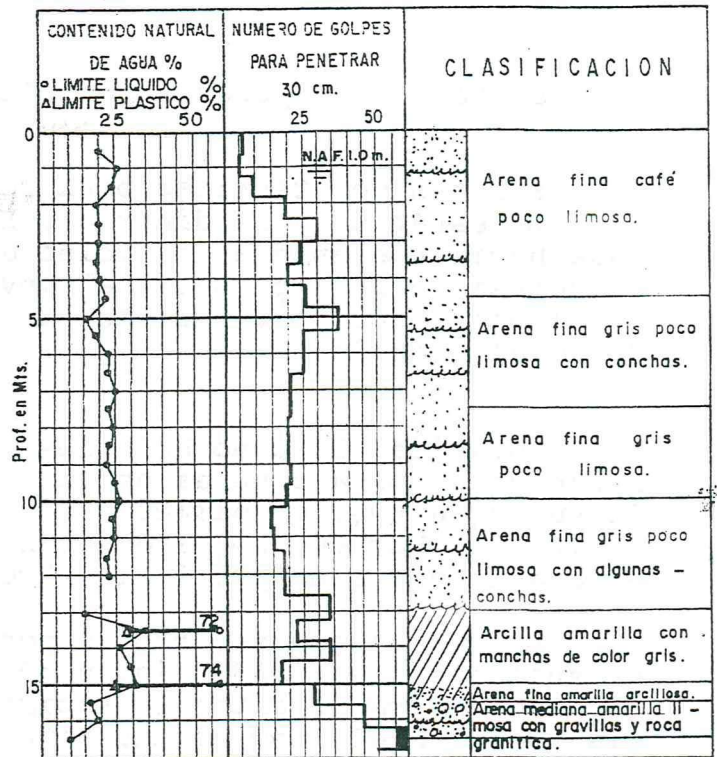
Obteniendo muestras de un suelo, con el equipo de penetración estándar.



NOTA: PESO DEL MARTILLO: 64 Kg.
ALTURA DE CAIDA: 75 cm.

SIGNOS CONVENCIONALES

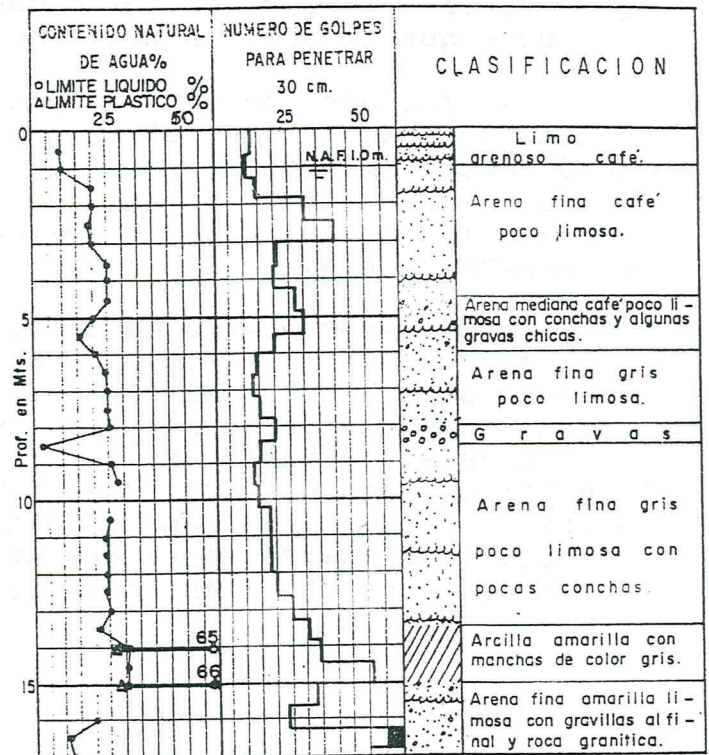
- LIMO
- ARCILLA
- ARENA
- ROCA CLASTICA
- MAS DE 60 GOLPES



NOTA: PESO DEL MARTILLO: 64 Kg.
ALTURA DE CAIDA: 75 cm.

SIGNOS CONVENCIONALES

- RELLENO
- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA
- SUELO VEGETAL
- BOLEOS
- MAS DE 60 GOLPES



NOTA: PESO DEL MARTILLO: 64 Kg.
ALTURA DE CAIDA: 75 cm.

SIGNOS CONVENCIONALES

- RELLENO
- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA
- SUELO VEGETAL
- BOLEOS
- MAS DE 60 GOLPES

e) Método de penetración cónica.

Existen dos técnicas para realizar pruebas de penetración:

La estática y la dinámica. En la estática, la punta es forzada hacia adelante a una velocidad regulada y se mide la fuerza necesaria para producir el movimiento. En la dinámica se hinca el penetrómetro una distancia especificada a golpes de maza de igual energía.

Estática. El cono Holandés, es el penetrómetro más ampliamente usado para pruebas estáticas. El cono tiene un ángulo en la punta de $60\frac{1}{2}$, un diámetro de 3.6 cm y un área en proyección de 10 cm^2 . Hay en uso diferentes formas que se diferencian en el ángulo del cono y del diámetro.

La fuerza que desarrolla por fricción entre el manguito y el suelo se puede medir independientemente de la resistencia en el cono. La razón entre la resistencia en el manguito y la resistencia en el cono es más alta en los suelos coherentes que en los no coherentes. Esta razón se puede usar para estimar el tipo de suelo.

Dinámico. El ensayo dinámico se utiliza en muchas formas.

El ensayo normal de penetración tiene una doble función:

Ensayo de penetración y toma de muestras, lo cual permite conocer los cambios del suelo por dos métodos independientes; es por esto que tiene gran utilidad en la exploración.

Tenemos que una punta cónica o esférica no recuperable de 3.6 cm de diámetro se coloca en una barra para sondeo de 2.5 cm de diámetro exterior y se hinca con una maza de 64 kg cayendo de 76 cm de altura. El número de golpes que se necesita para hincar el cono 30 cm, es comparable a la resistencia estándar, de penetración N.

En el penetrómetro de cono, portátil se emplea una maza de 7 kg que cae de 50 cm de altura. El número de golpes que se requieren para hincar el tomamuestras de 4.4 cm de diámetro es aproximadamente la resistencia estándar de penetración, N.

A veces se han usado en arenas penetrómetros cónicos ayudados por presión de agua, cuya función es suspender las arenas sobre el nivel de la penetración, para evitar el efecto de la sobrecarga actuante sobre ese nivel, que de otra manera, dificultaría la penetración del cono.

f) Perforaciones con boleos y gravas.

En muchos de los casos es necesario atravesar durante las perforaciones estratos de boleos o gravas que presentan dificultades para ser perforados con la herramienta hasta aquí descrita. Por lo que es necesario el empleo de harramental más pesado del tipo de barretones con taladro de acero duro, que se suspenden y dejan caer sobre el estrato en cuestión, manejandolo con cables. En muchos casos se recurre al uso de explosivos para romper la resistencia de un obstáculo que aparezca en el sondeo.

En los explosivos es prudente determinar la cantidad de dinamita por utilizar, por lo que se requiere su cálculo para evitar riesgos posteriores.

Métodos de sondeo definitivo.

Aquí se consideran los métodos de muestreo que tienen por objeto rendir muestras inalteradas en suelos, apropiadas para pruebas de compresibilidad y resistencia y muestras de roca, que no pueden obtenerse por los métodos ya mencionados.

a) Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado. Este método anteriormente ya se describió por lo que omitiremos mayor detalle del mismo.

b) Muestreo con tubos de pared delgada.

El muestreador para profundidades, más simple y ampliamente usado, es el de pared delgada o tubo Shelby. Esta es de tubería de acero estirado en frío (algunas veces llamada tubería Shelby), de 2 a 5 pulgadas (5.08 a 12.70 cm) de diámetro, con paredes de 1/20 de pulgada (1.27 mm) de espesor para los tubos de 2 pulgadas (5.08 cm) y de 1/8 de pulgada (3.17 mm) para los tubos de 5 pulgadas (12.70 cm). El extremo inferior está biselado para formar la arista cortante y puede estar inclinado hacia dentro para reducir el rozamiento con las paredes. La parte superior está unida a una válvula de retención que ayuda a mantener la muestra en el tubo cuando se está extrayendo del terreno.

El muestreador se introduce hasta el fondo del agujero de sondeo y se fuerza en el suelo para que penetre una distancia no mayor de 15 diámetros, para reducir al mínimo el rozamiento entre la muestra y las paredes del tubo. La muestra se sella en el propio tubo con cera fundida y así se envía al laboratorio.

El muestreador de pared delgada reduce al mínimo las causas más serias de alteración de las muestras: el desplazamiento y el rozamiento.

Muestreador de pistón. La distorsión causada por el rozamiento también puede ser seria; pero si se reduce demasiado el rozamiento por la inclinación del borde y por la limitación de la longitud de la muestra, ésta se saldrá del tubo cuando se esté sacando del terreno.

Estas dificultades se pueden reducir colocando un pistón en el muestreador de pared delgada. Al empezar a tomar la muestra, el pistón está en el fondo del tubo y en contacto con la superficie del suelo. El pistón se fija en esta posición por la varilla que lo mueve, que se extiende hasta la superficie del terreno y que se asegura a un soporte rígido.

El tubo muestreador se introduce, adelantándose al pistón en el suelo que está debajo. El pistón que está fijo, impide que el suelo ejerza presión hacia arriba. Si la muestra tiende a salirse del tubo se crea un vacío entre el pistón y la muestra que ayuda a sostenerla.

Se usa una gran variedad de muestreadores de pistón. El pistón libre se fija al extremo inferior del tubo cuando se baja el tomamuestras en el agujero; esto evita que el material suelto obstruya el tubo. Cuando se comienza a tomar la muestra se suelta el pistón y queda como flotando en el tubo sobre el suelo. Cuando se está extrayendo el tubo se vuelve a fijar el pistón y esto ayuda a mantener la muestra en su lugar; sin embargo, no impide el agrietamiento del suelo durante la toma de la muestra.

c) Métodos rotatorios para roca.

Cuando un sondeo alcanza una capa de roca más o menos firme o cuando en el curso de la perforación las herramientas hasta aquí descritas tropiezan con un bloque grande de naturaleza rocosa, no es posible lograr penetración con los métodos estudiados y ha de recurrirse a un método diferente.

Para este caso se hace indispensable recurrir al empleo de máquinas perforadoras a rotación, con broca de diamantes o del tipo cáliz.

En las primeras, en el extremo de la tubería de perforación va colocado un muestreador especial llamado de corazón, en cuyo extremo inferior se acopla una broca de acero duro con incrustaciones de diamante industrial, que facilitan la perforación.

En las segundas, los muestreadores son de acero duro y la penetración se facilita por medio de municiones de acero que se echan a través de la tubería hueca hasta la perforación y que actúan como abrasivo. Perforadoras tipo cáliz se han construido con diámetros muy grandes, hasta para hacer perforaciones de 3m; en estos casos la máquina penetra en el suelo con la misma broca.

La colocación de los diamantes en las brocas depende del tipo de roca a atacar. En rocas duras es recomendable usar brocas con diamante tanto en la corona como en el interior para reducir el diámetro de la muestra, y en el exterior para agrandar la perforación y permitir el paso del del muestreador con facilidad. En rocas medianamente duras suele resultar suficiente emplear brocas con inserciones de carburo de tungsteno en la corona. En rocas suaves, del tipo de lutitas, pizarras, etc; basta usar brocas de acero duro en diente de sierra.

Las velocidades de rotación son variables, de acuerdo con el tipo de roca a atacar. En todos los casos, a causa del calor desarrollado por las grandes fricciones producidas por la operación de muestreo, se hace indispensable inyectar agua fría de modo continuo, por medio de una bomba situada en la superficie.

También se hace necesario ejercer presión vertical sobre la broca, a fin de facilitar su penetración.

Una vez que el muestreador ha penetrado toda su carrera es preciso desprender la muestra de roca (corazón), que ha sido penetrado en su interior, de la roca matriz.

El equipo de perforación rotatorio trabaja usualmente en cuatro diámetros y en la siguiente tabla aparecen sus dimensiones usuales y sus nombres típicos.

Broca	Diámetro exterior del ademe		Diámetro exterior de la broca			D.int. (broca)	
	mm	plg	mm	plg		mm	plg
-							
Ex	46	1 13/16	37.5	1 15/32	20.5	27/32	
Ax	57	2 1/4	47.5	1 7/8	20.5	13/16	
Bx	73	2 7/8	51.5	2 11/32	42.5	21/32	
Nx	89	3 1/2	75.5	2 61/64	55	2 5/32	

Métodos geofísicos.

Los métodos geofísicos son las técnicas utilizadas para la exploración y definición de estructuras geológicas y cuerpos, en términos de propiedades físicas: velocidad de propagación de las ondas sísmicas, parámetros sismoelásticos, resistividad eléctrica, cargabilidad eléctrica, densidad, susceptibilidad magnética, radiactividad, etc.

a) Gravimetría.

Es la determinación de cuerpos que producen efectos gravitacionales de atracción por existir discrepancia entre la densidad de ellos y el medio que los rodea. Las medidas de gravedad se efectúan con gravímetro que proporciona la diferencia de gravedad entre el punto de observación y un punto base de gravedad absoluta conocida. La ley de la Atracción Universal de Newton es la que sustenta la formulación teórica del método.

El método gravimétrico es empleado como de reconocimiento en tareas de exploración. Aplicaciones a la Ingeniería Civil son escasas; se ha usado en Hidrología para la solución de algún problema geológico-estructural y en la búsqueda de cavidades naturales y obras mineras.

b) Magnetometría.

Es un método similar al gravimétrico, con la salvedad de que no sólo se puede estudiar el campo vertical, sino las otras componentes o la intensidad total, y la propiedad física estudiada es la susceptibilidad magnética, las medidas de campo magnético se pueden efectuar con magnetómetros de respuesta casi inmediata montados en vehículos en movimiento.

El método magnetométrico es usado en trabajos de reconocimiento en tareas de exploración petrolera y de localización de yacimientos de hierro y uranio en exploración minera.

Para el caso de Geotecnia se podría utilizar en la ubicación de cuerpos con alto contenido de minerales ferromagnéticos localizados en el trazo de alguna vía de comunicación o en la localización de tuberías de acero cubiertas de material.

Al igual que el gravimétrico, el método adolece del defecto de que la fuente del campo estudiado es producida por el cuerpo o cuerpos de interés.

c) Sísmicos.

Este método es de los más empleados tanto en geotecnia como en exploración. Al igual que los otros se basa en una característica específica del medio; en este caso son las propiedades elásticas de los materiales, a partir de perturbaciones naturales (sismos) o creadas artificialmente en la superficie del terreno. Las propiedades elásticas estudiadas a partir de sismos se emplean en la investigación de la tierra como un globo y en el estudio sobre fenómenos de movimientos naturales del terreno, importantes para el emplazamiento de obras civiles relevantes.

Para el caso de que la fuente de ondas simoelásticas sea artificial, ésta se puede originar de diferentes formas: caída de pesos, explosivos, vibradores, etc., generalmente emplazados en la superficie o a muy poca profundidad y en agujeros de diámetro pequeño (barrenos). La energía generada se propaga por el subsuelo y en el aire, y es recibida por sismodetectores o geófonos que transforman la vibración mecánica en señales eléctricas que son amplificadas, filtradas y registradas en los sismógrafos.

Las ondas normalmente estudiadas son las ondas longitudinales P, las ondas transversales S, y las ondas superficiales Love y Rayleigh. Un problema difícil de distinguir en un sismograma, es la llegada de las distintas ondas en función del tiempo y de las características en amplitud y frecuencia.

d) Uphole y Crosshole.

La técnica Uphole, consiste en situar en el interior de un barreno una serie de geófonos para registrar las ondas generadas por una fuente energía ubicada en la superficie del terreno junto a la perforación. Este método sirve para detallar la información obtenida con refracción y para definir la velocidad de las ondas en materiales de baja velocidad no definidas por el método de reafacción.

El método Crosshole, proporciona los mejores datos porque la fuente y la ubicación del geófono están en el mismo medio.

El problema para la ejecución consiste en no dañar la perforación si se desea registrar varios horizontes. Estas técnicas son útiles para incrementar la confiabilidad de la información en áreas de geología compleja.

e) Eléctricos.

Los métodos eléctricos de prospección, también denominados geoelectrónicos estudian la distribución en el subsuelo, de alguna propiedad electromagnética. Existen ciertas propiedades electromagnéticas principales que podrían utilizarse para identificar los cuerpos en el subsuelo; estas propiedades son la de permeabilidad magnética, la permitividad y la resistividad.

Entre estas propiedades la más aprovechada es la de distribución de la resistividad en el subsuelo.

La resistividad es la dificultad que encuentra una corriente eléctrica a su paso en un material determinado; igualmente se puede considerar la facilidad de paso de la corriente eléctrica llamada también conductividad.

La conductividad y la resistividad de un material dependen de los siguiente factores:

Porosidad del material
Distribución de la porosidad
Volumen de agua contenido en el material
Conductividad del agua
Compactación del material

Los métodos eléctricos se han utilizado con éxito en la mayoría de problemas geotécnicos en las etapas de planeación, construcción y conservación de obras civiles.

f) Electromagnéticos.

Son técnicas esencialmente utilizadas en exploración de yacimientos mineros, aunque últimamente hay ejemplos de su utilización en problemas geotécnicos.

El perfilaje electromagnético es útil para la determinación de rocas con alto contenido masivo de minerales conductores y detección de fallas, y el de polarización inducida para detectar cuerpos con mineral conductor diseminado y materiales arcillosos. Los sondeos electromagnéticos son de reciente desarrollo y se pueden clasificar en el dominio del tiempo y de la frecuencia. En el dominio del tiempo los campos inducidos en el terreno son construidos mediante una bobina en la que circula una corriente variable en forma de pulsos; la medición de los campos se hace cuando la corriente circulante se anula. Los sondeos en el dominio de la frecuencia se basan en inducir campos electromagnéticos en el subsuelo a través de una bobina de fuente en la que circula una corriente sinusoidal.

En la modalidad de sondeo geométrico la frecuencia de trabajo permanece fija y la distancia entre transmisor y receptor se va incrementando continuamente para controlar la profundidad de investigación. Para el caso de sondeo paramétrico la distancia entre transmisor y receptor permanece constante y se hace variar la frecuencia como controlador de la profundidad de investigación. Es este caso el que ofrece mejores posibilidades prácticas y teóricas.

g) Registros de pozos.

Los registros geofísicos de pozo hoy en día, son las herramientas más eficaces para valorar las propiedades físicas de las rocas. Registro geofísico de pozo es la representación gráfica o digital de una propiedad física contra la profundidad.

A diferencia de los otros métodos geofísicos que operan en o sobre la superficie del terreno, los registros se efectúan en el interior de agujeros de hasta un metro de diámetro. Dada la gran información que brindan, son técnicas invaluable para la exploración directa, y la perforación y terminación de pozos de explotación. Existe una gran variedad de registros comerciales,

eléctricos: resistencia, normal, lateral, eléctrico enfocado, doble eléctrico, microeléctrico enfocado, microesférico enfocado, potencial natural etc. La información que proporcionan los registros es múltiple, como es porosidad, saturación, densidad, indicio de la litología y de la permeabilidad, e información para la perforación, cementación y terminación de pozos de producción.

h) Radiometría.

Es una técnica comúnmente empleada en la exploración de yacimientos de Uranio. Consiste en detectar en un Escintilómetro o Espectómetro las emisiones de radiación gamma del núcleo de átomos radiactivos localizados a poca profundidad. Este método se puede usar para mapeo geológico en áreas cubiertas de vegetación porque la mayoría de las rocas tiene un nivel de base de radiación gamma.

i) Percepción Remota.

El principio de la Percepción Remota toma en cuenta que todos los objetos emiten o reflejan energía electromagnética, la cual puede ser detectada mediante dispositivos diseñados de acuerdo a la longitud de onda que se emita o refleje.

Los detectores se ubican en aviones o satélites; tienen como objetivo almacenar la información obtenida, la cual a su vez es verificada en tierra en algunos puntos de control.

Una vez registrada la información en imágenes es procesada para llevar a cabo una interpretación acorde a las necesidades de nuestra aplicación.

En exploración se utiliza para la localización de manifestaciones geotérmicas superficiales, determinación de rasgos geomorfológicos, tectónicos y localización de depósitos minerales.

La Percepción Remota se podría considerar como una técnica de la planeación óptima de una investigación del suelo y subsuelo.

CONTENIDO DE AGUA

Se define como contenido de agua del suelo a la relación entre el peso del agua contenida en una muestra de él y el peso de los sólidos del suelo de la misma. Este último peso se obtiene al secar el espécimen a 100 C durante 24 horas.

En la masa del suelo se pueden presentar diferentes calidades o estados de agua, no toda el agua en el interior del material se comporta de la misma forma y pueden señalarse:

1. Agua higroscópica o superficial. Se define como la que pierde el suelo cuando se ha secado a la temperatura ambiente.

2. Agua capilar. Es la detenida en el suelo por fenómenos capilares y está sujeta a presiones negativas.

3. Agua gravitacional. Es la que se comporta de la misma forma que el agua en los ríos, lagos y mares, y está sujeta a presiones positivas, generalmente debido a su propio peso o de esa magnitud.

4. Agua adsorbida o sólida. Es la que se acomoda en el entorno de las partículas minerales formando una capa alrededor de las moléculas del suelo; está sujeta a presiones que aumentan a medida que se llega al lindero de las moléculas del sólido.

Este parámetro permite prever el posible comportamiento mecánico del suelo en forma cualitativa; es decir estimar aproximadamente la resistencia al corte y la deformabilidad del material.

EQUIPO.

- A) Vidrio de reloj o refractario
- B) Balanza de precisión con error de 0.1 gramos
- C) Horno de secado a temperatura constante a 110 C
- D) Pinzas, guantes, espátula

PROCEDIMIENTO

1. Se coloca la muestra del suelo en una cápsula y se pesa, peso de cápsula + suelo húmedo.

2. Se seca la muestra en el horno durante 24 horas a 100 C.

3. Se pesa la muestra seca (peso de cápsula + suelo seco).

4. La diferencia entre el peso de cápsula + suelo húmedo menos el peso cápsula + suelo seco, dará el peso del agua que originalmente tenía el material.

5. Al peso de la cápsula + suelo seco se le resta el peso de la cápsula y se obtiene el peso del suelo seco.

6. Se divide el peso del agua entre el peso seco y se obtiene el contenido del agua.

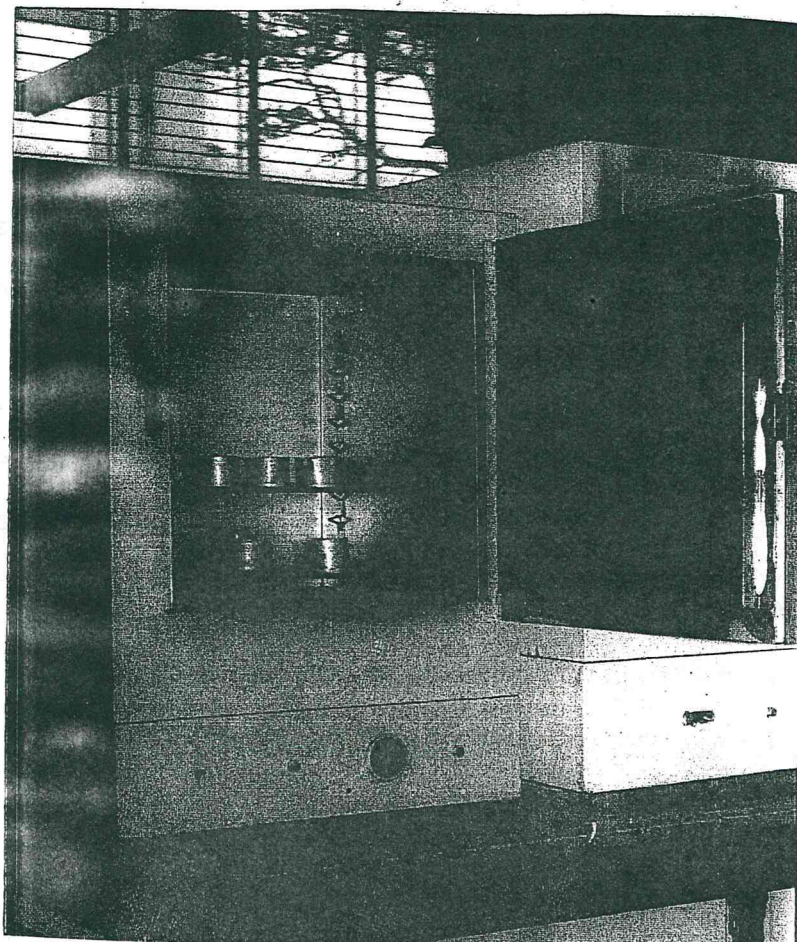
$$W_C + W_S = W_{CS}$$

$$W_H - W_S = W_W$$

$$W_S = W_{CS} - W_C$$

$$W_{\%} = W_W / W_S * 100$$

En la práctica No.2, que es el contenido de agua o porcentaje de humedad; se determina el peso de la muestra en su estado natural y seco así como también es de importancia la temperatura a la que será sometida en el horno.



ESCUELA DE INGENIERÍA DE MAZATLÁN
Laboratorio de mecánica de suelos

U.A.S

CONTENIDO DE AGUA

Obra _____ Muestra _____ Localización _____ Profundidad _____ Sondeo N. _____

ENSAYE NUMERO	CAPSULA NUMERO	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (W %)

Observaciones: _____

 Fecha: _____

PESO VOLUMETRICO NATURAL

INTRODUCCION.

La determinación del peso volumétrico seco en muestras inalteradas, se puede realizar únicamente en suelos finos y plásticos de los que puedan labrarse especímenes. Deberá efectuarse en todas aquellas muestras inalteradas que vayan a ser ensayadas en el laboratorio. Podrá aplicarse también para conocer el peso volumétrico o grado de compactación alcanzado en una terracería ya construida o en un terreno de cimentación. Para su determinación debe considerarse lo siguiente:

Equipo y material necesario.

- a) Parafina.
- b) Hilo delgado.
- c) Un cuchillo para labrar el espécimen.
- d) Una balanza de (200) gramos de capacidad, de triple escala, con aproximación de un centésimo(0.01) de gramo.
- e) Un vaso de cristal de cuatrocientos(400) centímetros cúbicos.

Procedimiento de prueba.

1. Se labrará un espécimen de la muestra inalterada de forma sensiblemente cúbica, de cinco(5) centímetros de lado y se registrará inmediatamente su peso húmedo, en gramos(W_m).
2. Se cubrirá con una capa delgada de parafina líquida, se dejará enfriar y se registrará el peso, en gramos, del espécimen cubierto con la parafina (W_{m+p}).
3. Se sujetará el hilo en la muestra, dejando un extremo libre para suspenderla de la balanza.
4. Deberá colocarse el vaso con la cantidad necesaria del agua en el aditamento especial que tiene la balanza para este objeto y se sumergirá completamente el espécimen que está suspendido de la balanza sin que toque el fondo o las paredes del vaso.
5. Se registrará el peso en gramos de la muestra en estas condiciones(W'_{m+p}).

De lo anterior obtenemos la siguiente información:

$$\begin{aligned} W_m &= \text{Peso de la muestra} \\ W_m &= \text{Peso de la muestra + parafina} \\ W'_{m+p} &= \text{Peso sumergido de la muestra + parafina} \end{aligned}$$

El peso volumétrico está dado por $\delta_m = \frac{W_m}{V_m}$ (1)

Como dato previo tenemos el peso específico relativo de la parafina que vale:

$$S_p = \frac{W_p}{V_p W} = 0.97$$

El peso de la parafina empleada (W_p) para impermeabilizar la muestra vale:

$$W_p = W_{mp} + p - W_m$$

Se puede obtener el volumen de la parafina como sigue:

$$V_p = \frac{W_p}{S_p W} = \frac{W_p}{(0.97)(1.0)}$$

De un análisis de cuerpo libre del momento que se está pesando la muestra se tiene lo siguiente:

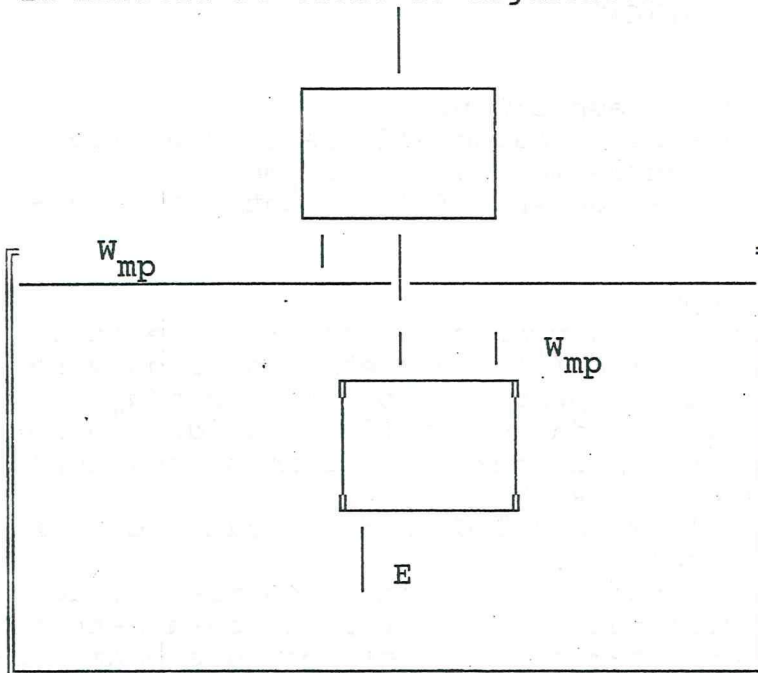


Fig. 1

E = Empuje del agua

$E = \delta_o V_m + p$ = Peso del agua desalojada

$V_m + p$ = Volumen de la muestra con parafina

Estableciendo el equilibrio se tiene;

$$(\delta_o)(V_m + p) + W_{mp} = W_{mp}$$

$$V_m + p = \frac{W_{mp} - W_{mp}}{\delta_o}$$

El volumen de la muestra de suelo está dado por; $V_m = V_m + p - V_p$

Y de esta manera se puede conocer el valor del peso volumétrico del suelo.

$$\delta_m = \frac{W_m}{V_m}$$

POSIBLES ERRORES

1. Determinación del volumen de la muestra cuando este se hace midiendo físicamente las dimensiones del material (Fig. geométrica conocida).
2. Uso de una parafina muy contaminada de tal forma que el peso específico relativo no sea igual al original.
3. Presición insuficiente de las pesadas.

$W_t = W_{mw} + W_s$ = Peso del matraz con agua hasta la marca de calibración más el peso del suelo. En este peso se incluye el volumen de agua igual al volumen del suelo.

W_{wd} = El peso del volumen de agua que desaloja el suelo se obtiene restando de W_t el peso de matraz con suelo y lleno a la marca de calibración, así:

$$W_{wd} = W_t - W_{mws}$$

sustituyendo el valor de W_t

$$W_{wd} = W_{mw} + W_s - W_{mws}$$

Dado que W_s es el peso del sólido que tiene igual volumen que el del agua desalojada de la definición de peso específico se tiene:

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

El peso volumétrico del agua cambia con la temperatura, por lo cual es necesario relacionarlo con el peso volumétrico a la temperatura de 4°C, especificada como norma.

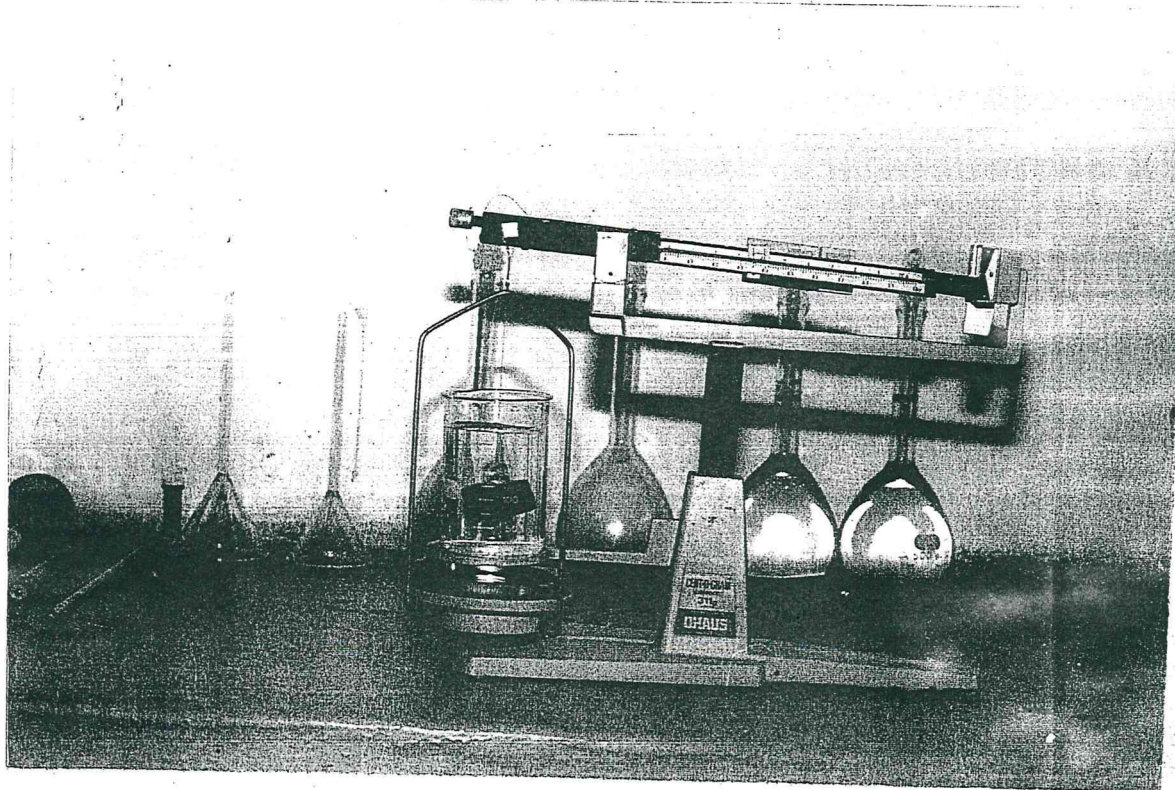
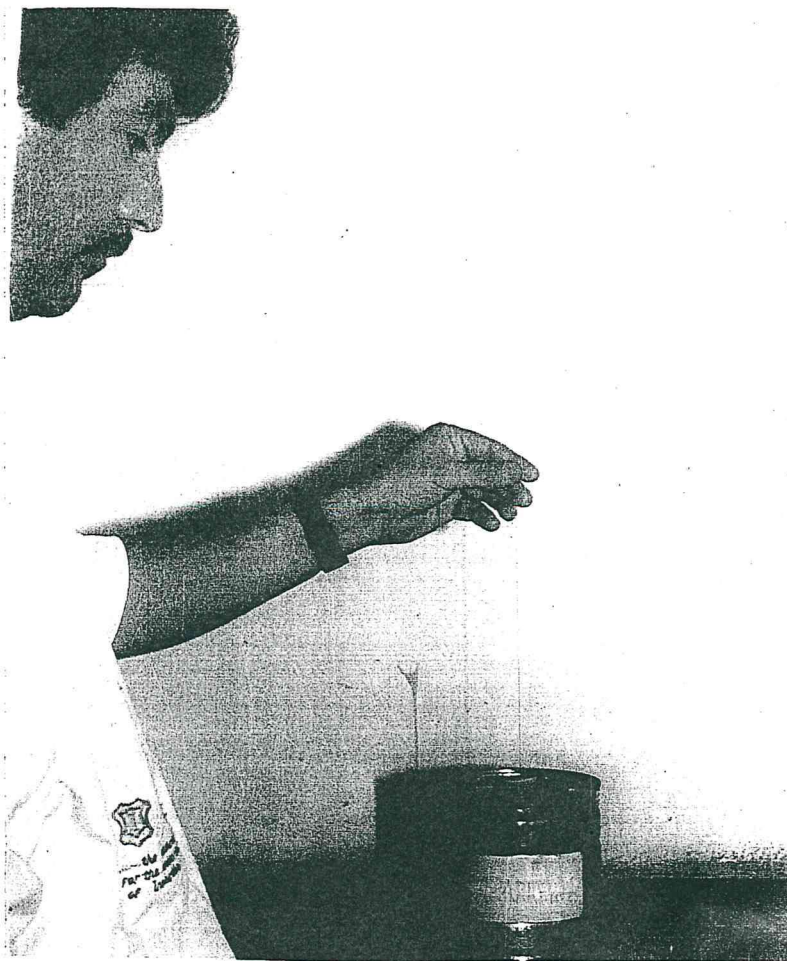
Donde;

$$S_s = S_s K \quad \text{donde } K: \text{ Corrección por temperatura.}$$

$$K = \frac{\delta_w}{\delta_w \text{ a } 4^\circ\text{C}}$$

$$S_s = \frac{\delta_s}{\delta_w} = \frac{\delta_s}{\delta_w} K$$

En esta foto se aprecian los materiales necesarios para el desarrollo de la práctica No. 3 que es "Peso Volumétrico Natural" en la parte inferior se observa como la muestra se recubre con parafina, para esta poderla sumergir posteriormente en agua.



TO: [Illegible]

2



U.A.S
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MAZATLÁN
 Laboratorio de mecánica de suelos

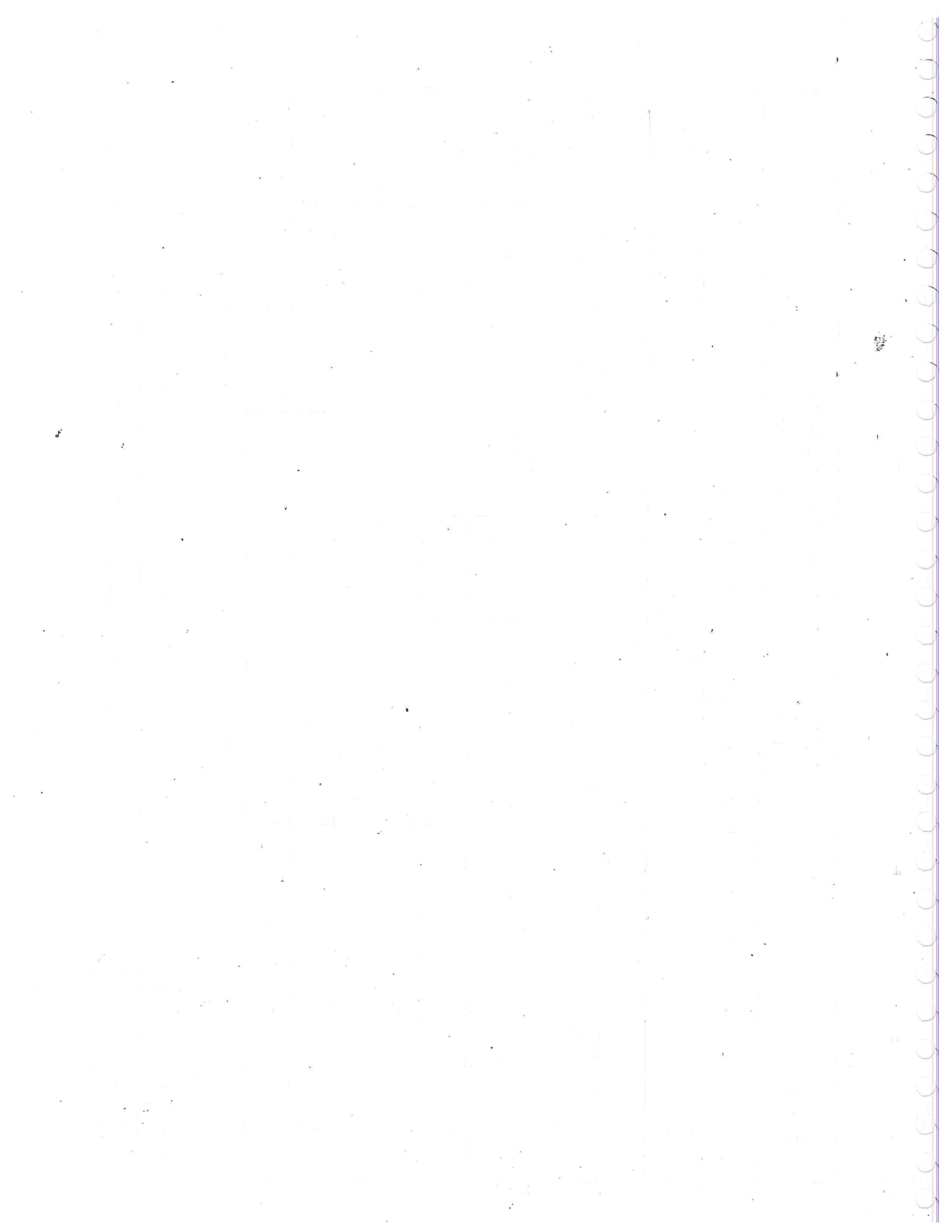
PESO VOLUMETRICO NATURAL

Obra _____ Localización _____ Sondeo N. _____
 Muestra _____ Profundidad _____

POZO N.	PROFUNDIDAD (mt)	Wm (gr)	Wmp (gr)	Wmps (gr)	Vmp (cm ³)	Wp (gr)	Vp= Wp 0.9 (cm ³)	Vm (cm ³)	$\gamma_m = \frac{Wm}{Vm}$ (gr/cm ³)

Observaciones: _____

 Fecha: _____



PESO ESPECIFICO

El peso específico de cualquier sustancia se define como el peso volumétrico del material dividido entre el peso volumétrico del agua destilada a la presión atmosférica y a 4°C.

$$S_s = \frac{\delta \text{Sólido}}{\delta \text{Agua } 4^\circ\text{C}}$$

El peso específico se requiere para calcular la relación de vacíos por medio del hidrómetro y para cálculo de pesos volumétricos.

EQUIPO.

- a) Matraces calibrados con marca de aforo y 500 cm³ de capacidad.
- b) Termómetro graduado de 0°C a 50°C, con 0.1 de precisión.
- c) Cápsula de porcelana o vidrio refractario.
- d) Probeta graduada a 500cm³ de capacidad.
- e) Balanza con capacidad de 800 gr y precisión de 0.1 gr.
- f) Vaso de precipitado de 400 cm³ de capacidad.
- g) Embudo de vidrio de conducto largo.
- h) Piseta y pipeta de 5 cm³.
- i) Solución para disolver grasas: mezcla-crónica.
- j) Alcohol de 96°.
- k) Agua destilada.
- l) Horno de secado a temperatura constante de 100°C.
- m) Sistema de vacío: bomba mecánica con trampa de agua.
- n) Estufa de parrilla.

CALIBRACION DEL MATERIAL AFORADO.

1. Se limpia el matraz empleando detergentes, agua y otros solventes: de grasas, alcohol, acetona, éter, etc.
2. Se llena el matraz con agua destilada hasta aproximadamente 5 mm debajo de la marca de aforo, se calienta en baño maría hasta unos 10°C, más que la temperatura ambiente.
3. Se llena el matraz, utilizando una pipeta, hasta que la parte superior del menisco coincida con la marca de aforo.
4. Se seca el interior del cuello y el exterior del matraz procurando que el agua no baje de la marca de calibración.
5. Se pesa el matraz con agua con una precisión de 0.01 gr para obtener (W_{mw}).
6. Se mide la temperatura en tres puntos (cerca de la superficie, al centro y cerca del fondo). Si las diferencias exceden de 0.5°C se vuelve a agitar para uniformizar.
7. Se hace una determinación adicional del peso y la temperatura para verificar resultados y se anotan en el registro.

8. Se repiten los pasos 2 a 7 utilizando agua a una temperatura diferente a la medida en el paso 6 (+- 5°C).
9. Se repite el paso 8 varias veces para obtener el número de datos deseado (en general bastan 6 o 7 puntos).
10. Las temperaturas y los pesos del matraz con agua, se anotan en el registro de "calibración del matraz".
11. Se construye la curva de calibración.

OBTENCION DEL PESO ESPECIFICO DEL SOLIDO.

1. Conviene realizar la prueba con el contenido de agua natural que tenga el suelo, obteniéndose el peso de la muestra seca al finalizar la prueba.
Pesar 500 gr del material que ha pasado la malla # 4 en una cápsula.
2. Poner alrededor de 300 cl de agua en el matraz .
3. Vaciar todo el material seco de la cápsula en el matraz.
4. Calentar el matraz.
5. Aplicar vacío al matraz para extraer el aire no disuelto.
6. Agregar con cuidado agua destilada hasta 2 cm debajo de la marca de aforo.
7. Agitar el matraz y medir la temperatura en el centro y en otros puntos de la suspensión.
8. Agregar agua destilada hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración.
9. Secar el interior del cuello del matraz.
10. Pesar el matraz con suelo y agua, con precisión de 0.01 gr anotándolo en el renglón correspondiente del registro.
11. Verter el contenido del matraz en una cápsula y enjuagar el matraz para recuperar todo el material y poner la cápsula a secar 24 horas a 100°C.
12. Obtener el peso de los sólidos por diferencia entre el peso de la cápsula con material y el peso de la cápsula limpia.
13. De la curva de calibración del matraz se obtiene W_{mw} .
14. El peso específico de los sólidos se obtiene con la expresión para S_s donde:

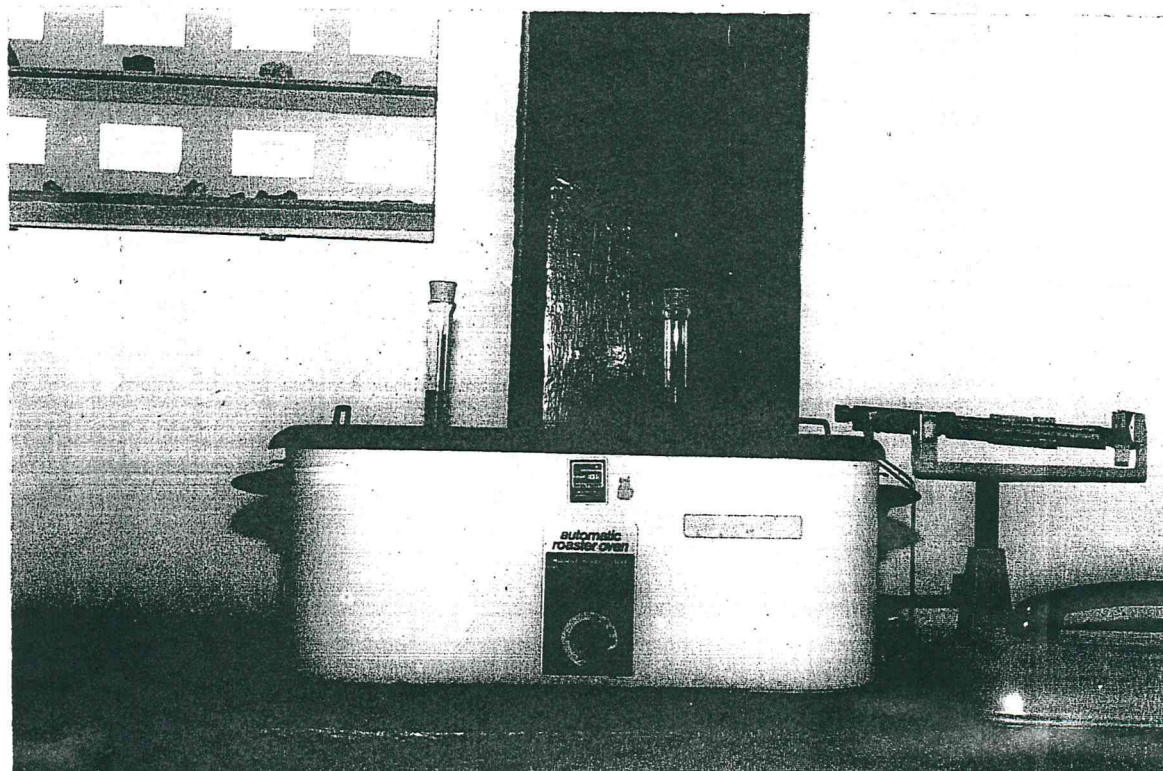
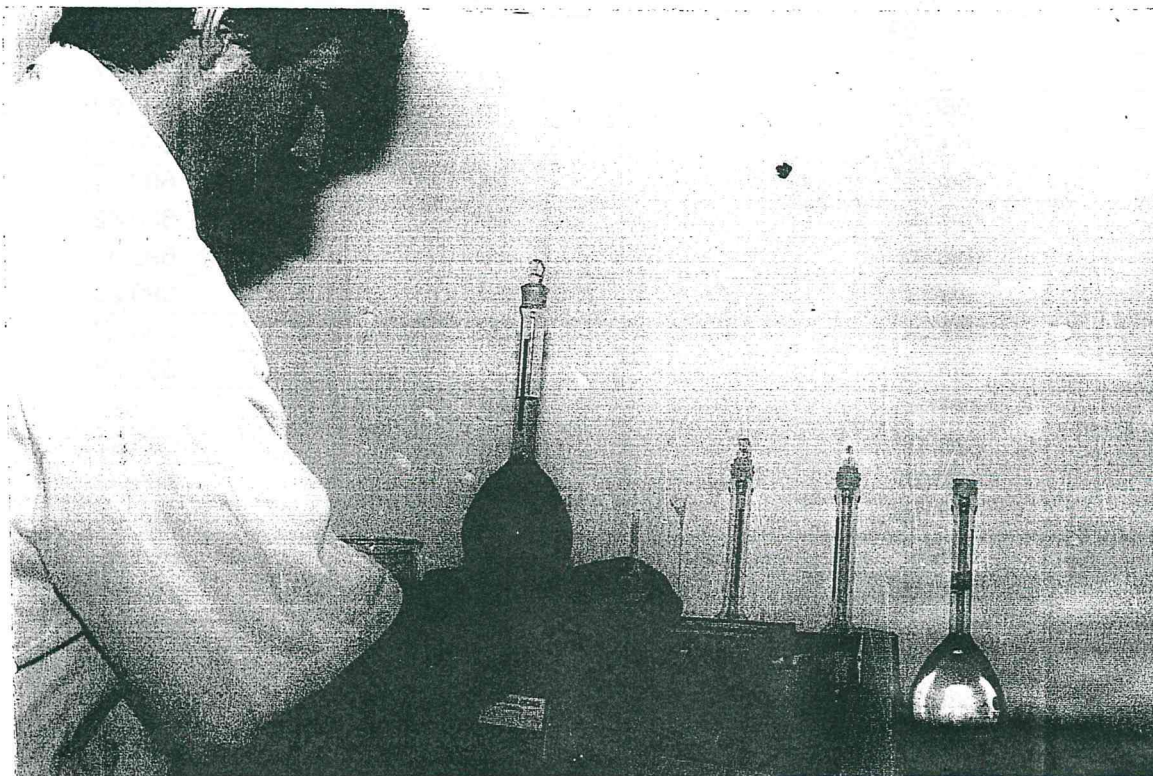
$$S_s = \frac{W_s}{W_{mw} + W_s - W_{mws}}$$

W_{mw} = Peso del matraz con agua hasta la marca de calibración.

W_s = Peso de la muestra seca del suelo cuyo peso específico se desea.

W_{mws} = Peso del matraz con el suelo y lleno de agua hasta la marca de calibración; a la temperatura de la prueba (es necesario tener la curva de calibración del matraz, la variación del peso con la temperatura).

Para llevar a efecto la práctica de densidad de sólidos es conveniente tener los matraces ya calibrados, para la determinación correcta de su volumen; así como contar con las gráficas de calibración. En las fotos vemos parte del desarrollo de esta práctica.



Calibración de Matraz #4

T°C	Wmw
22	687.26
23	687.17
24	687.09
25	687
26	686.92
27	686.83
28	686.75
29	686.66
30	686.58
31	686.5
32	686.41
33	686.33
34	686.24
35	686.16
36	686.07
37	685.99
38	685.9
39	685.82
40	685.73
41	685.65
42	685.57
43	685.48
44	685.4
45	685.31
46	685.23
47	685.14
48	685.06
49	684.97
50	684.89
51	684.8
52	684.72
53	684.64
54	684.55
55	684.47
56	684.38
57	684.3
58	684.21
59	684.13
60	684.04
61	683.96
62	683.88
63	683.79
64	683.71
65	683.62

Calibración de Matraz #6

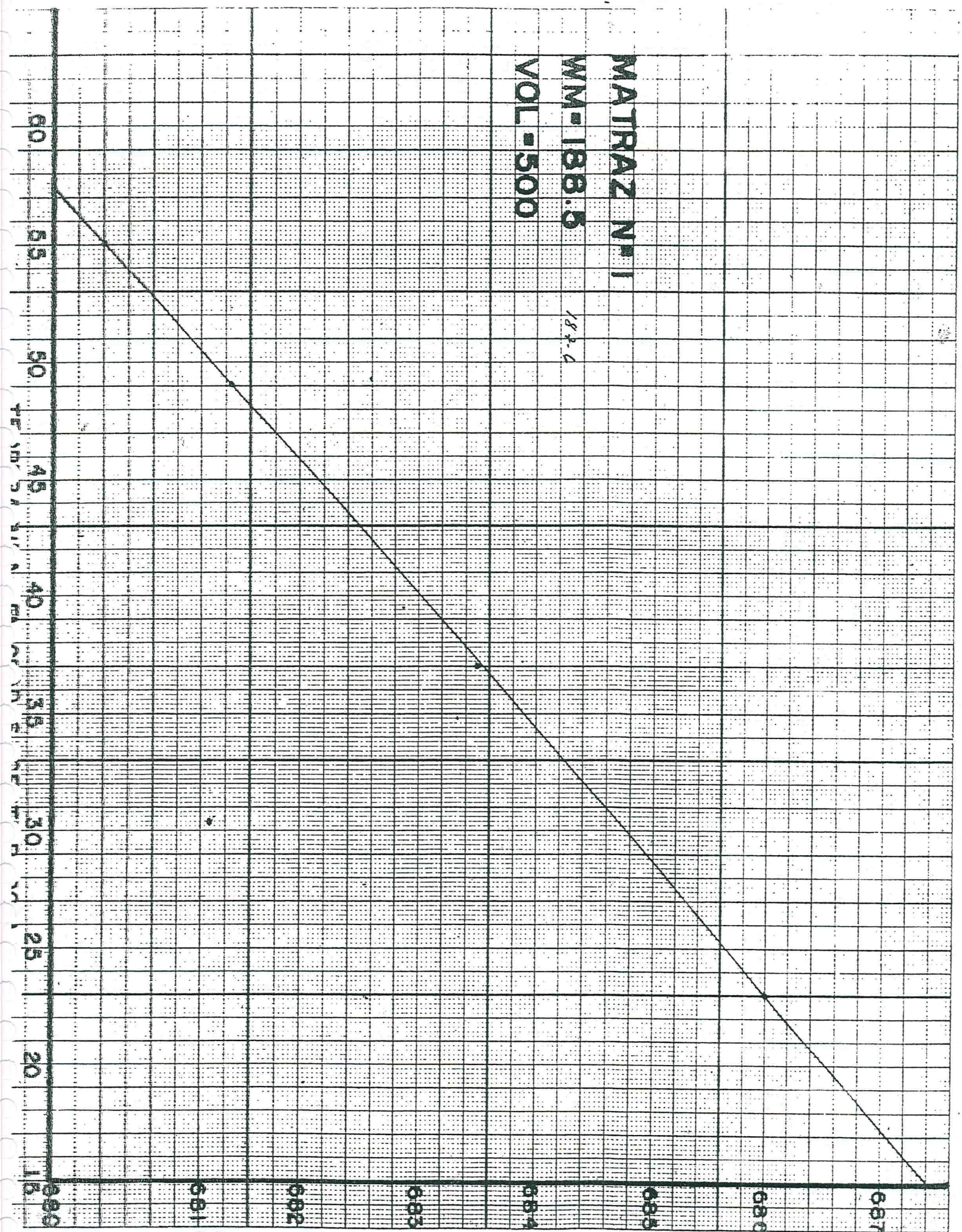
T°C	Wmw
22	691.02
23	690.94
24	690.85
25	690.77
26	690.68
27	690.59
28	690.51
29	690.42
30	690.34
31	690.25
32	690.17
33	690.08
34	690
35	689.91
36	689.82
37	689.74
38	689.65
39	689.57
40	689.48
41	689.4
42	689.31
43	689.23
44	689.14
45	689.05
46	688.97
47	688.88
48	688.8
49	688.71
50	688.63
51	688.54
52	688.46
53	688.37
54	688.28
55	688.2
56	688.11
57	688.03
58	687.94
59	687.86
60	687.77
61	687.69
62	687.6
63	687.51
64	687.43
65	687.34

MATRAZ N° 1

WM-188.5

VOL-500

182.2



PESO DEL MATRAZ + ANITA (EN GRAMOS)

601

602

603

604

605

606

607

60

55

50

45

40

35

30

25

20

15

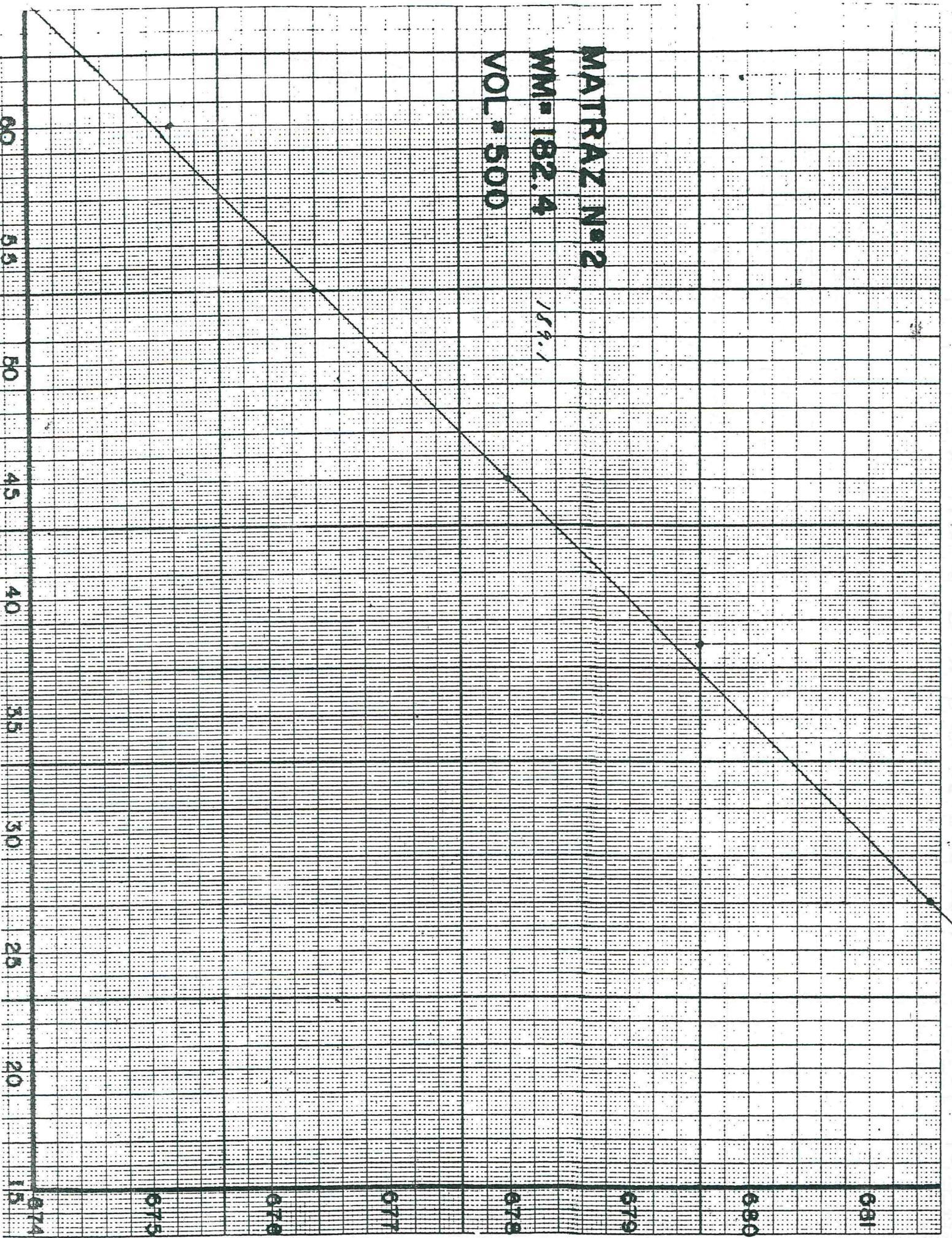
182.2

MATRAZ N° 2

WM = 182.4

VOL = 500

1.59.1



PESO DEL MATRAZ + AGUA (EN GRAMOS)

681

680

679

678

677

676

675

674

60

55

50

45

40

35

30

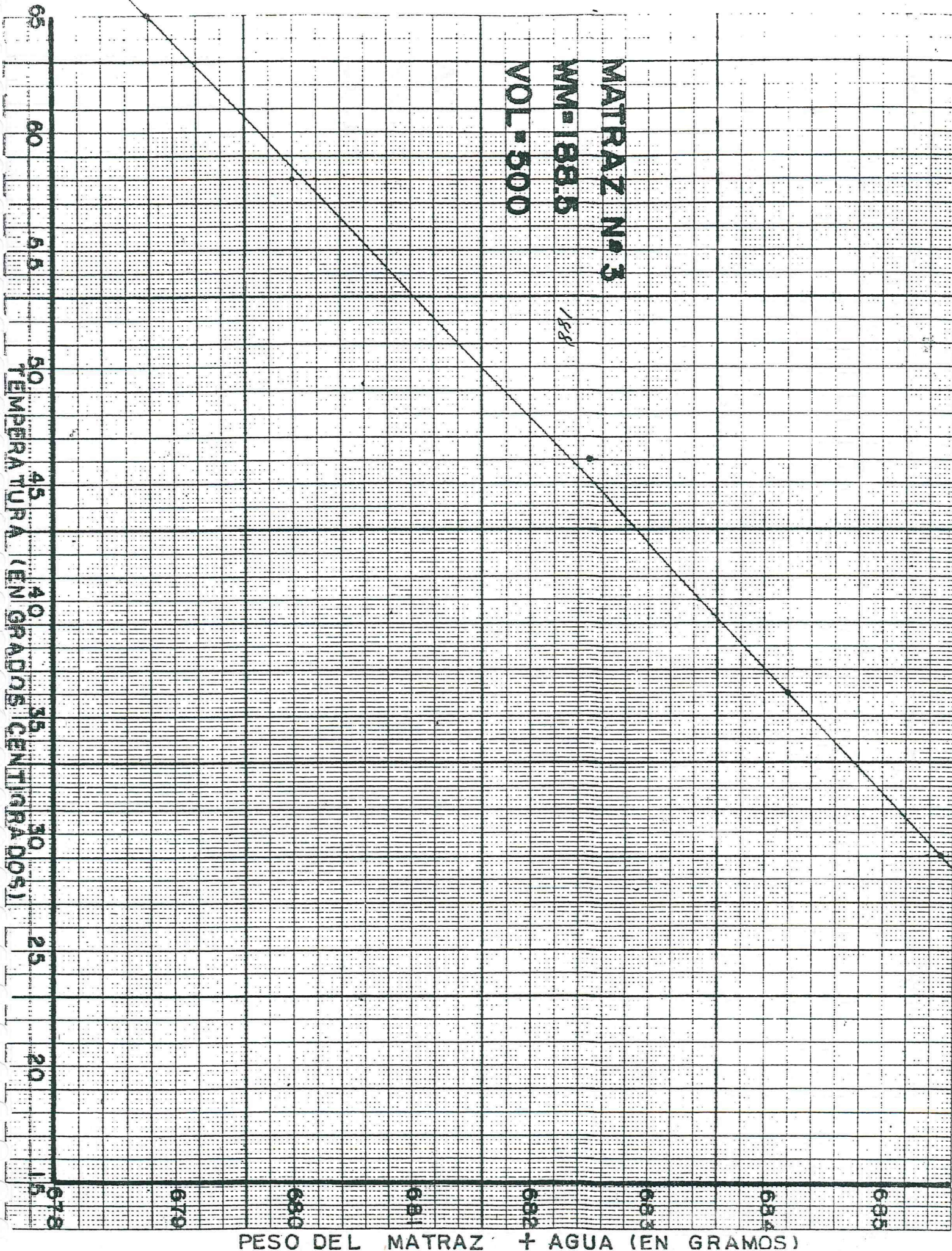
25

20

15

MATRAZ N.º 3
WM-188.5
VOL-500

1.88

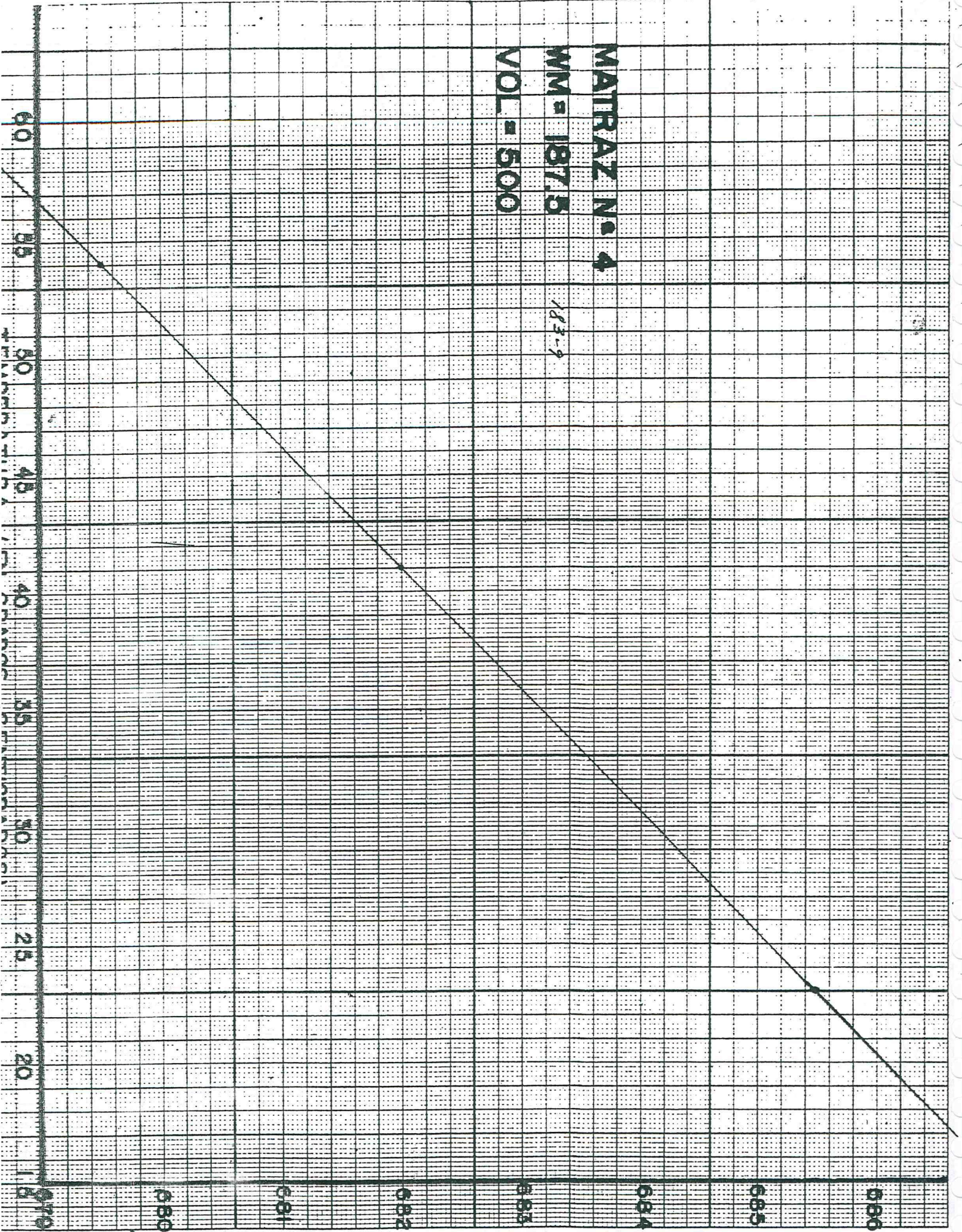


PESO DEL MATRAZ + AGUA (EN GRAMOS)

65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
678
679
680
681
682
683
684
685

MATRIZ N.º 4
MM = 187,5
VOL = 500

183-9



PF SO DEL MATRAZ + AGUA (PN GRAMOS)

MATRAZ N°5

WM = 190.0

VOL = 500

60 50 45 40 35 30 25 20 15
TEMPERATURA (EN GRADOS CENTIGRADOS)

687

686

685

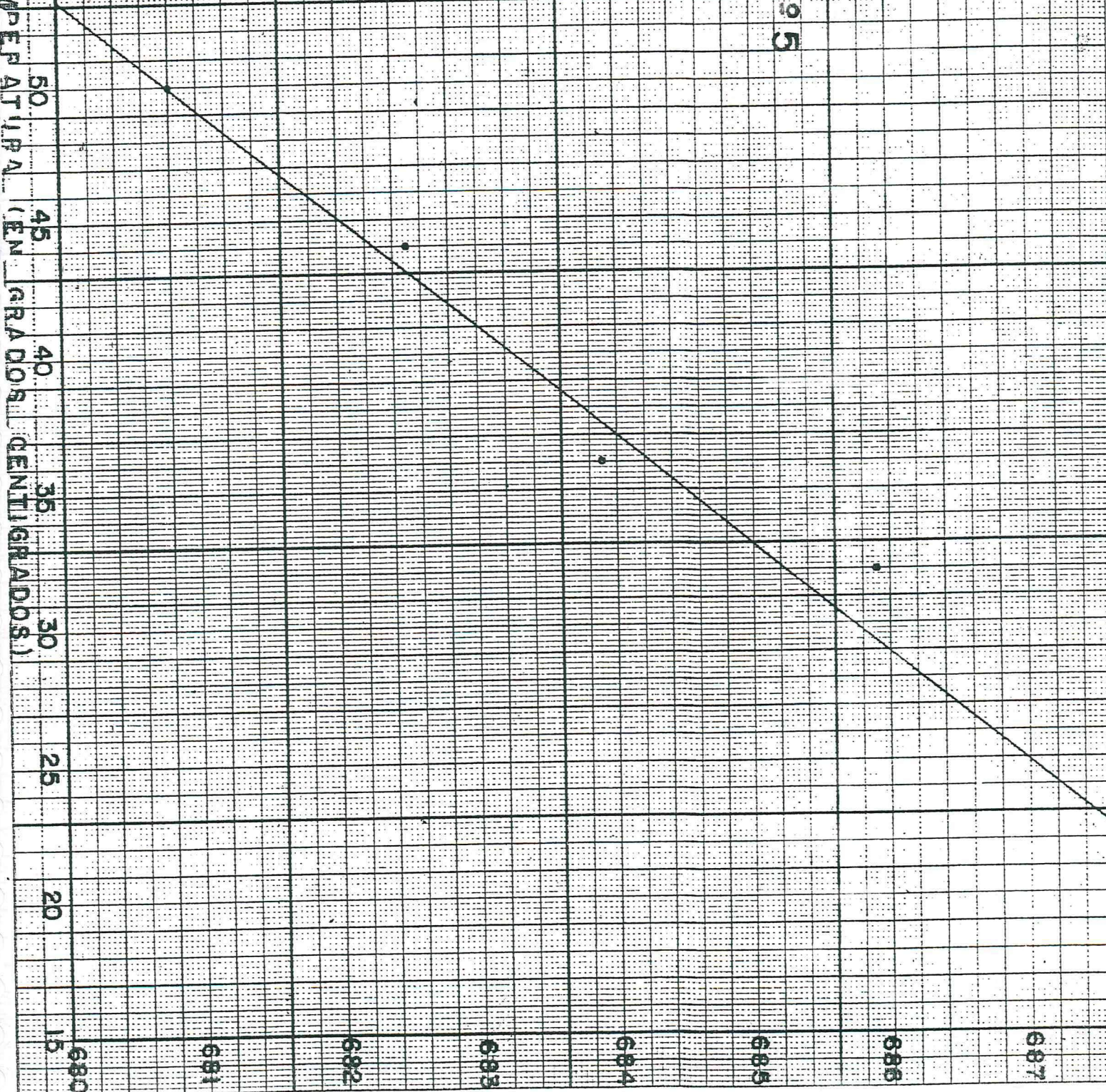
684

683

682

681

680

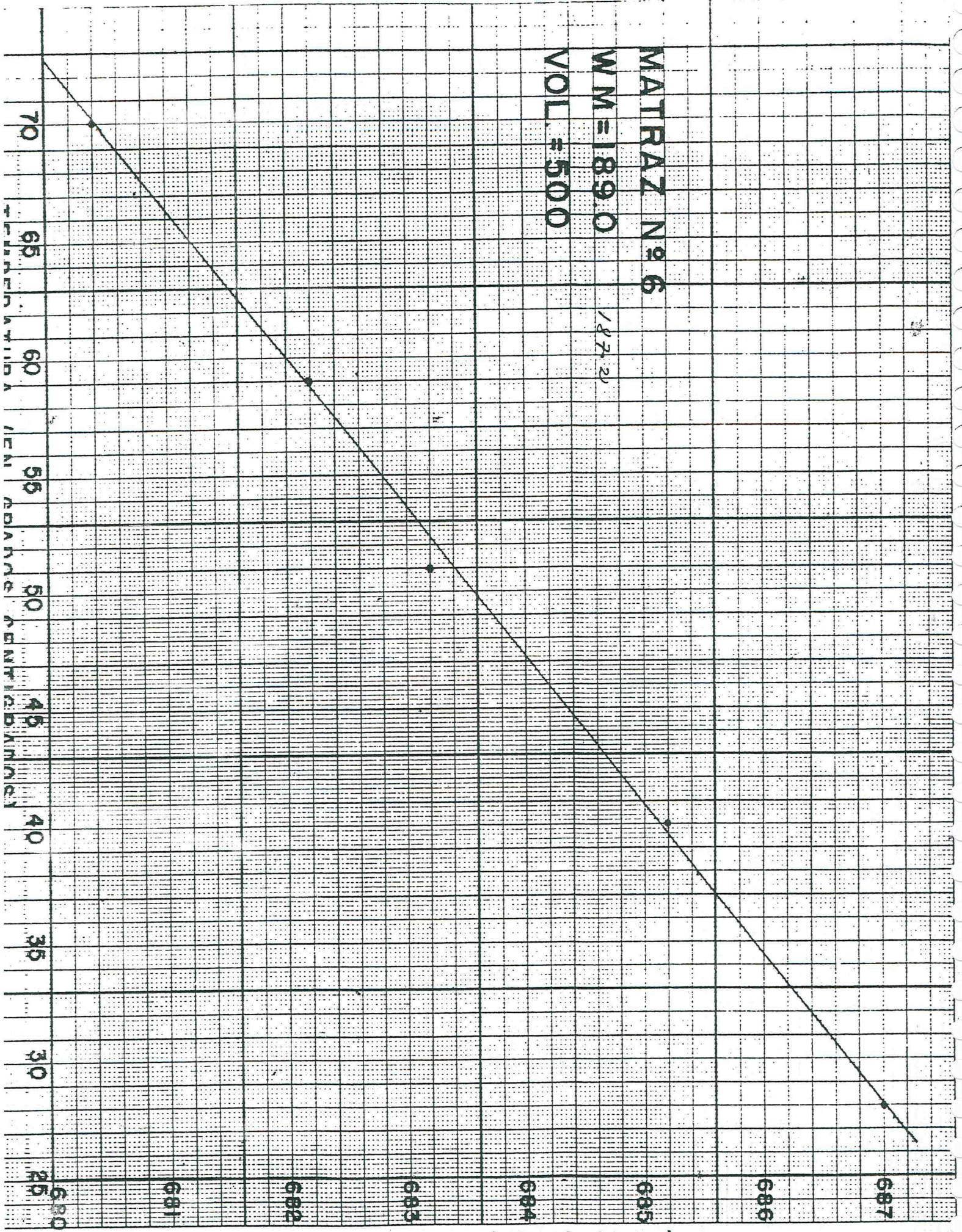


MATRAZ Nº 6

WM=189.0

187.2

VOL = 500



PESO DEL MATRAZ + AGUA (EN GRAMOS)

U.A.S

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MAZATLÁN

Laboratorio de mecánica de suelos

DENSIDAD DE SOLIDOS

Procedencia _____ Identificación de lab. _____
 Banco _____ Pozo _____ Prof. _____
 Muestra _____ Est. _____ Fecha _____

MATERIAL < QUE LA MALLA N.4					MATERIAL > QUE LA MALLA N.4	
Prueba num.						
Matraz num.						
Wmws gr.					Pesa grava humeda	
Temperatura					Peso grava seca	
Wmw					Peso agua absorvida	
Wms					Volumen desalojado	
Wm					% de absorcion	
Ws = Wms - Wm					Volumen real de solidos	
Ws + Wmw - Wmws					Densidad de masa Sm	
Ss					Densidad de solidos	

Wm = Peso del matraz antes de agregar los solidos

Wms = Peso del matraz despues de agregar los solidos

Wmws = Peso del mmatraz + agua + muestra a T°

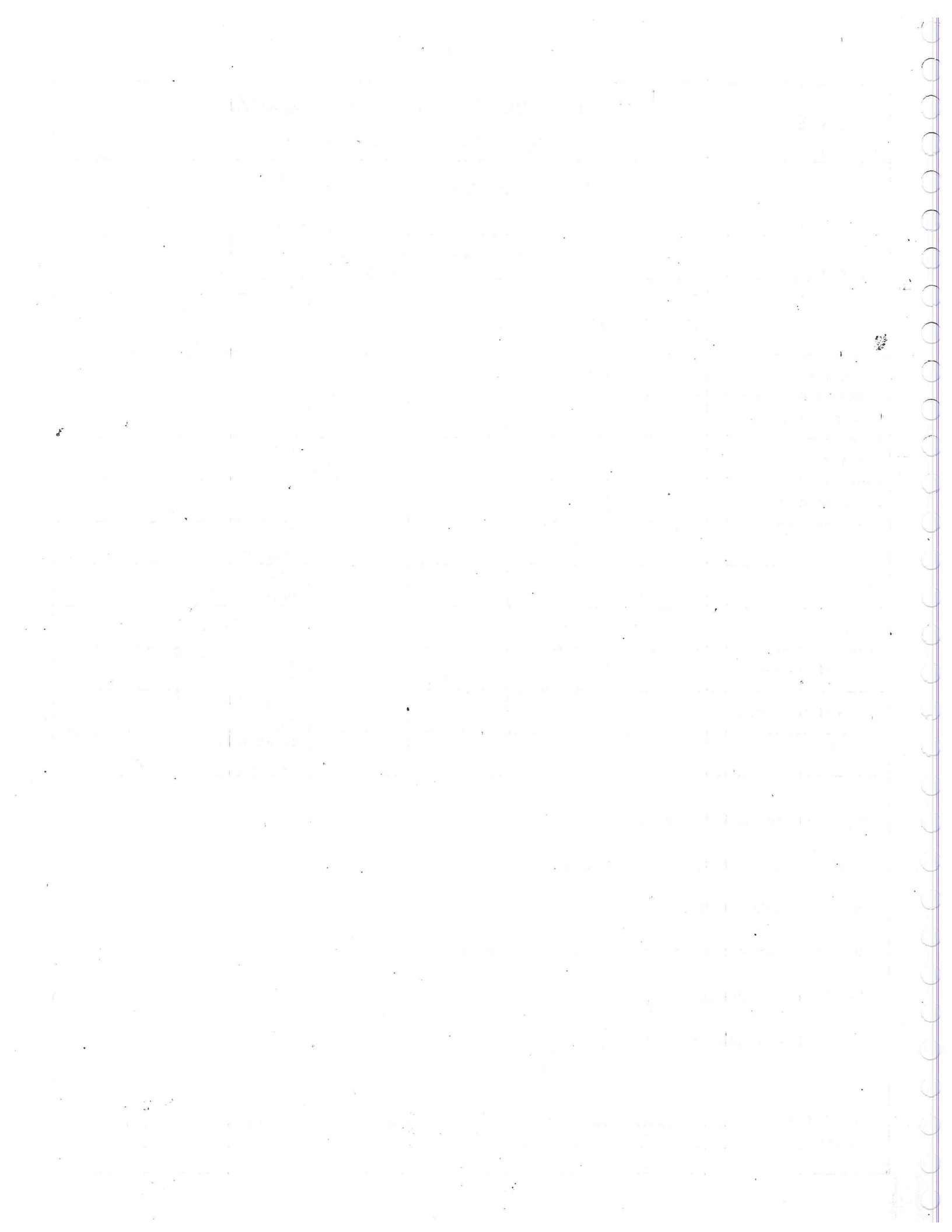
Wmw = Peso del matraz + agua a t° (De la curva de calibración)

Ws = Peso del suelo seco

$$Ss = \text{Densidad de solidos} = \frac{Ws}{Ws + Wmw - Wmws}$$

Observaciones _____

Alumno _____ Calificación _____ Fecha _____



DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA

Esta es una prueba definitiva para juzgar la calidad de un material, de acuerdo con el fin que se le destina y se verifica mediante la determinación de los tamaños de las partículas que forman el suelo, por el procedimiento de cribado o por el de sedimentación. El primero de ellos consiste en separar las partículas de suelo, tamizándolo a través de una sucesión de mallas de abertura cuadrada y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, a fin de relacionar dichos retenidos, como porcentajes de la muestra total, para obtener la composición granulométrica.

El procedimiento de sedimentación se basa en el siguiente principio: en un líquido menos denso que el suelo, las partículas del suelo de la misma densidad se asentarán través del líquido con velocidades proporcionales a sus tamaños. Este principio está expresado por la ley de Stokes, que da la velocidad de caída de una pequeña esfera en un líquido viscoso. El procedimiento de prueba más usual es el del hidrómetro, el cual consiste en determinar la variación de la densidad de la suspensión suelo-agua, para diferentes tiempos, por medio de un hidrómetro y en medir la altura de caída de los granos de tamaño más grande correspondiente a la densidad medida. La lectura hecha con el hidrómetro mide la densidad de la suspensión a la altura del bulbo de éste y con ella se puede determinar directamente el porcentaje en peso de las partículas de suelo, con relación a la concentración original a este nivel.

Otro procedimiento también muy ampliamente usado, es el llamado de decantación separada, y que consiste en determinar el porcentaje de sólidos que permanecen en suspensión en agua, después de que ha transcurrido un período previamente calculado suficiente para permitir la sedimentación de las partículas mayores de un determinado tamaño. Se considera arena el material cuyo tamaño está comprendido entre dos (2) milímetros y cincuenta milésimos (0.050) de milímetro, limo el material de tamaños comprendidos entre cincuenta milésimos (0.050) y cinco milésimos (0.005) de milímetro y arcilla el material menor de este último tamaño.

La composición granulométrica representa gráfica o numéricamente, la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que componen el suelo.

En términos generales, puede decirse que la mayor estabilidad de un material se alcanza cuando se reduce al mínimo la cantidad de vacíos y para que esto pueda lograrse, se requiere una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos dejados por las partículas mayores sean ocupados por las partículas de menor tamaño y que a la vez, en los huecos que dejen estas últimas se acomoden las partículas más finas y así sucesivamente.

Las curvas deben emplearse como una guía para conocer si la composición granulométrica del suelo que se está estudiando, corresponde a una sucesión adecuada de tamaños para lograr el mínimo de vacíos.

En la determinación de la composición granulométrica del material retenido en la malla Num. 4 por cribado en seco se tiene que para el secado, disgregación y cuarteo de las muestras, deberá obtenerse una porción representativa de unos 10 decímetros cúbicos, aproximadamente.

El equipo necesario será:

1. Una balanza de 20 Kilogramos de capacidad y aproximación de un gramo.

2. Un juego de cribas Tyler estándar de abertura cuadrada, cuya denominación se indica a continuación:

2" 1-1/2" 1" 3/4" 3/8" Num.4

Abertura en mm:

50.8 38.1 25.4 19.1 9.52 4.76

3. Charolas de lamina.

Procedimiento.

1. Se pesará la muestra, anotándose dicho peso P_t , y se tamizará a través de las cribas indicadas, comenzando por la de mayor abertura y siguiendo el orden en que aparecen anotadas.

2. Para facilitar esta operación se imprimirá a las cribas un movimiento lateral y vertical que produzca una vibración para mantener el material en constante movimiento.

3. Las porciones retenidas en cada una de las cribas mencionadas, así como la porción que pasa la malla Num.4 se pesarán en la balanza, anotándose los resultados obtenidos.

4. Los pesos de las porciones retenidas en cada criba deberán expresarse como porcentajes de la muestra total P_t .

5. Para cada criba considerada, se calculará el porcentaje retenido acumulativo, sumando los porcentajes de retenidos en las cribas de abertura mayor, con el retenido de dicha criba.

6. Cada uno de los porcentajes de retenidos acumulativos deberán restarse de cien(100) para obtener, para cada una de las cribas, el porcentaje en peso de partículas que pasan por la misma.

Ejemplo de cálculo:

Malla	Peso Ret.Parc.	%Ret.Parc.	%Ret.Acum.	%Que Pasa la malla
2"	665	4.9	4.9	95.1
1 1/2"	3060	22.6	27.5	72.5
1"	2853	21.0	48.5	51.5
3/4"	1352	10.0	58.5	41.5
3/8"	2575	19.0	77.5	22.5
#4	1490	11.0	88.5	11.5
P#4	1545	11.5		
Suma	13540	100.0		

$$\% \text{Retenido Parcial} = \frac{665}{13540} \times 100 = 4.9$$

$$\% \text{Retenido Acumulativo} = 4.9 + 22.6 = 27.5$$

$$\% \text{Que pasa la malla} = 100.0 - 4.9 = 95.1$$

Determinación de la composición granulométrica del material que pasa la malla Num.4.

Se cortará por cuarteo una muestra de 500 a 600 gramos, que se pondrá a secar en un horno a temperatura de cien grados Celcius a ciento diez grados Celcius hasta peso constante.

En caso de suelos finos de elevada plasticidad, en que el secado total de la muestra pueda dar lugar a la formación de grumos difíciles de disgregar, la prueba deberá hacerse en la muestra parcialmente seca, tomando previamente una muestra para hacer la determinación de la humedad y poder hacer la corrección correspondiente en el peso.

Equipo necesario para realizar la prueba.

1. Una balanza de un décimo(0.1) de gramo de aproximación y capacidad de un (1) Kilogramo.
2. Un horno que mantenga una temperatura de cien grados Celcius a ciento diez grados Celcius(100°C a 110°C).
3. Un vaso de aluminio de 500 cm³ de capacidad.
4. Un agitador de varilla metálica de 6.2 mm de diámetro y 20 cm de longitud.
5. Un juego de mallas de abertura cuadrada de las siguientes denominaciones:

Malla Número.

10, 20, 40, 60, 100, 200.

Abertura en mm.

2.0 0.84 0.42 0.25 0.149 0.074

Procedimiento.

1. De la muestra preparada se tomarán por cuarteo 200 gramos, en el caso de tratarse de muestras secas o una cantidad mayor, de acuerdo con la humedad que contenga la muestra.
2. Esta muestra se colocará en el vaso metálico de 500 cm³ y se le añadirán 200 cm³ o más de agua, dejándose en reposo durante 12 horas.
3. Después de este tiempo, se procederá a lavar la muestra a través de la malla Número 200, agitando el contenido del vaso con una varilla durante 15 segundos, en forma de 8 y dejándolo reposar durante 30 segundos dicho contenido.
4. Se decantará sobre la malla todo el material fino en suspensión y se repetirá el proceso todas las veces que sea necesario, hasta que el agua quede limpia.
5. A continuación, se devolverá al vaso de metal el material fino que se haya retenido en la malla, utilizando un poco de agua, que se decantará del vaso final de la operación.
6. Se secará en el mismo vaso todo el material que se retuvo en la malla Número 200 hasta peso constante y se tamizará a través de las mallas antes anotadas.

Para el cálculo de la composición granulométrica se tendrá en cuenta lo siguiente:

a) Cuando la muestra original no contiene partículas retenidas en la malla Número 4, el cálculo se hará de la forma ya antes expresada.

b) Cuando la muestra original contiene partículas que se retienen en la malla Número 4, los retenidos parciales en cada malla deberán expresarse como porcentajes de la muestra total, para lo cual se procederá a calcularlos de la siguiente manera:

1. Se dividirá el peso en gramos, retenido en cada malla, entre el peso seco de la muestra usada para la prueba de lavado 200 gramos, generalmente y se multiplicará este cociente por el por ciento que pasa la malla Número 4, que se determina de la forma ya antes señalada.

2. El retenido acumulativo en la malla Núm. 10 se calculará sumando el retenido parcial en dicha malla, al retenido acumulativo en la malla número 4.

3. El retenido acumulativo en la malla número 20, es igual al retenido acumulativo en la malla número 10, más el retenido parcial en la malla número 20.

4. En esta misma forma se calcularán los demás retenidos acumulativos hasta la malla número 200 y, restando estos valores de 100, se obtendrán los porcentajes de material que pasa por las mallas respectivas.

POSIBLES ERRORES.

a) Estado defectuoso de las mallas. Es frecuente que las mallas presenten deformaciones y roturas que las hacen inadecuadas para las pruebas, por lo que deben revisarse antes de ser usadas.

b) Sobrecarga de las mallas. Este es el error más común y serio en el análisis por mallas; es la causa de que el material parezca más grueso de lo que realmente es. Las muestras grandes deben cribarse en varias porciones.

c) Tiempo insuficiente de agitado de las mallas. Los materiales angulosos requieren de un tiempo de agitado largo que debe determinarse experimentalmente.

d) Pérdida de agua de lavado con finos, manipulación descuidada.

e) Arrastre de arena gruesa por el agua de lavado durante el proceso de decantación sucesiva.

METODO DE DECANTACION SEPARADA.

La determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla por, el método de la decantación separada tiene por objeto obtener una idea aproximada de la composición granulométrica de las partículas de suelo menores a 200 milésimos (0.200) de mm.

El procedimiento está basado en la ley de Stokes, que da la velocidad de sedimentación de partículas sólidas esféricas en un líquido.

La velocidad de sedimentación está dada por la fórmula:

$$V = \frac{2}{9} gr^2 \times \frac{D_s - D_f}{N} = \frac{H}{t} \dots\dots\dots(1)$$

En donde:

V = Velocidad de caída de las partículas, en centímetros sobre segundo.

r = Radio de la esfera, en centímetros.

N = Viscosidad del fluido, en gramos sobre centímetro por segundo (poises).

D_f = Densidad absoluta del fluido, en gramos sobre centímetro cúbico.

D_s = Densidad absoluta del material, en gramos sobre centímetro cúbico.

g = Aceleración del campo gravitatorio terrestre, en centímetros sobre segundo cuadrado.

H = Altura de caída en centímetros.

t = Tiempo transcurrido, en segundos.

Para la aplicación práctica de la determinación de los diámetros de las partículas menores de doscientos milésimos (0.200) de mm, la sedimentación del material se hace en agua y se determina el porcentaje en peso de sólidos en las muestras que se extraen de una suspensión, inicialmente uniforme, a tiempos previamente calculados y a un punto cuya distancia a la superficie de la suspensión sea conocida. Como la sedimentación se efectúa en agua, a una altura de 20 cm y los diámetros que interesan son de cincuenta milésimos (0.050) de mm, a cinco milésimos (0.005) de mm, la fórmula se transforma en la siguiente:

$$T = 0.612 \frac{N}{d^2 (D_s - D_f)} \dots\dots\dots(2)$$

En donde:

T = Tiempo necesario para que sólo queden en suspensión partículas con un diámetro menor de (d), expresado en minutos.

d = Diámetro de las partículas en milímetros.

Equipo necesario (Método de Decantación Separada).

1. Un cilindro metálico de sedimentación de las siguientes características:

- a) Altura 55 cm.
 - b) Diámetro 5.08 cm.
 - c) Marca de aforo interior a los 1000 cm³ y orificio de 2.4 mm (3/32") de diámetro, 20 cm abajo de la marca de aforo.
 - d) Tapón de 2.38 mm, de madera para el orificio.
2. Una probeta graduada de 100 cm³.
3. Un cronómetro.
4. Una balanza con aproximación de un centésimo (0.01) de gramo.
5. Un horno con temperatura controlable.
6. Una malla Núm. 100.
7. Cápsulas para determinación de humedad.
8. Bote de 25 litros.
9. Estufa.
10. Espátulas.
11. Defloculante (bicarbonato o silicato de sodio).

Procedimiento.

1. Se tomarán 500 gramos del suelo cribado por la malla Núm. 4 y se dejará remojar el material en una charola con agua durante 24 horas.

2. Se vaciará su contenido en una malla Núm. 100, colocada sobre el bote de 25 litros, para recoger todo el material que pasa la malla mencionada.

3. Se dejará reposar la suspensión contenida en el bote durante 24 horas, por lo menos, para que se asienten los sólidos y después se extraerá el agua por medio de un sifón.

4. El material asentado en el bote se recogerá en una cápsula y se secará al horno a una temperatura comprendida entre (100°C y 110°C).

5. Se dejará enfriar en un desecador y se pesarán 100 gramos, para hacer el análisis, si el material es arenoso, y 50 gramos, si es arcilloso.

6. Se colocará el material pesado en una cápsula de porcelana y se le deberá agregar el agua necesaria para cubrir los sólidos de la cápsula de 20 cm³ de defloculante (3%) -solución de bicarbonato de sodio o silicato de sodio al (3%).

7. Se dejará saturar durante un periodo comprendido entre 2 y 12 horas, de acuerdo con la plasticidad del material, y se transvasará al cilindro de sedimentación, lavando la cápsula para recoger los finos.

8. Después se añadirá agua hasta la marca de 1000 cm³.

9. Se deberá agitar vigorosamente el cilindro 1 minuto, tapándolo con la mano y se colocará sobre una base firme, en un sitio donde quede protegido de cambios de temperatura, anotándose la temperatura de la suspensión.

10. Después de transcurrido el tiempo calculado mediante gráficas, para que queden en suspensión partículas menores de (0,05) mm, se quitará el tapón del orificio y se recogerán 100 cm³ de la suspensión de la probeta graduada.

11. Deberán transvasarse los 100 cm³ de suspensión a una cápsula, se dejará evaporar el agua en el horno y, después de enfriarse, se pesará el sedimento, con una aproximación de (0.01) de gramo, anotándose el peso seco.

12. Se agregará agua hasta alcanzar la marca de 1000 cm³ en el cilindro y se repetirá el proceso.

13. Después de transcurrido el tiempo necesario para que queden en suspensión partículas menores de (0.005) de mm el cual se determinará mediante gráfica, se quitará el tapón del orificio y se recogerán otros 100 cm³ de la suspensión en una probeta graduada debiendo determinarse el peso de los sólidos siguiendo el procedimiento ya indicado.

METODO DE CALCULO.

Los diferentes porcentajes de los materiales, se calcularán a partir de los datos y en la forma que se indica a continuación:

A = Porcentaje de material que pasa la malla Núm.100.

B = Porcentaje de material que pasa la malla Núm.10.

P₁ = Peso seco, en gramos, del primer sedimento.

P₂ = Peso seco, en gramos, del segundo sedimento.

El porcentaje de material de un diámetro menor de (0.05) de milímetro se calculará con la fórmula:

$$C = \frac{A \times P_1 \times 364}{10,000}, \text{ si la prueba se hizo con 100 gramos.}$$

$$C = \frac{A \times P_1 \times 364}{5000}, \text{ si la prueba se hizo con 50 gramos.}$$

El porcentaje de material de un diámetro menor de (0.005) de milímetro se calculará con la fórmula:

$$D = \frac{A \times P_2 \times 364}{100(100 - P_1)}, \text{ si se hizo la prueba con 100 gramos.}$$

$$D = \frac{A \times P_2 \times 364}{50(50 - P_1)}, \text{ si se hizo la prueba con 50 gramos.}$$

Los porcentajes de arena, limo y arcilla se calcularán con las fórmulas:

$$\% \text{ de arena} = B - C$$

$$\% \text{ de limo} = C - D$$

$$\% \text{ de arcilla} = D$$

El siguiente ejemplo aclara la secuela de cálculo:

Determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla en un material de las siguientes características:

Por ciento de material que pasa la malla 100 : A = 88

Por ciento de material que pasa la malla 10: B = 91

Densidad del material: $D_s = 2.7 \text{ gr/cm}^3$

Considerando que la prueba va a hacerse a la temperatura de 20°C, de la gráfica se deduce que para estas condiciones de temperatura y densidad, el tiempo necesario para que quede en suspensión partículas con diámetro menor de cincuenta milésimos (0.050) de mm, es de 86 segundos, o sea, un (1) minuto 26 segundos.

Para estos mismos valores, en la gráfica se encuentra el tiempo necesario para que queden en suspensión partículas con un diámetro menor de cinco milésimos (0.005) de mm, que en este caso es de 144 minutos o sea 2 horas y 24 minutos.

Siguiendo el procedimiento de prueba indicado se encuentra P_1 y P_2 , que suponemos que para 100 gramos de muestra tendrán los siguientes valores:

$$P_1 = 9.0 \text{ gramos}$$

$$P_2 = 2.0 \text{ gramos}$$

Por ciento de material de tamaño menor de (0.050) de mm (limo y arcilla):

$$C = \frac{88 \times 9.0 \times 364}{10000} = 28.84$$

Por ciento de material de un diámetro menor de (0.005) mm (arcilla):

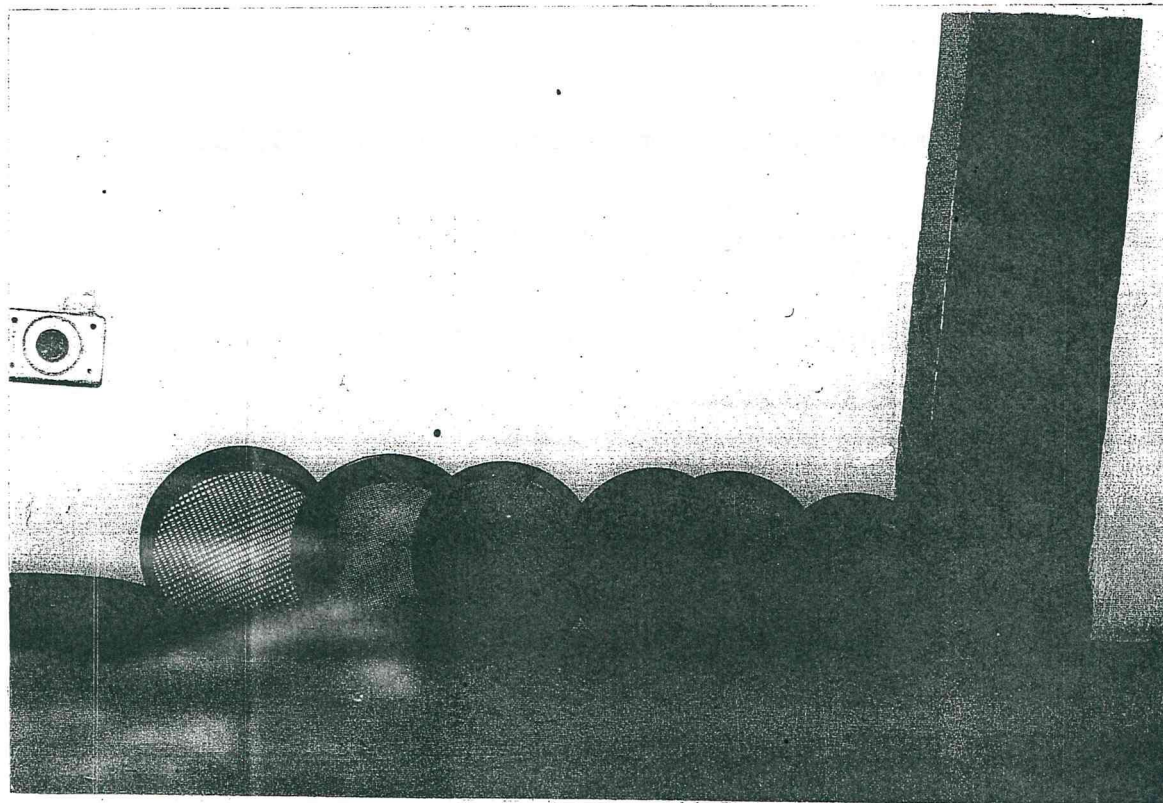
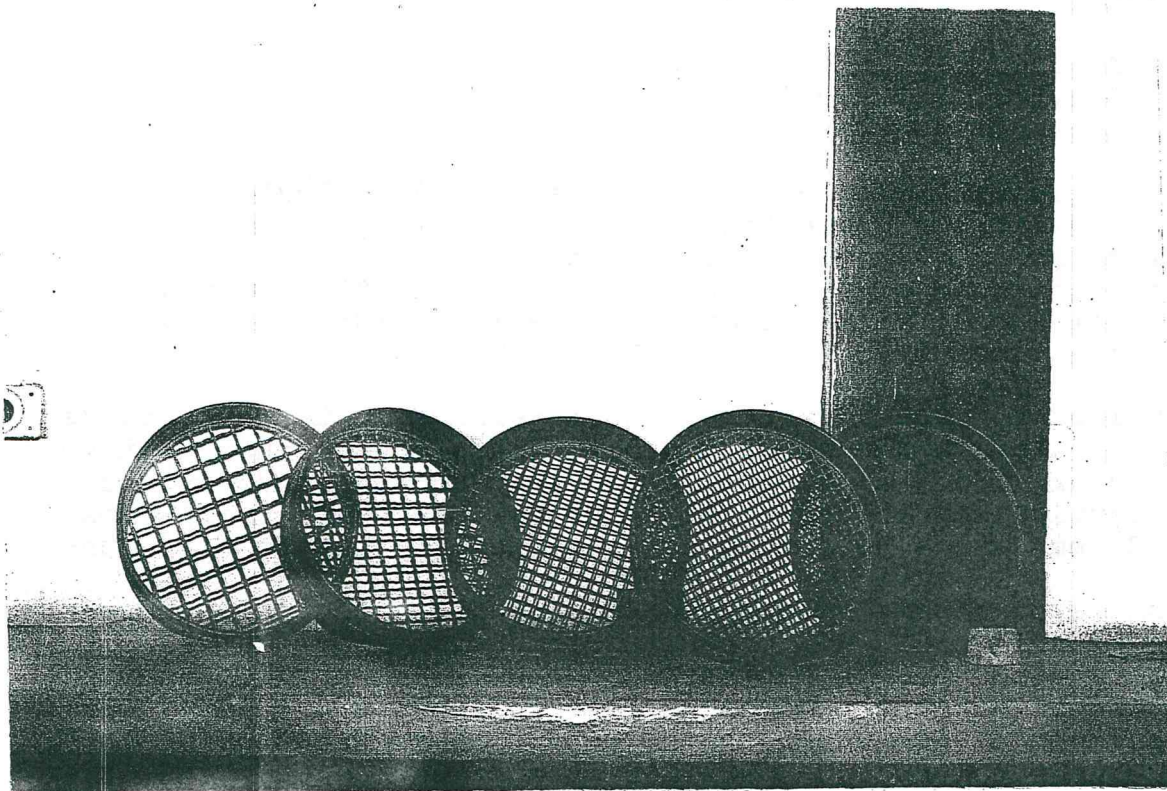
$$D = \frac{88 \times 2.0 \times 364}{100(100 - 9)} = 7.04$$

$$\text{Por ciento de arena: } 91.0 - 28.82 = 62.18$$

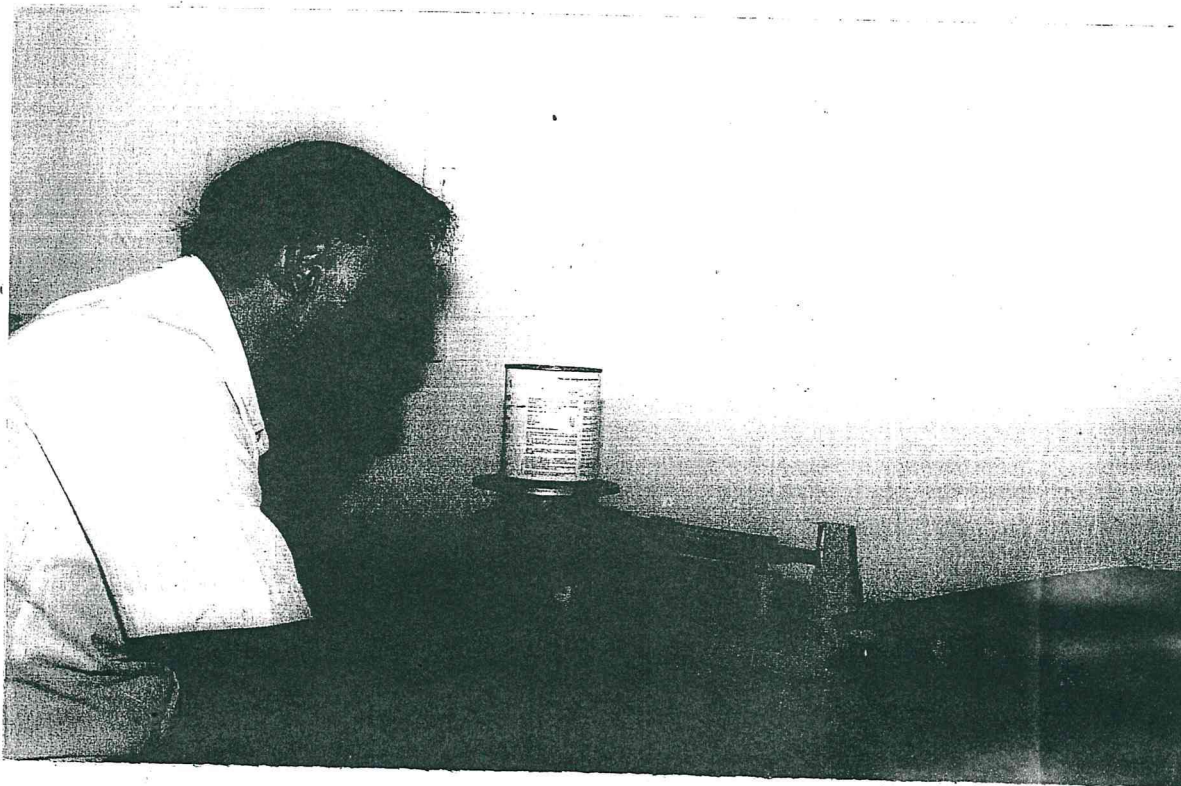
$$\text{Por ciento de limo: } 82.82 - 7.04 = 75.78$$

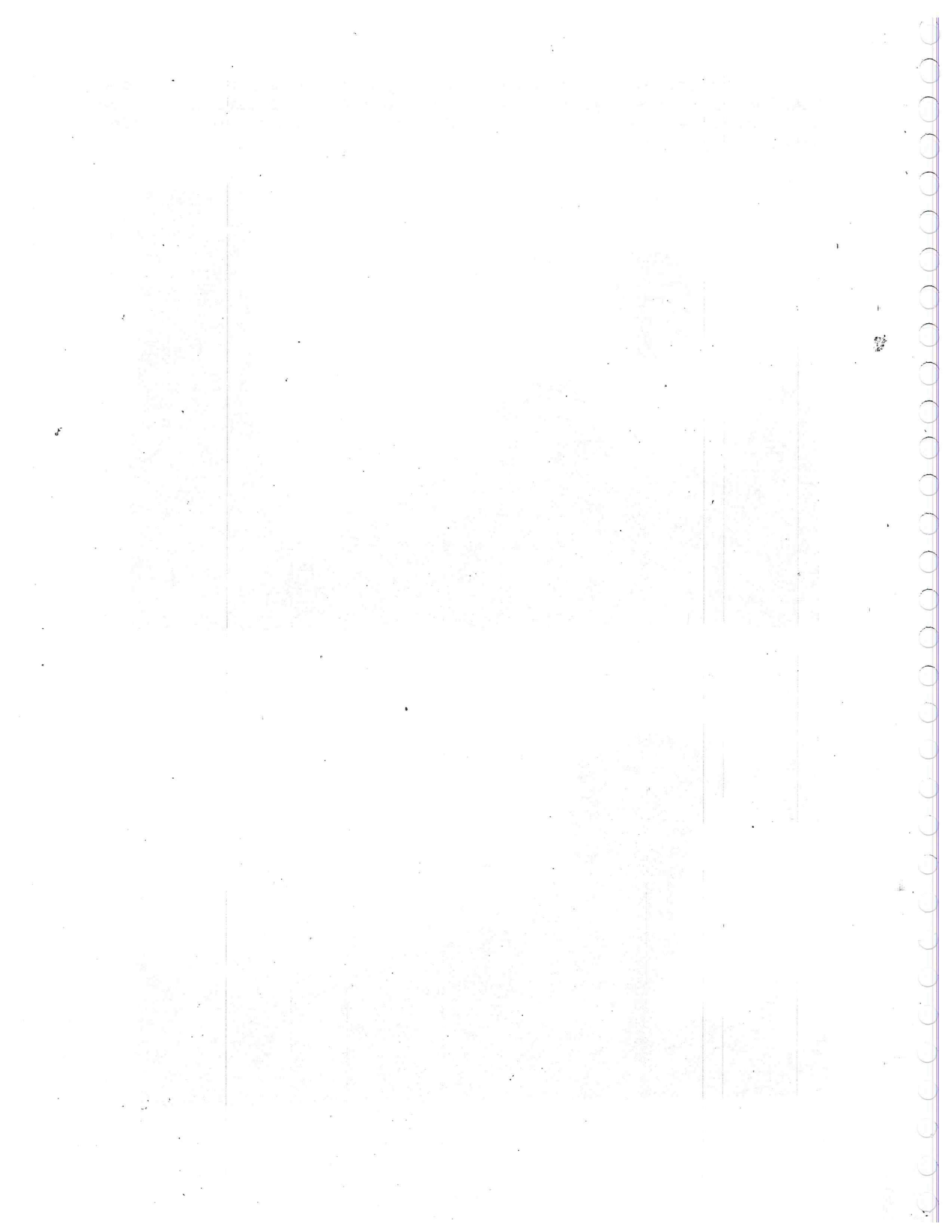
$$\text{Por ciento de arcilla: } 7.04$$

Las propiedades mecánicas del suelo dependen directamente de la relación entre diámetros y el porcentaje de cada tamaño, es decir de la granulometría de las partículas, como se aprecia en las fotos se requieren de juegos de mallas para suelos gruesos y finos.



Observese la manera en que se disponen las mallas, así como también el proceso de agitado que nos habrá de determinar el peso retenido en cada una de las mallas; para posteriormente poder pesar este material.





U.A.S

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MAZATLÁN

Laboratorio de mecánica de suelos

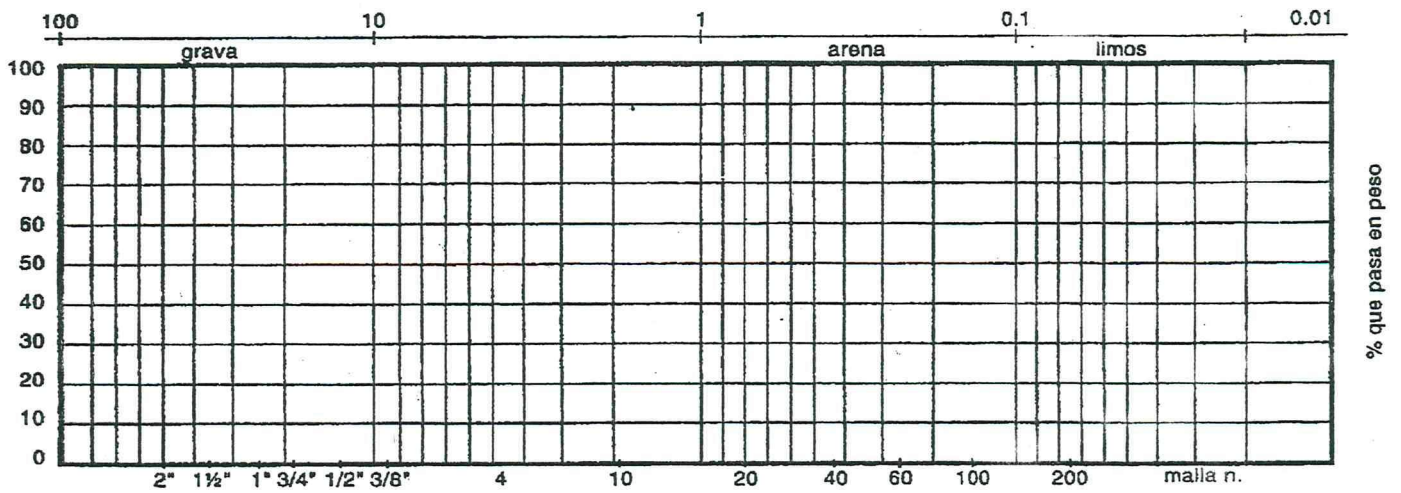
ANALISIS GRANULOMETRICO

RET. N. 4 PASA N. 4

Table with 3 columns: Measurement type, RET. N. 4, PASA N. 4. Rows include: POR CIERTO, TARA 1 MUESTRA HUMEDA, TARA 1 MUESTRA SECA, PESO AGUA, PESO TARA, PESO MUESTRA SECA, CONTENIDO DE HUMEDAD.

Obra: _____
Localización: _____
Sondeo N. _____
Muestras: _____
Prof. _____
Material: _____

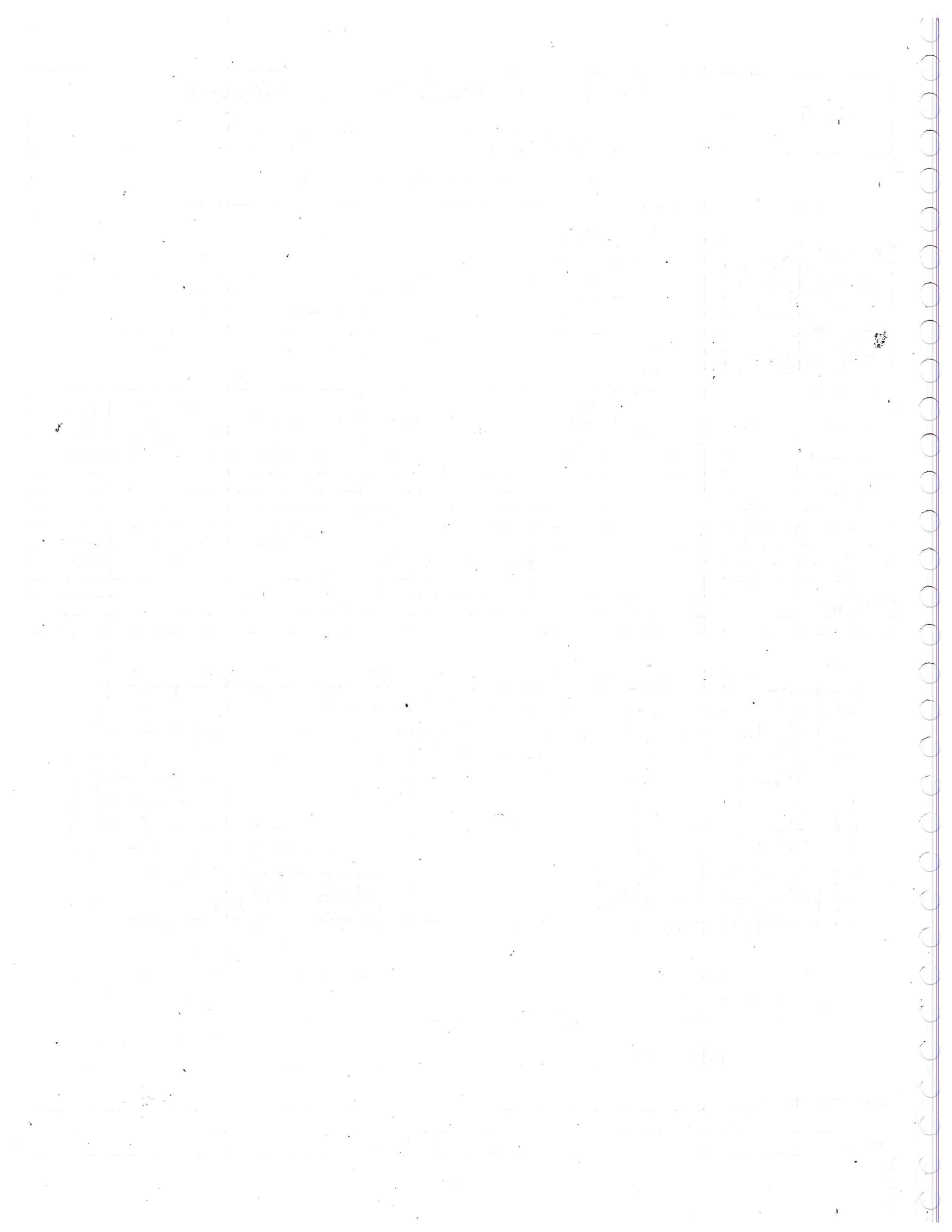
Main data table with 10 columns: Malla N., Abertura, Peso suelo retenido, Por ciento retenido parcial, Por ciento que pasa, Malla N., Abertura, Peso suelo retenido, Por ciento retenido parcial, Por ciento que pasa. Rows include: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N. 4 1/4", Pasa N. 4, Suma.



D10= _____ mm Cu = D60 / D10 = _____ = _____ 3"= _____ %
D30= _____ mm G= _____ %
D60= _____ mm Cc = (D30)2 / (D10 x D60) = _____ = _____ S= _____ %
F= _____ %

CLASIFICACION SUCS _____

OBSERVACIONES _____
FECHA _____



DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG.

Las pruebas de Atterberg tienen por objeto determinar la plasticidad de la porción de material que pasa la malla Núm. 40 y que forma parte de un suelo. La plasticidad es una propiedad de las arcillas que les permite cambiar su forma, sin agrietarse, cuando se les sujeta a una presión, reteniendo su nueva forma cuando desaparece el esfuerzo aplicado.

La plasticidad se considera que se debe a la presencia de una película gelatinosa que rodea a los granos de arcilla. En algunos casos, este material gelatinoso pierde su poder de adquirir agua, cuando ha sido secado totalmente; de aquí la necesidad de hacer las pruebas de Atterberg en materiales que se han secado parcialmente, para tomar por cuarteo la porción de muestra con que se van a verificar dichas pruebas.

Es necesario también dejar el material con cierta humedad un tiempo no menor de 24 horas, a fin de permitir que ponga de manifiesto su plasticidad.

A continuación se enumeran los siguientes aspectos con relación a las pruebas que se verifican para determinar los límites de consistencia o límites de Atterberg y a su vez pruebas complementarias.

1. El límite líquido de un suelo plástico se define como el estado de dicho suelo para el cual se considera que existe una división entre las consistencias plástica y semilíquida. En los suelos de características arenosas, el límite líquido queda expresado por la humedad que contiene el suelo en el estado que separa las consistencias semi-sólida y semi-líquida.

2. El límite plástico es el estado en que se considera que existe una división entre las consistencias plástica y semi-sólida de un suelo. En los suelos de características arenosas, el límite plástico coincide con el límite líquido.

3. El índice plástico, o índice de plasticidad, es la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

4. El equivalente de humedad de campo se define como la humedad mínima requerida para que una gota de agua colocada en la superficie alisada del suelo, no sea absorbida totalmente, sino que permanezca extendida en dicha superficie dándole una apariencia brillante, durante 30 segundos.

5. La contracción lineal de un suelo es la reducción del volumen del mismo, medida en una de sus dimensiones y expresado como porcentaje de la dimensión original, cuando la humedad se reduce desde la correspondiente al límite líquido hasta el límite de contracción. El límite de contracción corresponde al contenido de agua para el cual el suelo alcanza su máxima contracción.

Los cambio volumétricos perjudican grandemente la estabilidad de los suelos, pues en el tiempo de estiaje cuando disminuye la humedad, las contracciones que sufre el material provocan la formación de grietas que fácilmente permiten el paso del agua durante la temporada de lluvias, lo que disminuye considerablemente el poder soportante de los suelos, llegando frecuentemente a provocar fallas de trascendencia.

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO.

Equipo Necesario:

1. Una cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
2. Una espátula de hoja de acero flexible de 12 cm.
3. Un dispositivo mecánico (Aparato de Casagrande) para la detrmición del límite líquido.
4. Una balanza de un centésimo (0.01) de gramo de aproximación.
5. Vidrios de reloj o cápsulas con tapa para la muestra de humedad.
6. Un horno que mantenga una temperatura constante entre (100°C y 110°C).

Procedimiento de determinación de límite líquido.

1. Para determinar el límite líquido se tomará una muestra de 150 gramos aproximadamente, del material preparado con lo especificado; se colocará en una cápsula de porcelana y se procederá a hacer homogéneo el material, manipulándolo con una espátula, sin aplicar una presión excesiva.

2. Una vez logrado lo anterior, se colocará en la copa de latón del aparato de Casagrande, en cantidad ligeramente excedida, de manera que al ser extendido el material por medio de una espátula se tenga en el centro un espesor de un (1) cm.

3. El material deberá ser extendido del centro a los extremos y, una vez nivelado con la espátula, se procederá a dividirlo en mitades utilizando el ranurador. Cuando se trate de materiales de características arenosas en los cuales se dificulta la ranura en la forma usual, se recomienda que se corte con la espátula la sección en "V" de la ranura, se remueva el material y se utilice el ranurador para comprobar que la sección es la correcta.

4. Accionando la manivela, se hará caer la copa desde una altura de un (1) cm, a razón de dos (2) golpes por segundo, el número de veces necesario para lograr una liga íntima de los bordes inferiores de la ranura, en una longitud de 13 mm (0.5").

5. Si el número de golpes es superior a 25, la humedad de la muestra es inferior al límite líquido, debiendo entonces retirarse el material de la copa, juntarlo al que quedó en la cápsula y agregar una pequeña cantidad de agua, manipulando con la espátula hasta lograr una distribución uniforme de la misma.

6. Si la humedad de la muestra ensayada resulta superior al límite líquido, es decir si el número de golpes necesario para cerrar la ranura es inferior a 25, entonces deberá dejarse evaporar el agua removiendo constantemente el material con la espátula; por ningún motivo deberá agregarse material seco para disminuir la humedad.

7. La prueba se repetirá el número de veces necesario para lograr que con 25 golpes se cierre la ranura en la forma especificada.

8. La humedad que contiene la muestra en estas condiciones es precisamente la del límite líquido. Para determinarla se tomará una muestra del material del centro de la copa y se procederá a hacer la determinación de la humedad usando la fórmula siguiente:

$$W_L = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_t} \times 100$$

Siendo:

W_L = Humedad del límite líquido.

P_1 = Peso de la muestra húmeda + peso del recipiente.

P_2 = Peso de la muestra seca + peso del recipiente.

P_t = Peso del recipiente.

Causas frecuentes de error en esta prueba:

1. Desajuste en el aparato de Casagrande. La altura de caída de la copa deberá ser de un centímetro y deberá rectificarse a menudo, por medio de la sección recta del mango del ranurador, que tiene precisamente esa dimensión.

2. Que la cantidad de material colocado en la copa no sea la correcta. Deberá verificarse esto al hacer la ranura, comprobando que la altura máxima que alcance el material en la copa, sea precisamente la del ranurador o sea, un centímetro. Es conveniente poner una marca en la copa para indicar hasta dónde debe llegar el material, cuando se ha colocado la cantidad correcta. Deberá colocarse siempre un ligero exceso de material y eliminar dicho excedente al alisar con la espátula, a fin de evitar tener que colocar dos porciones de material.

3. Para la apreciación correcta de la longitud en que se cierra la ranura, deberá separarse cuidadosamente el material con la ayuda de la espátula a ambos lados de la parte central donde la ranura se cerró, hasta dejar bien definida la zona donde hubo una liga íntima del material colocado a ambos lados en la ranura.

4. La presencia de burbujas de aire entre el material y la copa da origen a una determinación falsa del límite líquido, haciendo que el material fluya aun cuando su contenido de humedad sea menor. Estas burbujas deberán evitarse al llenar la copa, colocando el material en el centro y extendiéndolo hacia ambos lados, presionando con la espátula el material sobre la copa de latón, para evitar la formación de grietas en el material.

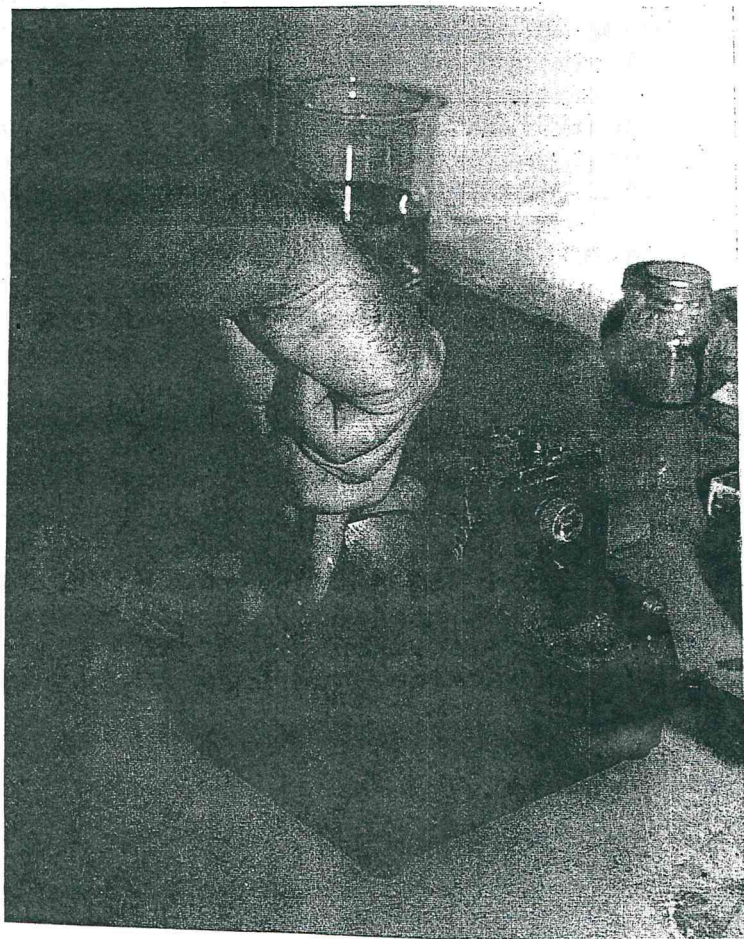
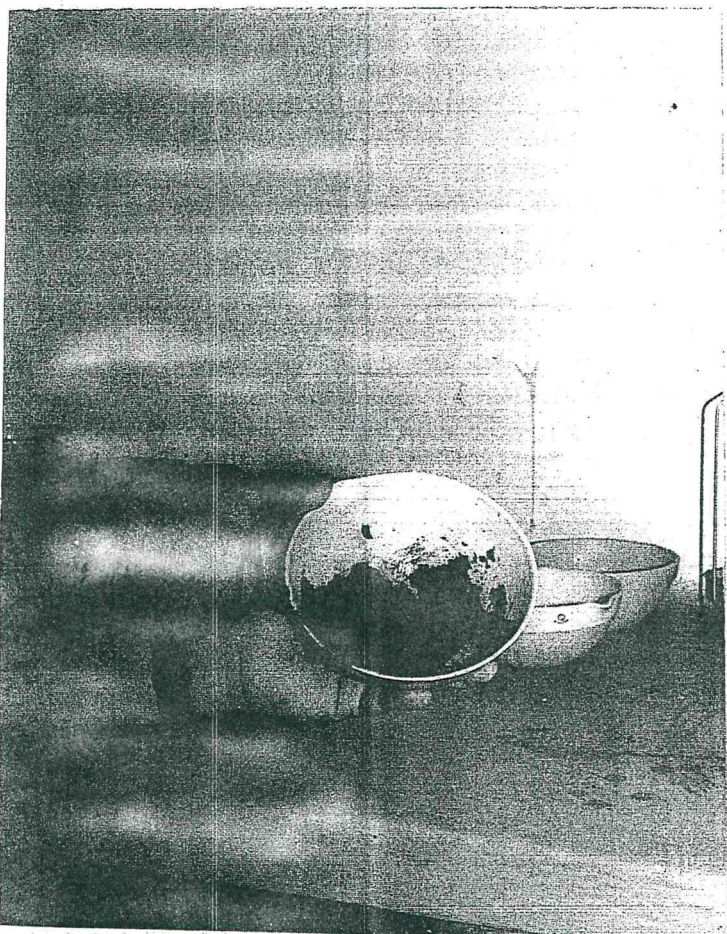
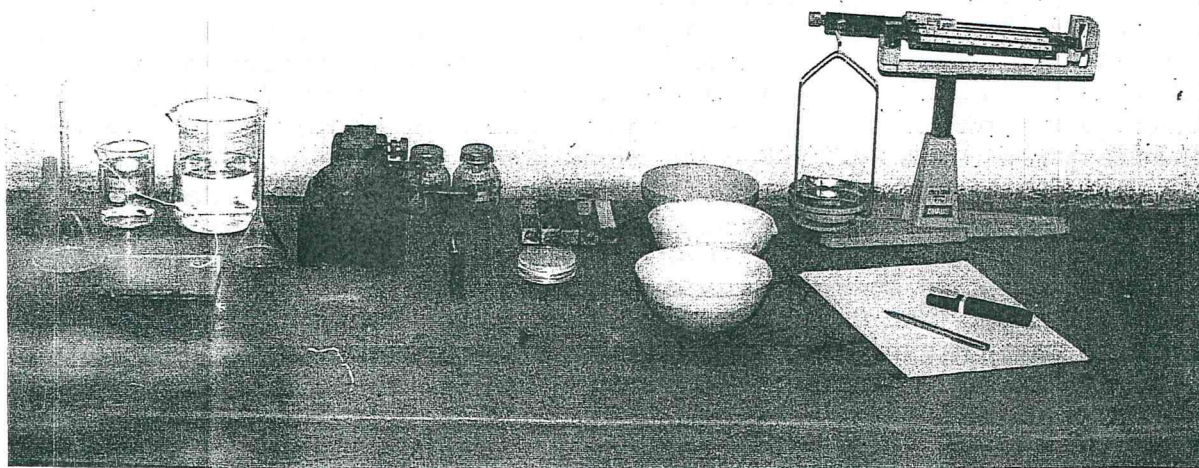
5. Los defectos de pesada pueden deberse a un desajuste de la balanza, en cuyo caso deberá ésta corregirse; o bien la pérdida de humedad por dejar pasar tiempo entre la obtención de la muestra de humedad y la operación de pesar.

6. El operador deberá tener especial cuidado en que el número de golpes sea precisamente (2) por segundo y de mantener constante los intervalos entre golpe y golpe; ayudándose con un reloj que tenga segundero o preferiblemente con un cronómetro.

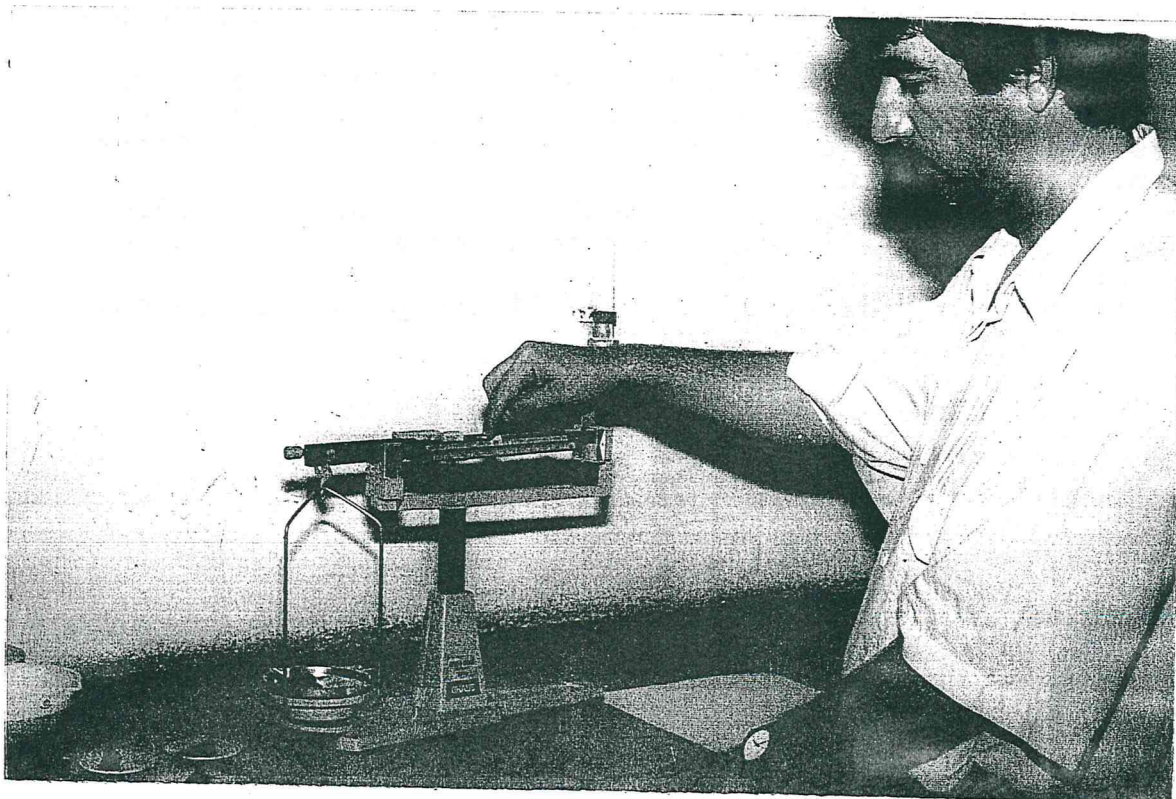
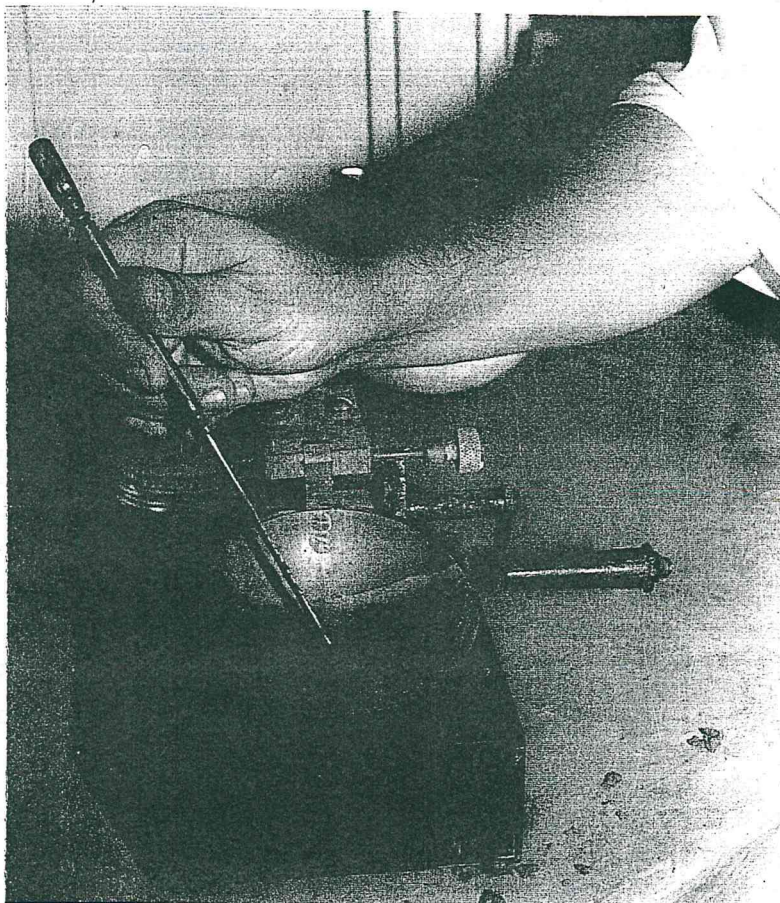
7. Una separación de la ranura mayor que la especificada, puede deberse a defectos del ranurador, si se hubiera desgastado por el uso, por lo que se recomienda que se verifique con regularidad si las dimensiones de éste son las especificadas.

8. El operador deberá invariablemente limpiar la copa y el ranurador después de cada determinación, antes de que se seque el material que hubiere quedado adherido a ellos.

En lo que corresponde a la determinación de los límites de consistencia o de Atterberg, podemos ver en las ilustraciones siguientes el equipo por utilizar; así como la preparación de la muestra con su respectiva humedad. Es importante también la colocación del ranurador en la parte superior y al centro de la muestra; perpendicular a la superficie de la copa de Casagrande.



Una vez asegurandose que la copa y la base estén limpias y secas, se procede a dar vueltas a la manija a razón de dos golpes por segundo, donde habremos de considerar el número de golpes requerido hasta que cierre en el fondo de la ranura en una distancia de 1 cm. Se pesan aproximadamente 30 gr. de la porción de la muestra.



DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO.

Equipo necesario:

1. Una cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
2. Una espátula de hoja de acero flexible de 12 cm.
3. Una placa de vidrio de (40*40*1.5) cm.
4. Una placa de vidrio de (11*11*0.6) de centímetro con (2) cinchos paralelos de alambre de (3.2) mm (1/8) de diámetro.
5. Una balanza de (0.01) de gramo de aproximación.
6. Vidrios de reloj o cápsulas con tapa para la determinación de humedad.
7. Un horno que mantenga la temperatura constante entre (100°C y 110°C).

Procedimiento de prueba.

1. Se tomará una muestra del material preparado, con la cual se formará una pequeña bola de 12 mm de diámetro aproximadamente, que deberá moldearse con los dedos y a la cual se le dará una forma cilíndrica, manipulando sobre la palma de la mano, aplicando con los dedos la presión necesaria para formar un cilindro, que se colocará en la placa de vidrio.

2. En ésta se continuará el rodillado, ejerciendo con la palma de la mano una presión muy ligera, hasta que el cilindro alcance un diámetro ligeramente mayor de 3.2 mm (1/8") y se continuará el rodillado utilizando la placa de vidrio que lleva los cinchos de alambre hasta alcanzar el diámetro especificado de 3.2 mm.

3. Si al alcanzar dicho diámetro el cilindro no se rompe en varias secciones simultáneamente, su humedad es superior a la del límite plástico. En este caso se juntará todo el material, se formará nuevamente una bola manipulando con los dedos para facilitar la pérdida de agua y la distribución uniforme de la humedad y se volverá a formar el filamento, repitiendo todas las operaciones antes descritas.

4. Este proceso se repetirá el número de veces necesario hasta que se produzca un rompimiento del filamento en varios segmentos simultáneamente, al momento de alcanzar el diámetro de 3.2 mm.

5. Se tomarán todos los fragmentos en que se ha dividido el filamento y se hará la determinación de humedad de acuerdo con lo especificado.

6. La humedad correspondiente al límite plástico se calculará con la fórmula:

$$W_p = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_t} \times 100$$

En donde:

W_p = Humedad en el límite plástico.

P_1 = Peso de la muestra húmeda más peso del recipiente.

P_2 = Peso de la muestra seca más peso del recipiente.

P_t = Peso del recipiente.

Causas frecuentes de error en la prueba.

1. Siendo pequeña la cantidad de muestra tomada, cualquier error se amplificaría notablemente, por lo que deben extremarse las precauciones tomadas para lograr una pesada correcta.

2. Debe hacerse hincapié en que por ningún motivo deberá agregarse material seco para bajar la humedad del material, si no que esto deberá lograrse manipulando en la forma indicada para permitir la evaporación del agua.

3. Como ya se explicó, el rompimiento del cilindro deberá ocurrir precisamente en el momento en que éste alcance el diámetro de 3.2 mm, cuando el material se encuentra con la humedad correspondiente al límite plástico; cuando la humedad es inferior a la del límite plástico, el rompimiento se efectúa antes de que se alcance el diámetro especificado.

4. Verificar siempre que la determinación de la humedad se haga precisamente tomando todos los fragmentos en que se dividió el cilindro de material plástico.

5. El material adherido al cristal dificulta o impide la formación del cilindro, por lo que deberá mantenerse limpio al momento de formar la prueba, tanto del cristal sobre el cual se hace el rodillo, como el que se utiliza para alcanzar el diámetro especificado.

6. Deberá verificarse periódicamente que el diámetro del alambre de 3.2 mm (1/8") no sea menor que el especificado, por haberse desgastado, en cuyo caso deberán substituirse los cinchos.

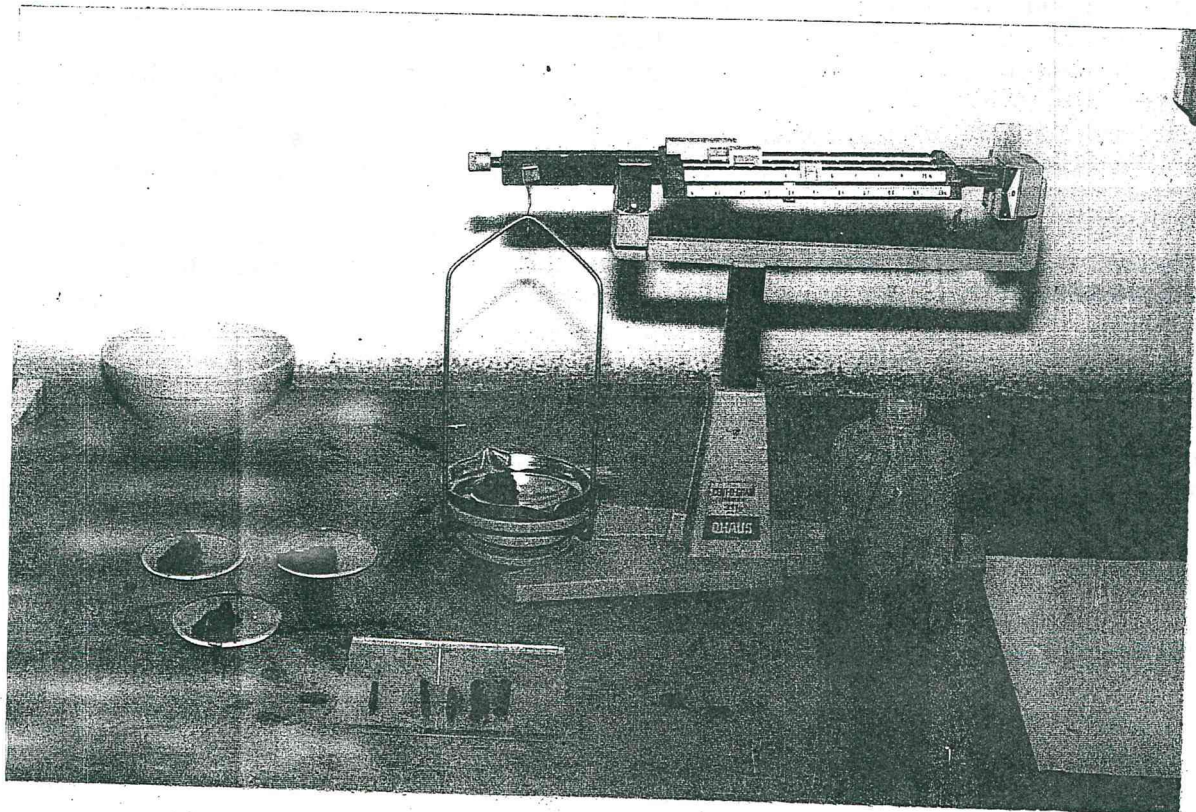
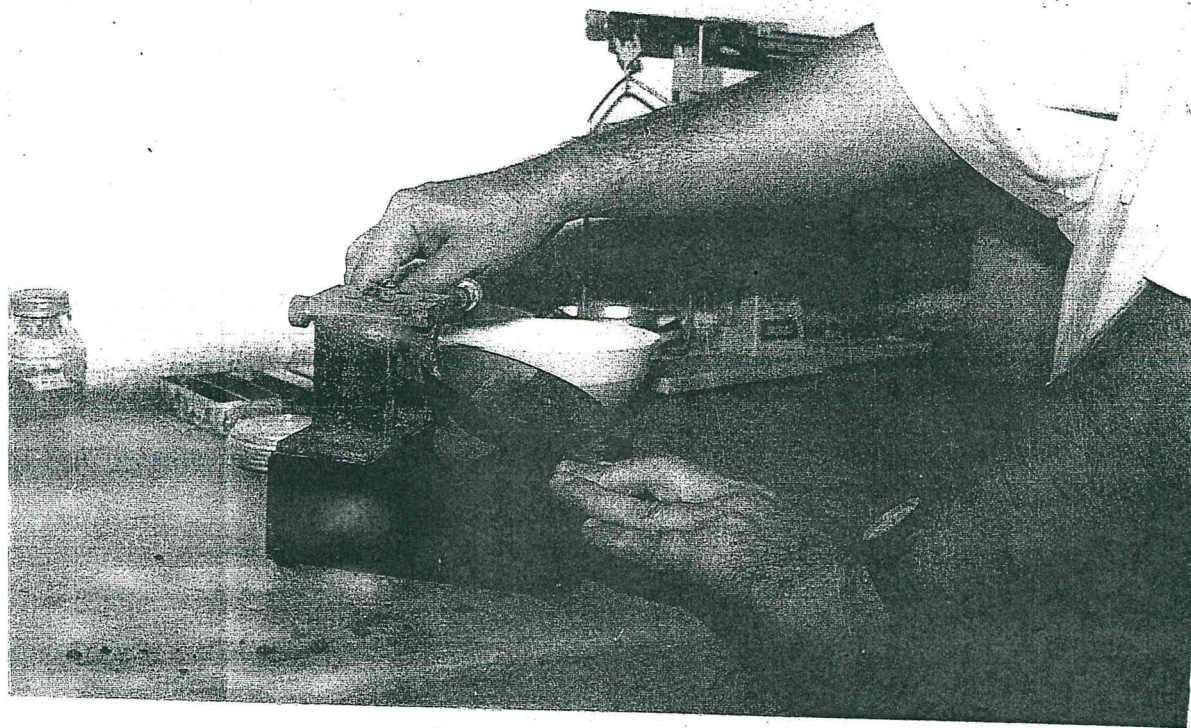
DETERMINACION DEL INDICE PLASTICO.

Para la determinación del índice plástico de un suelo deberá tomarse en cuenta, que este queda expresado por la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico de dicho suelo.

$$I.P. = W_L - W_p$$

El índice plástico es una medida de la amplitud de la consistencia plástica del suelo.

El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido aproximadamente a 3.2 mm. de diámetro. Este cilindro es dividido y se ponen los pedazos en dos vidrios de reloj y luego pesar este material.



DETERMINACION DE LA CONTRACCION LINEAL.

Equipo y material necesario:

1. Una cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
2. Una espátula de hoja de acero flexible de 12 cm.
3. Moldes de lamina galvanizada del Num.16, de (10*2*2) cm de dimensiones interiores.
4. Grasa grafitada.
5. Un calibrador con vernier del tipo Máuser.
6. Un horno que mantenga una temperatura constante entre (100°C y 110°C).

Procedimiento de prueba.

1. Para esta determinación se utilizará el material que sobrò de la prueba del límite líquido inmediatamente después de terminada esta última o, en su defecto, una muestra preparada que contenga la humedad del límite líquido.

2. Con la mezcla de suelo y agua en las condiciones indicadas, se procederá al llenado del molde de prueba que deberá haber sido engrasado previamente para evitar que se adhiera material a las paredes.

3. El llenado de los moldes se efectuará en 3 capas y golpeando en cada ocasión el molde contra una superficie dura.

4. Para verificar esta operación, deberá tomarse el molde de sus dos extremos y golpearlo, procurando siempre que el impacto lo reciba en toda su base, lo cual se consigue manteniendo durante la caída, paralela la base del molde a la superficie sobre la cual se golpea.

5. La operación deberá continuarse hasta lograr la expulsión total del aire.

6. Al final, se enrasará el material en el molde utilizando una espátula.

7. Deberá dejarse secar la barra al aire, hasta que su color cambie de obscuro a claro y a continuación, se pondrá a secar en el horno por un periodo de 18 horas aproximadamente.

8. Posteriormente con el calibrador, se medirá la longitud de la barra de material seco y la longitud interior del molde.

9. Se calculará la contracción lineal de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C.L. = \frac{(L_1 - L_2) * 100}{L}$$

En la cual:

C.L. = Por ciento de contracción lineal, con respecto a la longitud original de la barra de suelo húmedo.

L₁ = Longitud del molde o sea, de la barra de suelo húmedo.

L₂ = Longitud de la barra de suelo seco.

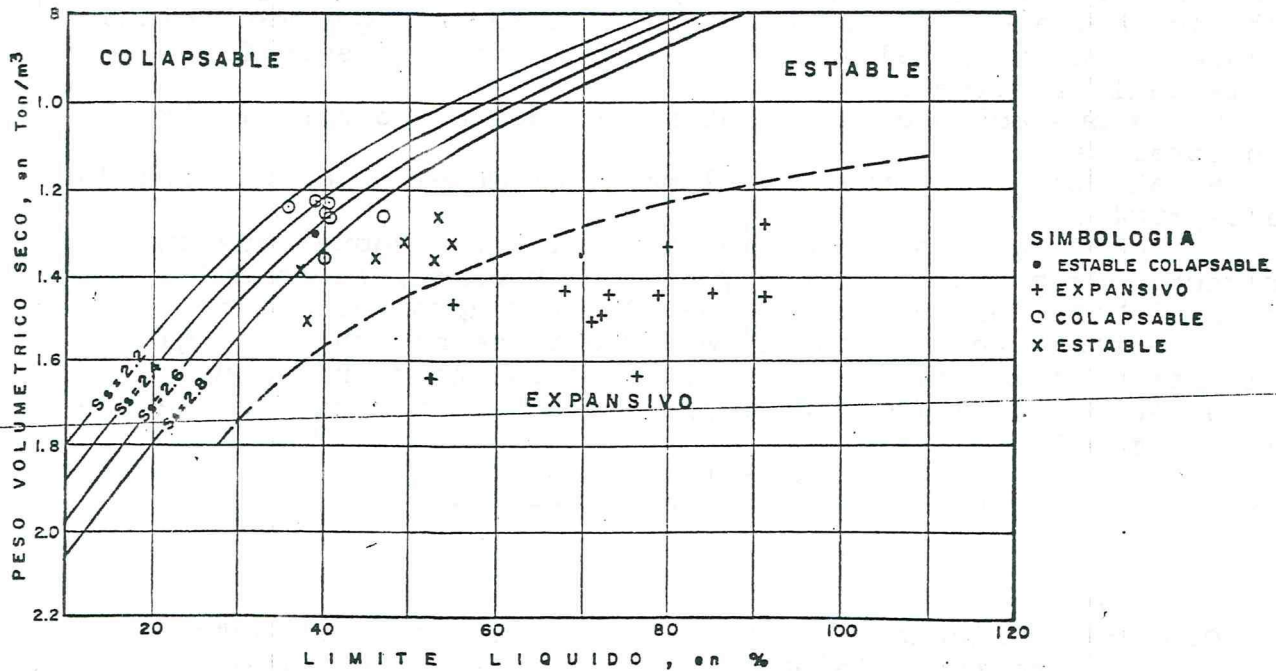
Causas frecuentes de error en la prueba de contracción lineal.

1. La forma incorrecta de golpear el molde, operación que deberá hacerse en la forma especificada para evitar diferencias de compactación, que se originarían por concentraciones del material en los extremos del molde, si para golpear éste se sujeta por uno de sus extremos.

2. Al compactar cada capa deberá darse el número necesario de golpes hasta que no aparezcan burbujas de aire en la superficie.

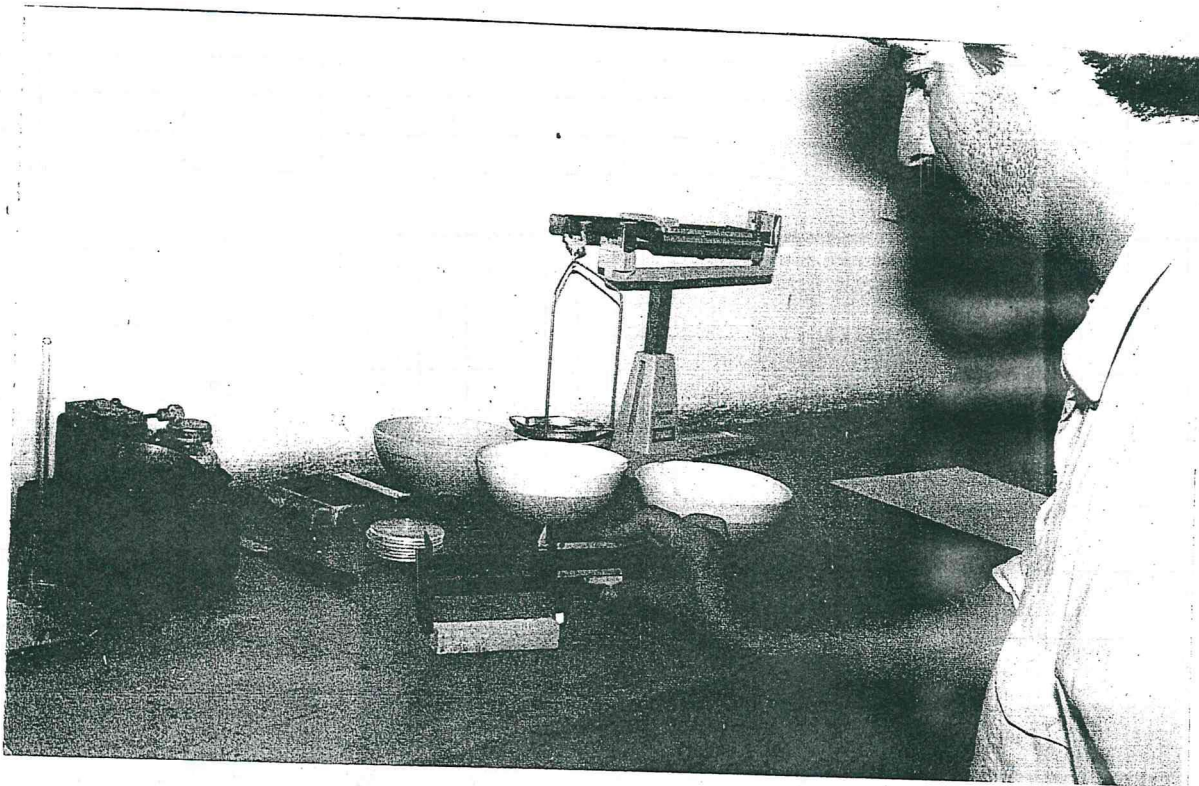
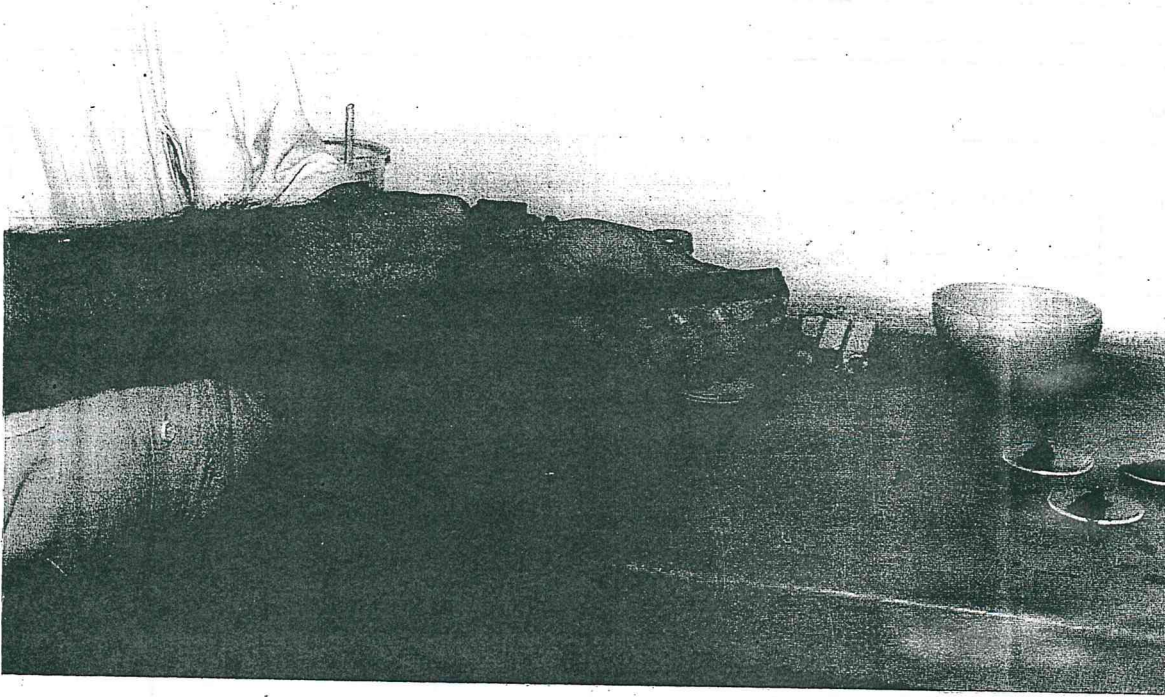
3. La barra deberá secarse al aire antes de introducirla al horno, a fin de evitar que se agriete o deforme, principalmente cuando se trate de materiales muy plásticos.

4. Al hacer la medición de la barra de suelo seco, deberá colocarse el calibrador lateralmente en la porción media de la barra.



Criterio del Bureau of Reclamation para identificación de suelos expansivos o colapsables.

Para la determinación del límite de contracción, se procede a llenar la barra metálica del material en estudio y su vez expulsando el aire atrapado; para posteriormente colocar esta probeta dentro del horno a la temperatura requerida.



U.A.S

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MAZATLÁN

Laboratorio de mecánica de suelos

LIMITES DE CONSISTENCIA

Obra: _____ Sondeo No. _____ Ensaye No. _____

Localización: _____ Muestra No. _____ Prof. _____

Descripción: _____

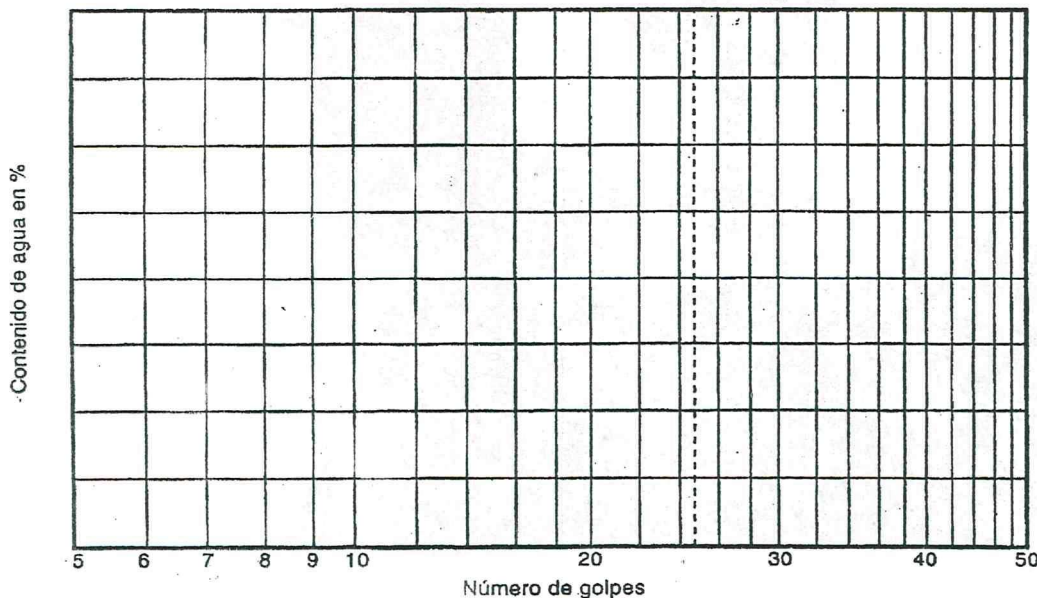
Fecha: _____ Operador: _____ Calculo: _____

LIMITE LIQUIDO

Prueba No.	Capsula No.	Numero de golpes			Peso caps. + Suelo Humedo	Peso capsula + Suelo seco	Peso del agua	Peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua (W)
		-----	-----	-----						

LIMITE PLASTICO

LIMITE NATURAL



W = _____ %

LL = _____ %

LP = _____ %

IP = _____ %

$Cr = \frac{LL - W}{IP} =$ _____ %

FW = _____ %

$TW = \frac{IP}{FW} =$ _____ %

Clasif. Suc. _____

OBSERVACIONES _____

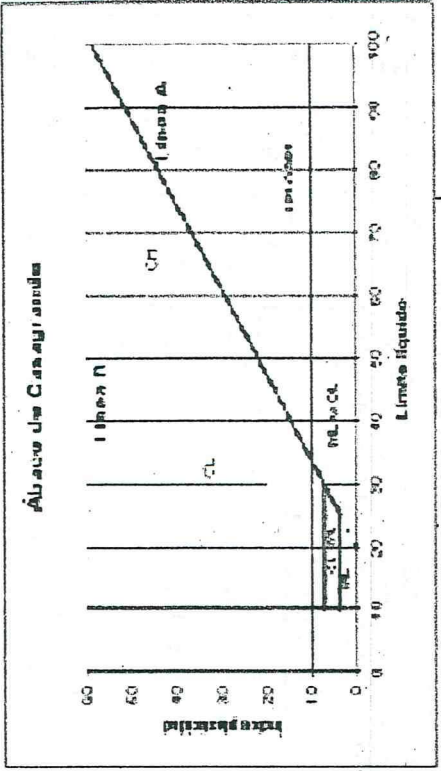
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (S.U.C.S.)

DIVISION MAYOR		simbol	NOMBRES TIPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO					
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS	Más de la mitad del material es retenido en la malla núm. 200 Las partículas de 0.074 mm de diámetro (malla no. 200) son, aprox., las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS. MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR LA MALLA No. 4. PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE 1/2 CM. COMO EQUIVALENTE ABERTURA MALLA No. 4.	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.	Coeficiente de uniformidad C_u : mayor de 4 Coeficiente de curvatura C_c : entre 1 y 3 $C_u = (D_{60})/(D_{10})$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$				
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW			
			G <u>M</u>	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	Límites de Atterberg abajo de la "Línea A" o I.P. menor que 4	Arriba de la "Línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.		
				u	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.				
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Límites de Atterberg arriba de la "Línea A" con I.P. mayor que 7.				
			ARENAS. MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR LA MALLA No. 4. PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE 1/2 CM. COMO EQUIVALENTE ABERTURA MALLA No. 4.	ARENAS. MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR LA MALLA No. 4. PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE 1/2 CM. COMO EQUIVALENTE ABERTURA MALLA No. 4.	ARENAS. MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR LA MALLA No. 4. PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE 1/2 CM. COMO EQUIVALENTE ABERTURA MALLA No. 4.	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ mayor de 6, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ entre 1 y 3	
	SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.				No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW			
	S <u>M</u>	d				Arenas limosas, mezclas de arenas y limo.	Límites de Atterberg abajo de la "Línea A" con I.P. menor que 4	Arriba de la "Línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.	
		u				Arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcilla.			
	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcilla.				Límites de Atterberg arriba de la "Línea A" con I.P. mayor que 7.			
	EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS								
	G = GRAVAS, M = LIMO, S = ARENAS, C = ARCILLAS, Q = SUELOS ORGANICOS, W = BIEN GRADUADOS, P = MAL GRADUADOS, Pt = TURBA L = BAJA COMPRESIBILIDAD, H = ALTA COMPRESIBILIDAD								
SUELOS DE PARTICULAS FINAS	Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 Las partículas de 0.074 mm de diámetro (malla no. 200) son, aprox., las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50%	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	CARTA DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN LAB				
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.					
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.					
			MH	MH		Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.			
				CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.			
	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50%	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50%	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50%	OH		Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.			
				Pt		Turbas y otros suelos altamente orgánicos.			
				CARTA DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN LAB					
				G = GRAVAS, M = LIMO, S = ARENAS, C = ARCILLAS, Q = SUELOS ORGANICOS, W = BIEN GRADUADOS, P = MAL GRADUADOS, Pt = TURBA L = BAJA COMPRESIBILIDAD, H = ALTA COMPRESIBILIDAD					

IDENTIFICACION DE LABORATORIO

DIVISIONES PRINCIPALES		NOMBRES TÍPICOS		Simbolos del grupo	
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	GW	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% -> GW, GP, SW, SP. >12% -> GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.
		(sin o con pocos finos)	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	GP	
	ARENAS	Gravas con finos	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	GM	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4. Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo. CU = $D_{50}/D_{10} > 6$ CC = $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4. Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7.
		(apreciable cantidad de finos)	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.	GC	
		Arenas limpias	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	SW	
		(pocos o sin finos)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	SP	
	MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA POR EL TAMIZ NÚMERO 4 (4,76 mm)	Arenas con finos	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	SM	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
		(apreciable cantidad de finos)	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	SC	

SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:	Limos y arcillas:	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	ML	
		Límite líquido menor de 50	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.	CL	
	Limos y arcillas:	Limos y arcillas:	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.	OL	Límite líquido.
		Limos y arcillas:	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.	MH	
		Limos y arcillas:	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.	CH	
		Limos y arcillas:	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.	OH	
	Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Suelos muy orgánicos	PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.	



Clasificación general	Materiales granulares							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	(35% o menos pasa por el tamiz N° 200)										
	A-1	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo:	A-1-a	A-1-b					A-4	A-5	A-6	A-7	
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	-				-	-	-	-	
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40	35 máx										
Límite líquido	-										
Índice de plasticidad	-										
Constituyentes principales	Grava y arena arcillosa o limosa										
Características como subgrado	Excelente a bueno										
	Pobre a malo										

(1): No plástico

(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Índice de grupo :

$$IG = (F - 35) \cdot |0,2 + 0,005 \cdot (LL - 40)| + 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$$

Siendo :

F : % que pasa el tamiz ASTM n° 200.

LL : límite líquido.

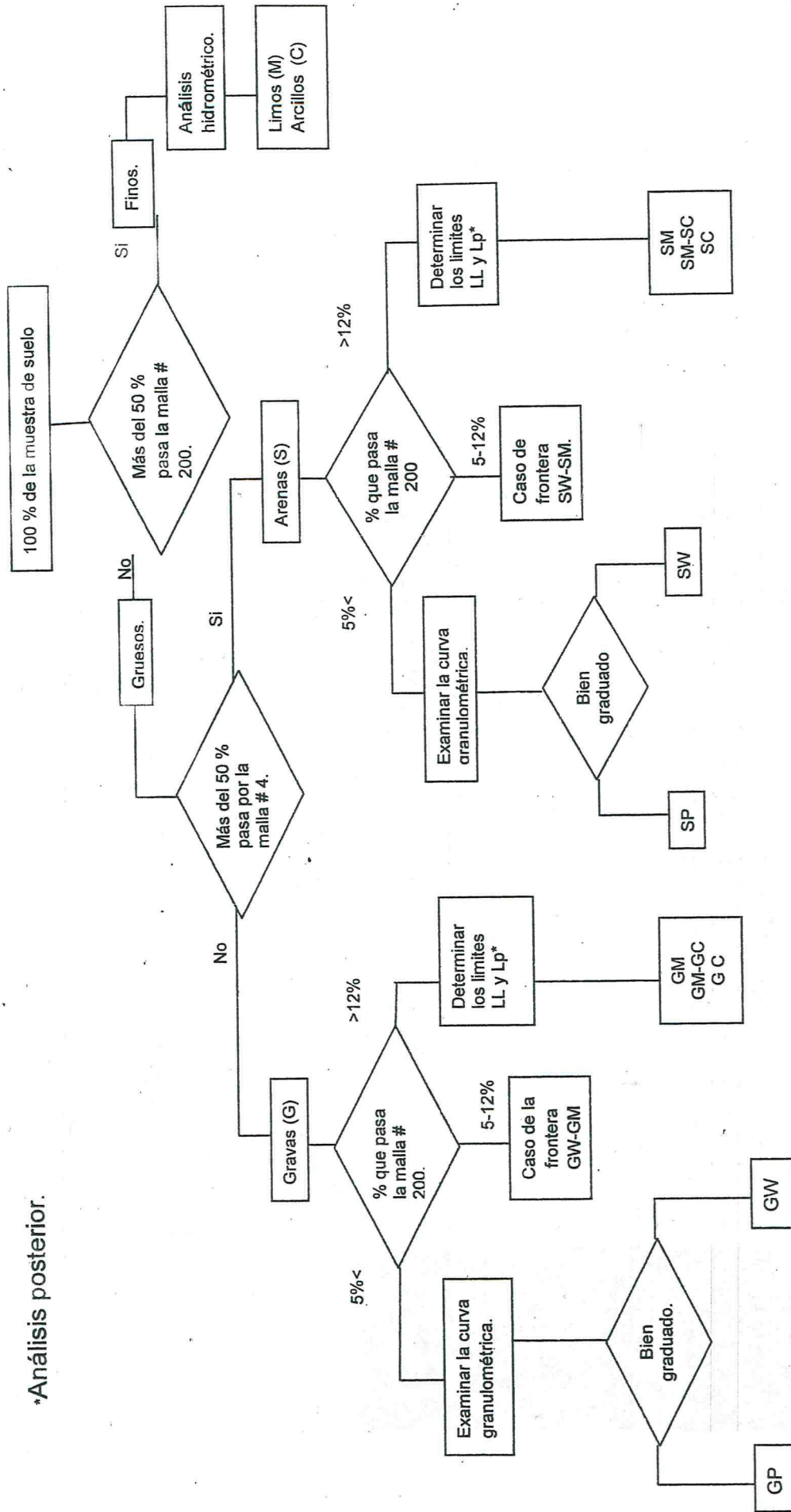
IP : índice de plasticidad d.

El índice de grupo para los suelos de los subgrupos A - 2 - 6 y A - 2 - 7 se calcula usando sólo : $IG = 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$

CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR MEDIO DEL ANALISIS GRANULOMETRICO.

P= Mal graduado.
W= Bien graduado.

*Análisis posterior.



PRUEBAS CON PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE.

En 1856, H. Darcy estableció la ley que rige el flujo del agua a través de los suelos, expresandola como sigue:

$$Q = K i A$$

En donde:

Q = Gasto que pasa a través de la muestra.

K = Coeficiente de permeabilidad.

i = Gradiente hidráulico.

A = Area de la sección transversal de la muestra.

Esta expresión sólo es válida si el escurrimiento es laminar. El coeficiente de permeabilidad K depende del tamaño y forma de los granos que componen el suelo, de la relación de vacíos, del grado de saturación, del contenido de materia orgánica y de la temperatura y solubilidad de sus elementos. Siendo este coeficiente distinto para cada tipo de suelo, es necesario determinarlo experimentalmente, mediante pruebas de permeabilidad en cada caso particular.

El permeámetro de carga constante se utiliza para suelos relativamente permeables, tales como gravas, arenas y mezclas de arena y grava.

Los coeficientes de permeabilidad para esta clase de suelos varían de 10^2 a 10^{-3} cm/seg.

El procedimiento consiste en someter la muestra del suelo a un escurrimiento de agua bajo una carga constante. Es necesario conocer el área de la sección transversal de la muestra, su longitud, la carga a que está sometida y la temperatura del agua.

Equipo.

1. Permeámetro de lucita: Diámetro interior, 10 cm, y longitud 20 cm para arenas; 20 cm de diámetro interior, un 1 m de longitud para gravas o mezclas de grava y arena.
2. Dispositivo de abastecimiento.
3. Termómetro.
4. Cronómetro.
5. Pisón metálico de 4 cm de diámetro y 300 gr de peso.
6. Malla Núm. 100 (0.149 mm).
7. Balanza de 2 Kg de capacidad y 0.1 gr de sensibilidad.

Procedimiento.

1. Se mide el diámetro promedio del permeámetro y se determina su área transversal, registrándola en la hoja de cálculo.

2. Se coloca la malla en el extremo inferior del permeámetro y se pesa este conjunto, que se considera como la tara, registrando su valor en el renglón respectivo, así como el número del permeámetro.

3. El material seco se coloca en capas, apisonándolas con un número variable de golpes, a fin de que la muestra quede uniformemente compactada en todo su espesor.

4. Se pesa el permeámetro con la muestra compactada; este peso menos el de la tara representa el peso de la muestra seca, que se anota en el renglón respectivo, así como la longitud total de la muestra (L).

5. Se satura la probeta por capilaridad, sumergiéndola lentamente en un recipiente con agua destilada y procurando que el nivel de la línea de saturación quede arriba del nivel del agua del recipiente, con objeto de que la saturación se efectúe exclusivamente por capilaridad y la expulsión del aire de la muestra sea más efectiva. Al terminar de saturar la muestra, se permite que el agua del recipiente quede arriba del nivel superior de la muestra e inmediatamente se coloca el permeámetro en posición de prueba, agregándole agua hasta derramar, conectándola con el sistema de abastecimiento y dando un gradiente menor que 4, para evitar canalización y boiling. El gradiente i en permeabilidad está dado por el cociente de la carga de agua h entre la longitud de la muestra L .

6. Se deja escurrir el agua por espacio de 15 minutos a fin de establecer el régimen; y una vez logrado esto, se procede a hacer las mediciones.

7. Una vez establecido el régimen, se cierra la llave (1) llenando de agua la bureta por la vena más larga, y se abre la llave (2), hasta llegar a una marca conocida; ciérrase la llave número (2), y conéctese a la atmósfera la vena más larga.

8. Simultáneamente ábrase la llave (2) y póngase en marcha el cronómetro; al pasar el nivel del agua de la bureta por otra marca conocida, se para el cronómetro. El tiempo transcurrido en segundos se anota en la columna tiempo de la hoja de cálculo, la temperatura y el volumen obtenidos por la diferencia de las lecturas de la bureta, se anotan en sus columnas respectivas. Se repite el proceso anteriormente descrito hasta encontrar una concordancia satisfactoria en los resultados, variando la carga de agua.

9. Para calcular el coeficiente de permeabilidad, se aplica la fórmula:

$$K = \frac{V * L}{A * h * t}$$

siendo V el volumen de agua medido, L la longitud de la muestra, A el área de la sección transversal del espécimen, h la carga bajo la cual se produce la filtración y t el tiempo en que se efectuó la prueba, expresado en segundos.

10. Se reduce el valor del coeficiente de permeabilidad a la temperatura de 20°C, mediante la expresión:

$$K_{20} = K_T \frac{\mu T}{\mu 20^\circ}$$

la relación de vacíos e de la muestra se calcula con :

$$e = \frac{V_V}{V_S} = \frac{V_t S_S - W_S}{W_S}$$

siendo V_V volumen de vacíos, V_S volumen de sólidos, V_t volumen total, S_S densidad de sólidos, W_S peso de los sólidos.

VISCOSIDADES DEL AGUA DE 10° A 30°C

Y RELACIONES $\frac{\mu_T}{\mu_{20}}$

GRADOS	μ_T	$\frac{\mu_T}{\mu_{20}}$
10.0°C	1.3077	1.30119
11.0°C	1.2713	1.26497
12.0°C	1.2363	1.23014
13.0°C	1.2028	1.19681
14.0°C	1.1709	1.16507
15.0°C	1.1404	1.13472
16.0°C	1.1111	1.10557
17.0°C	1.0828	1.07741
18.0°C	1.0559	1.05064
19.0°C	1.0299	1.02477
20.0°C	1.0050	1.00000
20.2°C	1.0000	0.99502
21.0°C	0.9810	0.97611
22.0°C	0.9579	0.95313
23.0°C	0.9358	0.93114
24.0°C	0.9142	0.90965
25.0°C	0.8937	0.88925
26.0°C	0.8737	0.86935
27.0°C	0.8545	0.85024
28.0°C	0.8360	0.83184
29.0°C	0.8180	0.81397
30.0°C	0.8007	0.79671

μ_T = VISCOSIDAD DEL AGUA A T°C
 μ_{20} = VISCOSIDAD DEL AGUA A 20°C

PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE.

Los permeámetros de carga variable pueden usarse sólo en suelos relativamente permeables, generalmente arenas y limos o mezclas de esos materiales, no plásticas. La permeabilidad de arcillas se determina en laboratorio con la prueba de consolidación. La razón es que la baja permeabilidad de las arcillas daría lugar a tiempos de prueba tan largos que la evaporación y los cambios de temperatura producirían errores de mucha consideración.

Equipo.

a) Filtro de aire.

1. Tubo de lucita de 4.4 x 6 cm (aproximadamente).
2. Tapones de hule.
3. Tela de malla Número 40.
4. Tela de malla Número 200.

b) Recipiente para la muestra.

1. Tubo de lucita de 4.4 x 16 cm (aproximadamente).
2. Dos tapones de hule.
3. Tela de malla Número 40.
4. Tela de malla Número 200.

c) Equipo accesorio, como termómetro, recipientes evaporadores, probetas graduadas de 10 cm³, balanza, arena de Ottawa, cronómetro, etc.

Preparación de agua desaireada.

La obtención de agua desprovista de aire es de mayor importancia para la realización de pruebas de permeabilidad. El agua contiene siempre aire y otros gases en solución; éstos se separan del agua en las primeras capas de la muestra y se adhieren a ella, en forma de pequeñas burbujas que afectan la permeabilidad del suelo al disminuir los espacios vacíos. Las burbujas pueden llegar a cegar los capilares del suelo, por lo cual deben eliminarse.

El profesor G. M. Fair, de la Universidad de Harvard (E.U.A.) desarrolló un método que consiste en dispersar agua en un ambiente en el cual, previamente, se haya producido un vacío.

La efectividad del método es función tanto del tiempo de exposición del agua pulverizada al vacío, como del tamaño de las burbujas que se han de eliminar en el agua. Esta no debe recogerse en el mismo recipiente en que se desairea. Si el agua se recoge en el recipiente que contiene los inyectores para dispersión y pulverización, el grado de desaireamiento es también función de las alturas inicial y final del agua en el recipiente.

El agua así preparada aún contiene alrededor de 1.5 cm³ de oxígeno disuelto por litro; aún este contenido tan bajo hace que la permeabilidad disminuya con el tiempo, a no ser que se efectúen correcciones posteriores.

Preparación del filtro de aire.

Puesto que la fijación del aire en el suelo tiene lugar en las primeras capas de la muestra representativa del mismo, debe colocarse un filtro para aire en la línea entre el recipiente del agua desaireada y dicha muestra. El filtro se prepara de la siguiente forma:

1. Colóquese un tapón de hule, perforado por un tubo sarán, corto, de diámetro igual al del tubo de conducción del agua desaireada, en un extremo del cilindro de lucita de 4.4 x 6 cm, aproximadamente.

2. Colóquese una pieza circular de tela de malla Número 40, de cobre, bronce o latón sin aro en contacto con el tapón, e inmediatamente una capa de 0.5 cm, aproximadamente, de arena de Ottawa, uniforme, Número 20-30, bien compactada.

3. Directamente sobre la arena póngase otra pieza circular de tela de malla, apropiada para retener al material que vaya a usarse como filtro.

4. El material del filtro debe ser el mismo que va a ser probado. Colóquese este material, bien compactado, en una capa de espesor comprendido entre 0.5 y 1.0 cm.

5. A continuación, coloquese otra pieza de tela de malla usada en (3) y otra capa de arena de Ottawa, como la mencionada en (2), cubierta con tela de malla Número 40.

6. Sobre todo lo anterior insértese otro tapón de hule en el cual se haya hecho un orificio, permitiendo la entrada de un tubo sarán y un termómetro. El tubo sarán deberá cortarse en el fondo del tapón de hule, y el termómetro deberá penetrar hasta el estrato de arena de Ottawa; para ello atravesará la tela de malla Número 40, a través de un orificio hecho previamente.

El agua ordinaria es alcalina generalmente, dependiendo su contenido de materias sólidas del tratamiento dado al agua y del estado con las tuberías. El uso de agua destilada en pruebas de permeabilidad presenta ventajas, pues el agua además de estar libre de suspensiones, es ligeramente ácida, condición que ayuda a que la formación del sílice libre sea mínima.

Preparación de muestras secas no plásticas.

1. Colóquese un tapón de hule, en el cual se haya insertado un tubo sarán corto, en el extremo del cilindro de lucita de 4.4 x 16 cm aproximadamente.

2. Añádase una pieza de tubo de hule, corta, provista de una válvula de pinza, al tubo sarán, en su salida del tapón.

3. Sobre el tapón de hule, y dentro del cilindro de lucita, colóquese una pieza circular de tela de malla Número 40, de cobre, bronce o latón.

4. Para arenas finas y limos, colóquese una capa de arena de Ottawa, Número 20-30, de 0.5 cm de espesor aproximado, bien compactada, sobre la malla indicada en (3).

5. Directamente sobre la arena de Ottawa colóquese otra - pieza de tela de malla de abertura apropiada para retener el material que se va a probar, pero que no cause una pérdida de carga hidráulica apreciable, en comparación con la que tiene lugar a través de la muestra de suelo.

6. Colóquese el material que se va a probar, previamente secado en horno, en capas de 1 cm de espesor aproximadamente, compactando cada capa al grado requerido. Resulta en general más satisfactorio compactar el espécimen por presión que por apisonamiento; para ello puede usarse un mazo con cabeza de goma o hule. También es conveniente presionar cada capa de la muestra ligeramente más que la anterior; esto produce una compactación más uniforme de todo el espécimen. Si se usa tubo de lucita de 5 cm de diámetro (2"), es deseable que la muestra mida de 4 a 10 cm. Esta altura de la muestra depende de la carga hidráulica disponible y del gradiente hidráulico que se desee obtener. En pruebas de rutina se suelen usar gradientes comprendidos entre 5 y 20.

7. Sucesivamente colóquense sobre la cara superior de la muestra, una pieza de tela de malla fina, una capa de 0.5 cm de espesor aproximado de arena de Ottawa, Número 20-30 y, finalmente, otra pieza de tela metálica de malla Número 40, al igual que se hizo en la parte inferior del espécimen.

8. Insértese con cuidado un tapón de hule perforado con tubo sarán corto, del mismo diámetro que la línea de aprovisionamiento de agua.

9. Midanse y registrense el número y diámetro del cilindro de lucita usado y la longitud de la muestra.

Preparativos suplementarios.

Determinación del área del tubo de carga.

1. Desconéctese la línea de agua en las válvulas F y G.

2. Conéctese en F un tubo procedente de una jeringa llena de agua y, con F y G abiertos, hágase subir el agua hasta la parte superior de la escala métrica adosada al tubo de carga. Cierre F y desconéctese la jeringa.

3. Abrase F y retirense del tubo de carga 10 cm^3 aproximadamente, recogidos en una probeta graduada de 10 cm^3 de capacidad, tomando nota de las elevaciones del agua en la escala métrica, antes y después de esta operación.

4. Vacíese el tubo de carga y establézcanse de nuevo las conexiones en F y G.

5. Calcúlese el área del tubo de carga, a partir del volumen drenado a la probeta graduada.

Saturación del filtro de aire y de la muestra.

1. Compruébese que la línea del recipiente del agua desaireada hasta A está llena de agua.

2. Abranse las válvulas de pinza B, C, E, F, G, H e I. Cierrense las A y D.

3. Aplíquese un vacío de 70 cm de mercurio, durante varios minutos. (Si la prueba no se hace al nivel del mar, corrija este valor adecuadamente).

4. Cierrense las válvulas B, C, F, y G y hágase cesar la acción de vacío.

5. Entreábrase la válvula A y permitase que el agua sature el filtro de aire, lentamente.

6. Abrase B ligeramente hasta que el agua descienda hasta C.

7. Entreábrase la válvula C y permitase que el agua pase lentamente hasta F, saturando la muestra.

8. Desconéctese la línea en G, habriendo esta válvula.

9. Abrase F y permitase que el agua suba hasta el extremo superior de la escala métrica.

10. Cierrese E, ábrase D y permitase que el agua fluya al recipiente inferior hasta tener la seguridad de que el aire en el tubo, abajo de D, fue expulsado.

11. Cierrense A, B, C y D, abriendo E.

Saturación de la muestra en el caso en que el filtro de aire esté ya previamente saturado.

1. Desconéctese la línea en E. Abranse A, B, C y D, y permitase que el agua fluya desde el recipiente de agua desaireada, cerrando entonces D. Cuando el agua rebase el nivel de la conexión en T, ciérrese C y restablézcase la conexión en E.

2. Con E, F, G, H e I abiertas, aplíquese vacío durante algunos minutos.

3. Cierrense F y G y hágase cesar la acción del vacío.

4. Efectúense los pasos 7), 8), 9), y 10 anteriormente descritos en saturación del filtro de aire y de la muestra.

Procedimiento de prueba.

Con las válvulas C y D cerradas y las E, F y G abiertas, y la línea desconectada en G, procédase como sigue:

1. Llénese el recipiente inferior situado bajo D con agua ordinaria a la temperatura ambiente. Midase la elevación de la escala métrica sobre el nivel del agua en el recipiente inferior.

2. Abrase D completamente. Cuando el agua en el tubo de carga descienda hasta cierta elevación (R_1) escogida de antemano, por ejemplo 70 cm, échese andar el cronómetro.

3. Registrense los tiempos transcurridos para que el agua alcance las elevaciones R_2 , R_3 , y R_4 (por ejemplo, 50, 30 y 10 cm). Cierrese D antes de que el agua descienda bajo el extremo inferior del tubo de carga.

4. Abráse C y permitase que el agua vuelva a llenar el tubo de carga.
5. Ciérrase C y vuélvase a ejecutar la prueba, usando las mismas elevaciones que se hayan considerado la primera vez. Ejecútese la prueba una tercera vez, en las mismas condiciones.
6. Mida la temperatura del agua en el recipiente inferior.
7. Calcúlense los valores del coeficiente de permeabilidad K, para cada prueba ejecutada, usando las caídas de carga de R_1 , a R_2 , de R_2 a R_3 , de R_3 a R_4 y de R_1 a R_4 .

Errores probables.

1. El agua debe haber sido desaireada antes de ejecutar la prueba y mantenida en esa condición. Si esto se hace correctamente, existe poca posibilidad de que el aire represente un error de consideración. Sin embargo, el dispositivo de prueba tiene muchas conexiones y siempre existe la posibilidad de que se produzcan infiltraciones de aire en el sistema; la posibilidad de éstas se reduce mucho usando la acción del vacío después de que el material se satura.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD
"K" en cm. por seg. (escala log.)

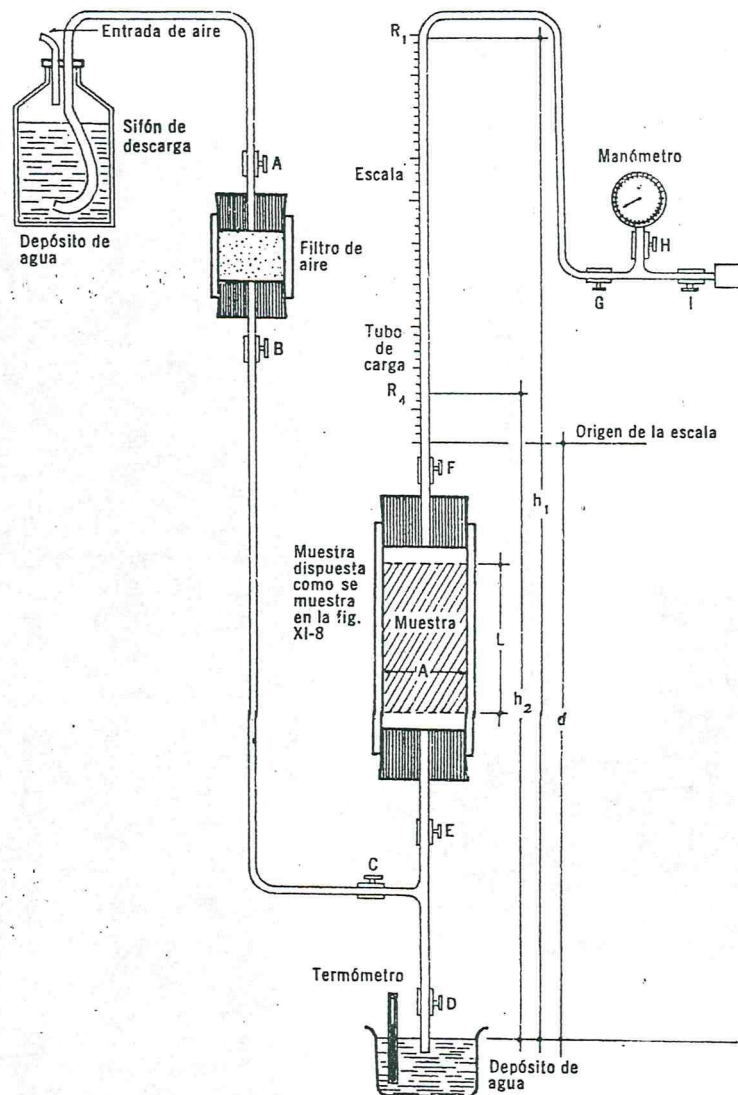
	10 ²	10 ¹	1.0	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Propiedad de Drenaje			Buen Drenaje					Mal Drenaje		Prácticamente Impermeables		
Aplicación en Presas de Tierra y Diques		Secciones Permeables de Presas y Diques					Secciones Impermeables de Presas de Tierra y Diques					
Tipos de Suelos	Grava Limpia		Arenas Limpias Mezclas de Grava y Arena Limpias		Arenas muy Finas, Limos Orgánicos e Inorgánicos, Mezclas de Arena, Limo y Arcilla, Morena Glacial, Depósitos de Arcilla Estratificados, etc.			Suelos "Impermeables," v.g. Arcillas Homogéneas abajo de la zona de intemperismo				
	"Suelos Impermeables" que han sido modificados por los efectos de la vegetación y del intemperismo.											
Determinación Directa del coeficiente de permeabilidad	Prueba Directa de los Suelos en su Posición Original (v.g. Pozos de bombeo) Confiable si se conduce apropiadamente. Requiere Considerable Experiencia.											
	Permeámetro de Carga Constante Requiere poca Experiencia			Confiable Requiere poca Experiencia		Permeámetro de Carga Variable		Rango de Permeabilidad inestable Requiere Mucha Experiencia para una Corrección Interpretación		Aceptable Requiere Considerable Experiencia		
Determinación Indirecta del coeficiente de permeabilidad	Cálculo de la distribución granulométrica, (v.g. Fórmula de A. Hazen) Aplicable únicamente a Gravas y Arenas Limpias sin cohesión											
	Prueba Horizontal de Capilaridad Requiere Muy Poca Experiencia. Especialmente Util para la Prueba Rápida de un gran Número de Muestras en el Campo sin Equipo de Laboratorio						Cálculos de los Pruebas de Consolidación. Equipo de Laboratorio Costoso. Requiere considerable experiencia.					

2. La relación del área del tubo de carga a la del espécimen es muy pequeña (frecuentemente del orden de 0.01) y se requiere, por lo tanto, una determinación muy cuidadosa del área del tubo de carga.

3. La temperatura debería medirse en el agua en el momento en que atravieza la muestra, en lugar de hacerlo en el agua del recipiente inferior.

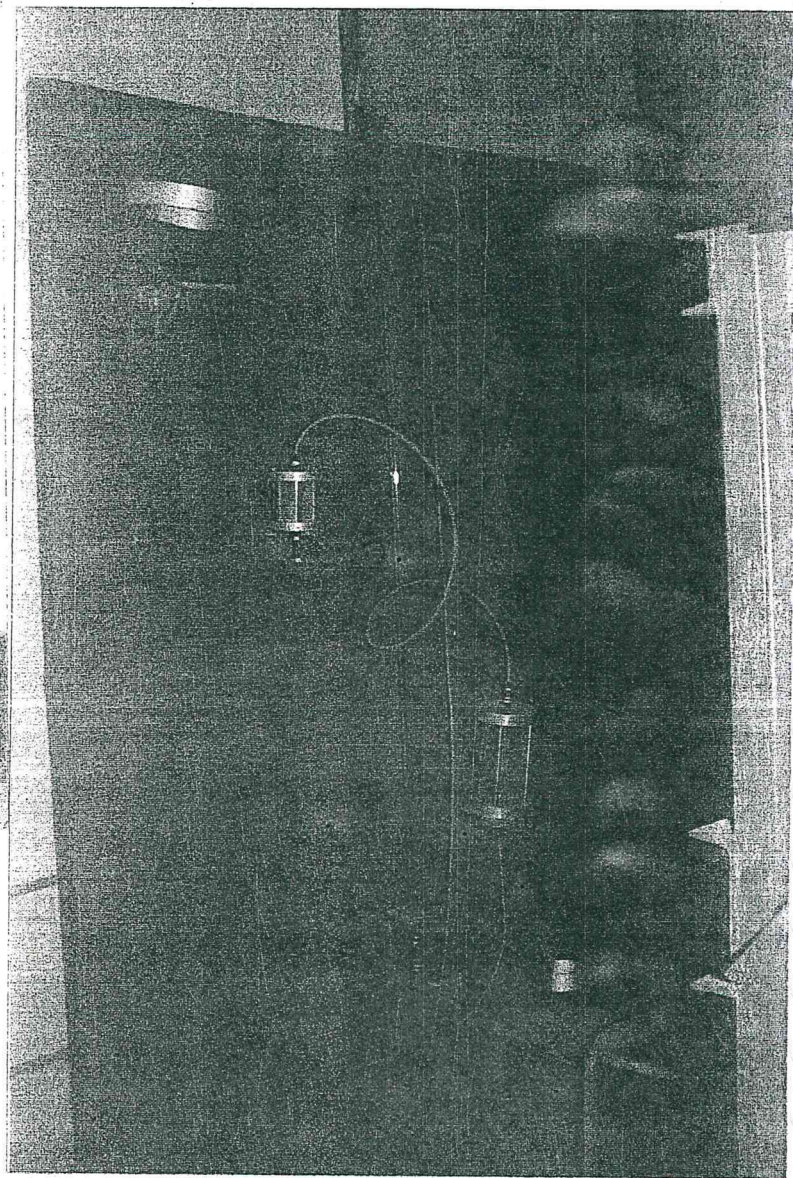
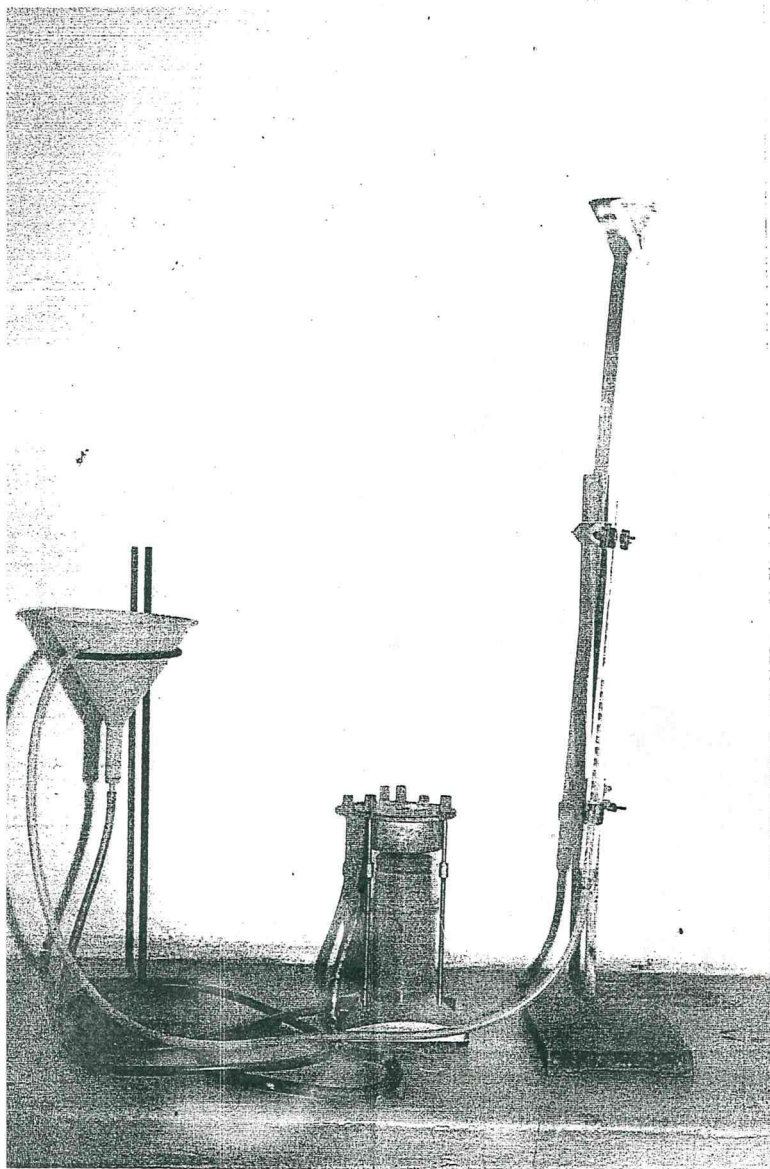
4. La estratificación y compactación no uniforme de la muestra puede hacer que la permeabilidad de la misma disminuya.

5. La estructura de la muestra puede verse afectada por una saturación demasiado rápida.



Dispositivo detallado del permeámetro de carga variable.

El coeficiente de permeabilidad es una constante relacionada con la facilidad de movimiento de un flujo a través de un medio poroso. A continuación se ilustran dos equipos de permeabilidad como son; el de carga constante y el de carga variable.



U.A.S

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MAZATLÁN

Laboratorio de concreto

PERMEABILIDAD CARGA CONSTANTE

Obra _____ Localización _____
Muestra _____ Profundidad _____ Sondeo No. _____

No del cilindro _____
Diametro de la muestra = _____ cm
Longitud de la muestra, L = _____ cm
Area de la muestra, A = _____ cm^2
Volumen de la muestra, V = _____ cm^3
Densidad de los solidos, S = _____
Peso volumetrico seco γs = _____ Kg/m^3
Peso tara No. _____ gr
Peso muestra humeda + tara = _____ gr
Peso muestra seca + tara = _____ gr
Peso de la muestra seca, Ws = _____ gr
Peso agua en la muestra, W = _____ gr
Contenido de agua, = (Ww/Ws) x 100 = _____
Relación de vacios, e = _____

Table with 10 columns: Fecha, Hora, Tiempo (t) en seg., Temp. en °C, Carga (h) en cm, Gradiente hidraulico (h/L), Lectura pipeta en cm^3, Volumen Q en cm^3, Kt en cm/seg, K20 en cm/seg

Formulas

e = (V Ss - Ww) / Ws

Kt = (QL) / (h At)

Permeabilidad media

K20 = _____ cm/seg

K20 = Kt * (μT / μ20)

Observaciones: _____

Alumno: _____ Calif. _____ Fecha _____

CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

Los materiales que se utilizan en ingeniería, al aplicarles fuerzas exteriores, sufren deformaciones, de acuerdo con una determinada relación esfuerzo deformación.

Cuando un suelo saturado se somete a un incremento de carga la acción de ésta se transmite, en un principio, al agua que llena los poros del material por ser el líquido incompresible comparado con la estructura que forman las partículas sólidas del suelo. Debido a la presión que de este modo se induce en el agua ésta fluye hacia las fronteras en las cuales dicha presión se disipa, produciéndose variaciones en el volumen del material y la transferencia de la carga a la estructura sólida. La velocidad con que se produce este fenómeno, conocido en Mecánica de Suelos con el nombre de consolidación, depende de la permeabilidad del suelo, al igual que de otras condiciones geométricas y de frontera (drenes).

La prueba de consolidación estándar consiste en comprimir verticalmente un espécimen del material que se estudia, confinado en un anillo rígido, siguiendo una secuencia de cargas establecida de antemano. En todos los casos y para cada incremento de carga, el espécimen sufre una primera deformación correspondiente al retraso hidrodinámico que se llama consolidación primaria, y también sufre una deformación adicional, debido a un fenómeno secundario, que en las arcillas se llama retraso plástico y en las arenas retraso friccional. En general el suelo se deformará siempre una cantidad mayor que la correspondiente al retraso hidrodinámico correspondiente.

De la prueba de consolidación se obtienen los coeficientes que se indican:

1. El coeficiente de compresibilidad a_v que representa la relación deformación-esfuerzo del suelo, sin tomar en cuenta el tiempo, y que geoméricamente, es igual a la pendiente de la curva relaciones de vacíos-presiones, la expresión matemática es:

$$a_v = \frac{\delta e}{\delta p} = \frac{e_2 - e_1}{p_2 - p_1} \text{ cm}^2/\text{kg}$$

donde: e_1, p_1 , son la relación de vacíos y la presión en una etapa (1) y e_2, p_2 , en una etapa (2).

2. El coeficiente de consolidación C_v que es una relación teórica establecida para simplificar la ecuación diferencial del proceso de consolidación y cuya expresión simplificada es:

$$C_v = \frac{0.197 H_m^2}{t_{50}} \text{ cm}^2/\text{seg}$$

en donde: H_m : longitud de la trayectoria de dren más corta en cm.
 t_{50} : tiempo en segundos, correspondiente al 50% de consolidación primaria para el incremento de carga considerado.

3. El coeficiente calculado de permeabilidad K_m que es igual a:

$$K_m = \frac{a_v C_v \delta_w}{(1 + e_m) 1000} \text{---cm/seg}$$

En donde:

a_v y C_v ya se definieron.

δ_w : peso volumétrico del agua en g/cm^3 .

e_m : Relación media de vacíos.

4. Finalmente, la relación de consolidación primaria r que expresa la relación entre la deformación debida a la consolidación primaria y la deformación total que sufrió el espécimen en cada incremento de carga.

$$r = \frac{d_s - d_{100}}{d_0 - d_f}$$

En donde:

d_s : Deformación en el 0% de consolidación primaria.

d_{100} : Deformación en el 100% de consolidación primaria.

d_0 : Deformación inicial del espécimen. (Tomada como la lectura inicial del micrómetro).

d_f : Deformación final del espécimen. (Tomada como la deformación a las 24 horas de iniciada la prueba).

Equipo.

1. Consolidómetro compuesto de:

- a) Anillo.
- b) Base con piedra porosa.
- c) Piezómetro calibrado.
- d) Placa con puente para apoyar micrómetro.
- e) Balín.
- f) Piedra porosa.
- g) Micrómetro con soporte.

2) Banco de consolidación.

Procedimiento.

Preparación de la muestra. La preparación de la muestra difiere según sea ésta: inalterada o remoldeada.

A) Muestra inalterada. En este tipo de muestras es necesario tener en cuenta la dirección en que se efectúa el flujo en el terreno. Se toma un trozo de material aproximadamente de $9 \times 9 \times 9$ cm.

Método del torno. Este método requiere una plataforma giratoria sobre la cual descansa la muestra, una cuchilla especial y una espátula. Aclaremos que existen otros métodos para labrado de probetas, pero en este caso describiremos el método del torno.

1. Sobre el dispositivo se coloca el trozo de material; con con el anillo que se va a utilizar, se va labrando el espécimen con ayuda de la cuchilla, girando al mismo tiempo la base y forzando ligeramente el anillo para que penetre en la muestra.

2. Cuando se ha logrado que el material llene completamente el anillo, se corta la parte inferior de la muestra, utilizando una espátula de cuchilla o el cortador de alambre.

3. Se enrasan las caras de la probeta cortando el material sobrante con el alambre acerado montado en un arco.

4. Si con la operación anterior, las caras del espécimen han quedado desniveldads o con pequeñas oquedades debidas a desprendimientos durante el corte se terminan las caras, agregando material con la espátula y sin comprimir excesivamente para no alterar la relación de vacíos.

5. Para evitar pérdidas de humedad mientras se pesa la muestra y se anotan los datos en el registro, se protegen sus dos caras con vidrios, previamente numerados y tarados, y registrados, se pesa el conjunto en una balanza de 0.1 gr de aproximación, y se anotan los datos en la hoja de cálculo.

B) Muestras remoldeadas.

Se compactan en tres capas, utilizando una prensa o pisón y guía (equipo de compactación, carga variable) tratando de obtener con cualquiera de los dos métodos una compactación previamente escogida, generalmente la de la prueba Proctor y se repiten los pasos 3, 4, y 5.

6. Se toma una muestra del mismo material, para determinar su contenido de agua, anotando los datos en la hoja de cálculo.

7. Se determina el coeficiente de permeabilidad de la piedra porosa de la base antes y después de la prueba, utilizando el método de carga variable y registrando sus datos de nuevo en la hoja de cálculo.

8. Se llenan los drenes de la base y se saturan las piedras porosas del consolidómetro, se retiran los vidrios del anillo con la muestra y se coloca éste en la base, sujetándolo firmemente con unas secciones adecuadas.

9. Se coloca la piedra porosa superior, previamente saturada, sobre la pastilla, procurando centrarla bien, es decir, que no haga contacto con el anillo de bronce.

10. Se instala el conjunto sobre uno de los recipientes del banco de consolidación, siendo necesario que el marco esté elevado con unos separadores (taquetes de madera), que permitan la maniobra. El consolidómetro debe quedar bien centrado en dicho recipiente.

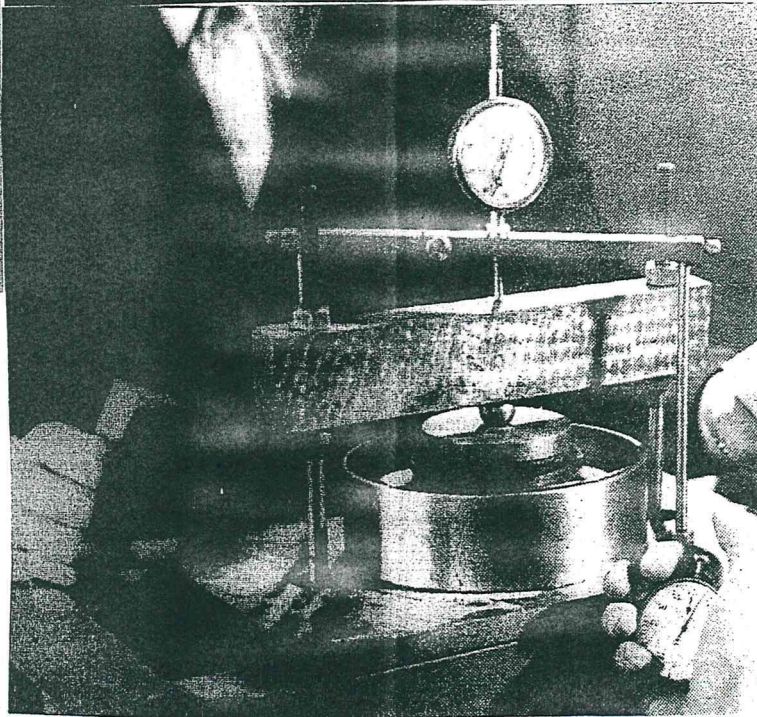
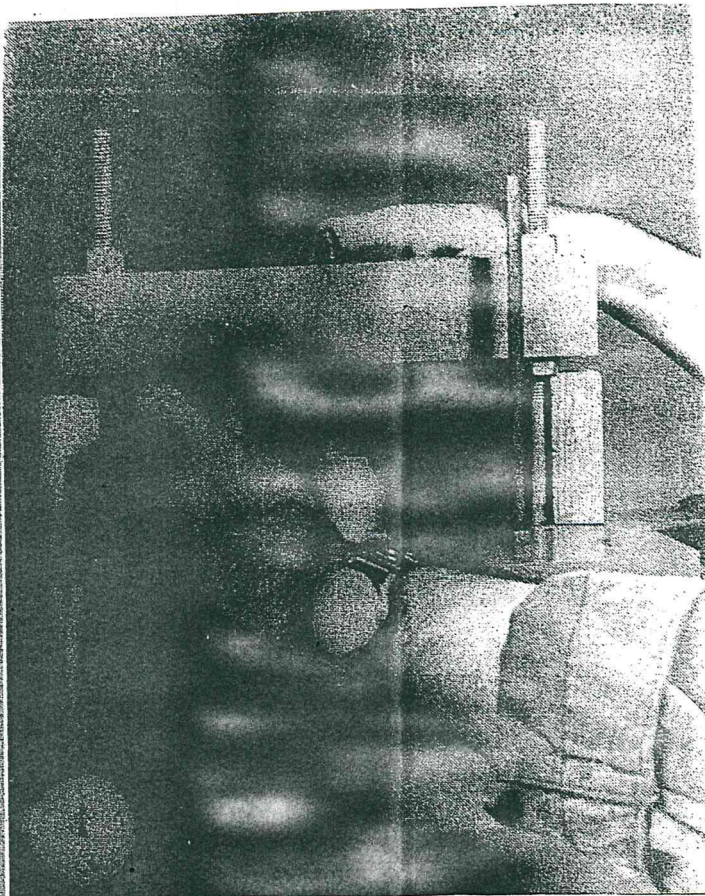
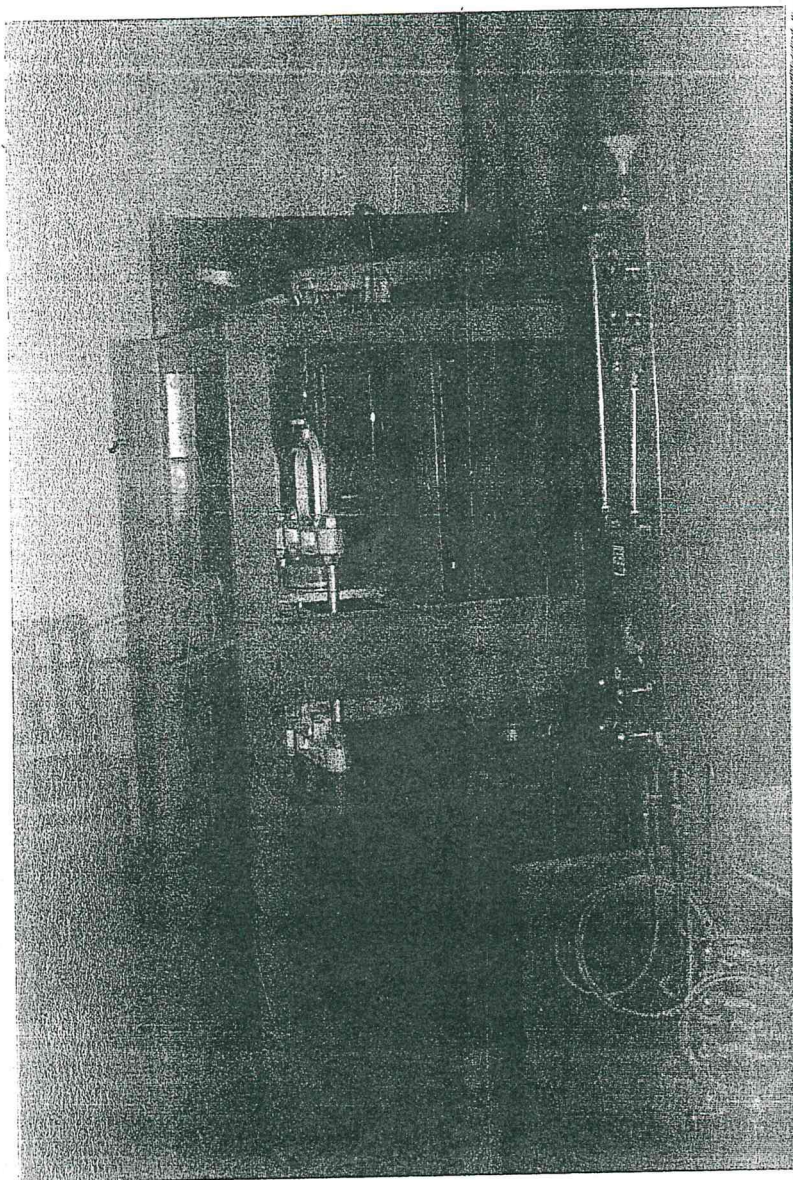
11. Se pone la placa con el puente para apoyar el micrómetro; se coloca un balín en una concavidad hecha para tal objeto tanto en la placa como en el marco. El conjunto debe estar bien centrado para que coincida con el taladro del marco.

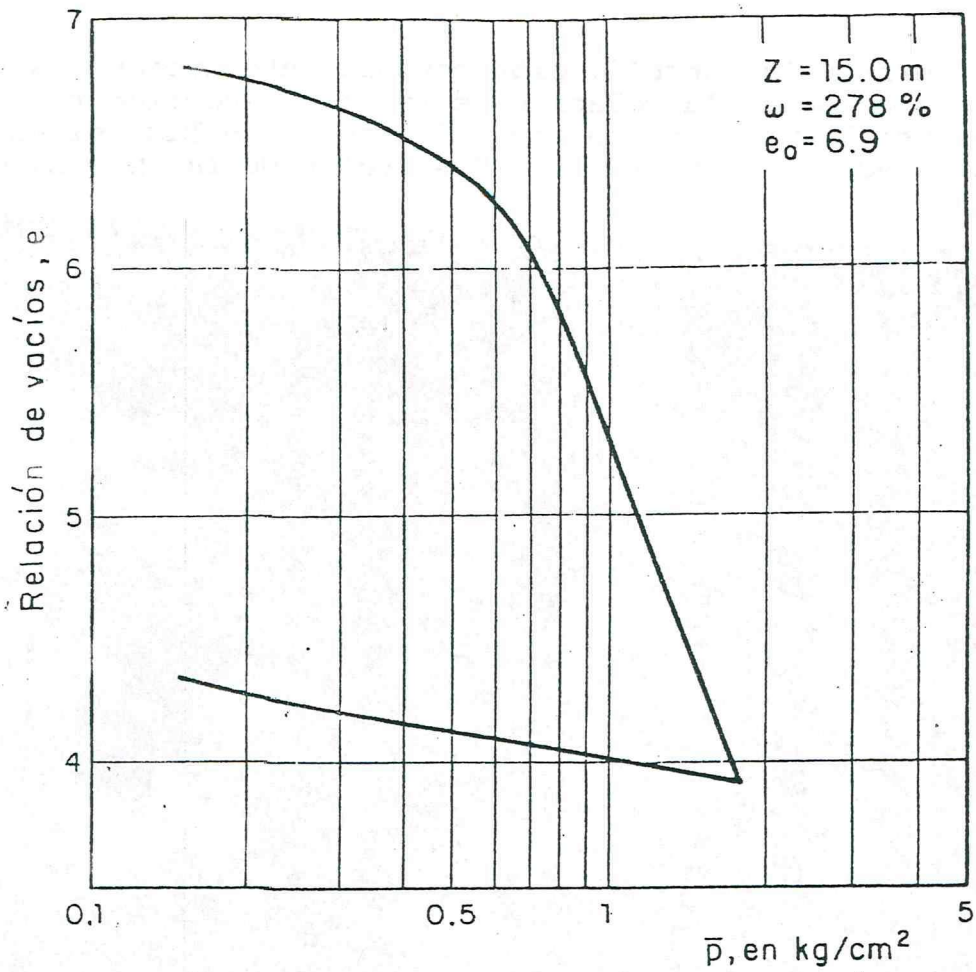
12. Se coloca el soporte con el micrómetro, el cual debe hacer contacto con el puente, procurando que el micrómetro quede vertical.

13. Se instala el piezómetro, previamente calibrado.

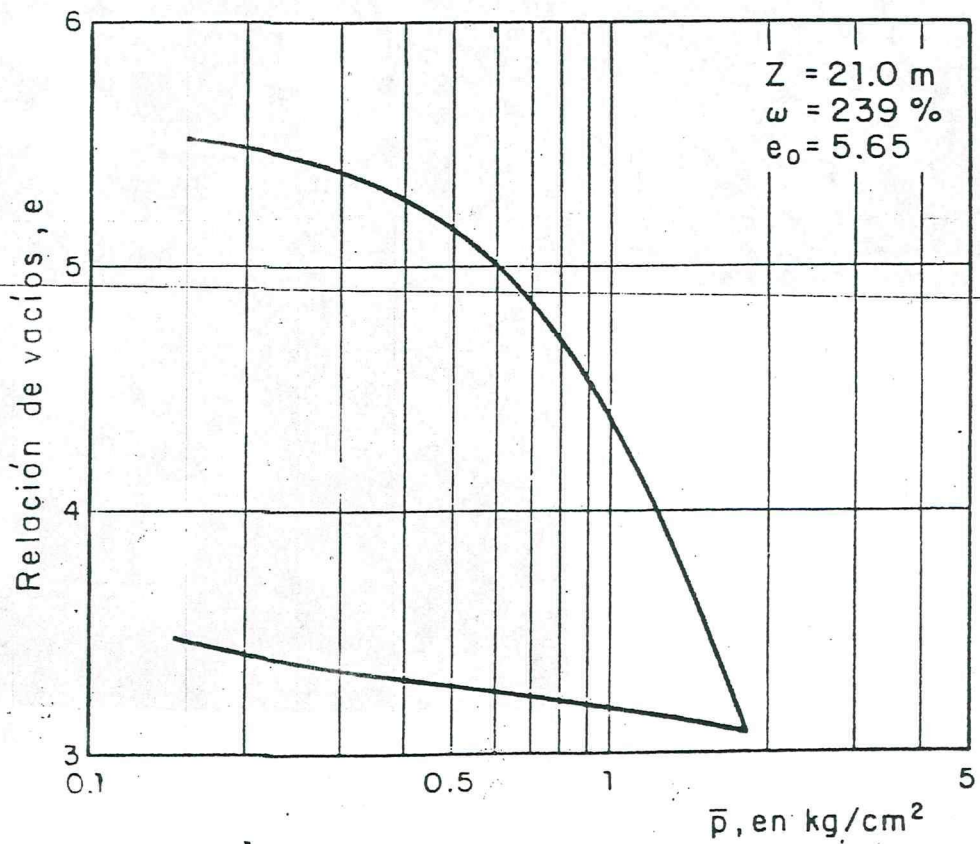
14. Saturación. La muestra puede saturarse estando completamente exenta de carga o bien con una carga prefijada según el problema que se tenga, siguiéndose en ambos casos el mismo procedimiento: Se cubre con agua destilada hasta la altura de la piedra porosa superior, procurando no mezclarle más aire del que ordinariamente pueda tener.

Podemos definir la consolidación como la deformación plástica debida a reducción en la relación de vacíos generalmente llamada asentamiento la cual es función del tiempo. En las siguientes fotos vemos equipo y parte del desarrollo de la prueba de consolidación.





Curva de compresibilidad



U.A.S

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MAZATLÁN

Laboratorio

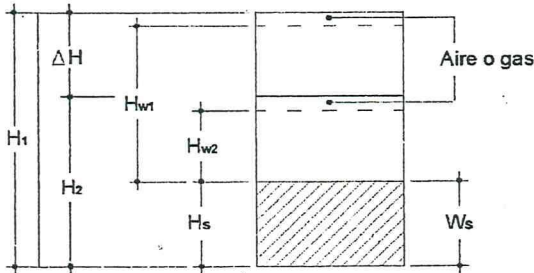
CONSOLIDACIÓN, CONTENIDOS DE HUMEDAD Y CÁLCULOS

Obra: _____ Localización: _____
 Ensaye No. _____ Sondeo No. _____
 Muestra No. _____ Profundidad: _____
 Descripción: _____
 Operador: _____ Calculista: _____

Determinación de W	Al principio de la prueba		Al final de la prueba	
	Anillo y vidrio No.			
Tara + peso suelo humedo				
Tara + peso suelo seco				
Peso del agua				
Tara				
Peso suelo seco: W _s				
Contenido de agua: w %	W ₁ ² =	W ₁ ² =	W ₂ ² =	W ₂ ² =
w % Promedio	W ₁ ² =		W ₂ ² =	

Anillo No. _____ Diametro del anillo: _____ cm Area del anillo (A)= _____ cm²

Altura del anillo = Altura de la muestra al principio de la prueba = H₁ = _____ mm



Peso especifico relativo de solidos: S_s = _____

Altura de solidos = H_s = $\frac{10 W_s}{A S_s}$ = _____ = _____ mm

Variación en la altura de la muestra del principio al final de la prueba = ΔH = _____ mm

Altura final de la muestra : H₂ = H₁ - ΔH = _____ = _____ mm

Altura inicial del agua : H_{w1} = W₁ H_s S_s = _____ = _____ mm

Altura final del agua : H_{w2} = W₂ H_s S_s = _____ = _____ mm

Relación de vacios inicial : e₁ = $\frac{H_1 - H_s}{H_s}$ = _____ = _____

Relación de vacios final : e₂ = $\frac{H_2 - H_s}{H_s}$ = _____ = _____

Grado de saturación inicial : G_{w1} = $\frac{H_{w1}}{H_1 - H_s}$ = _____ = _____ %

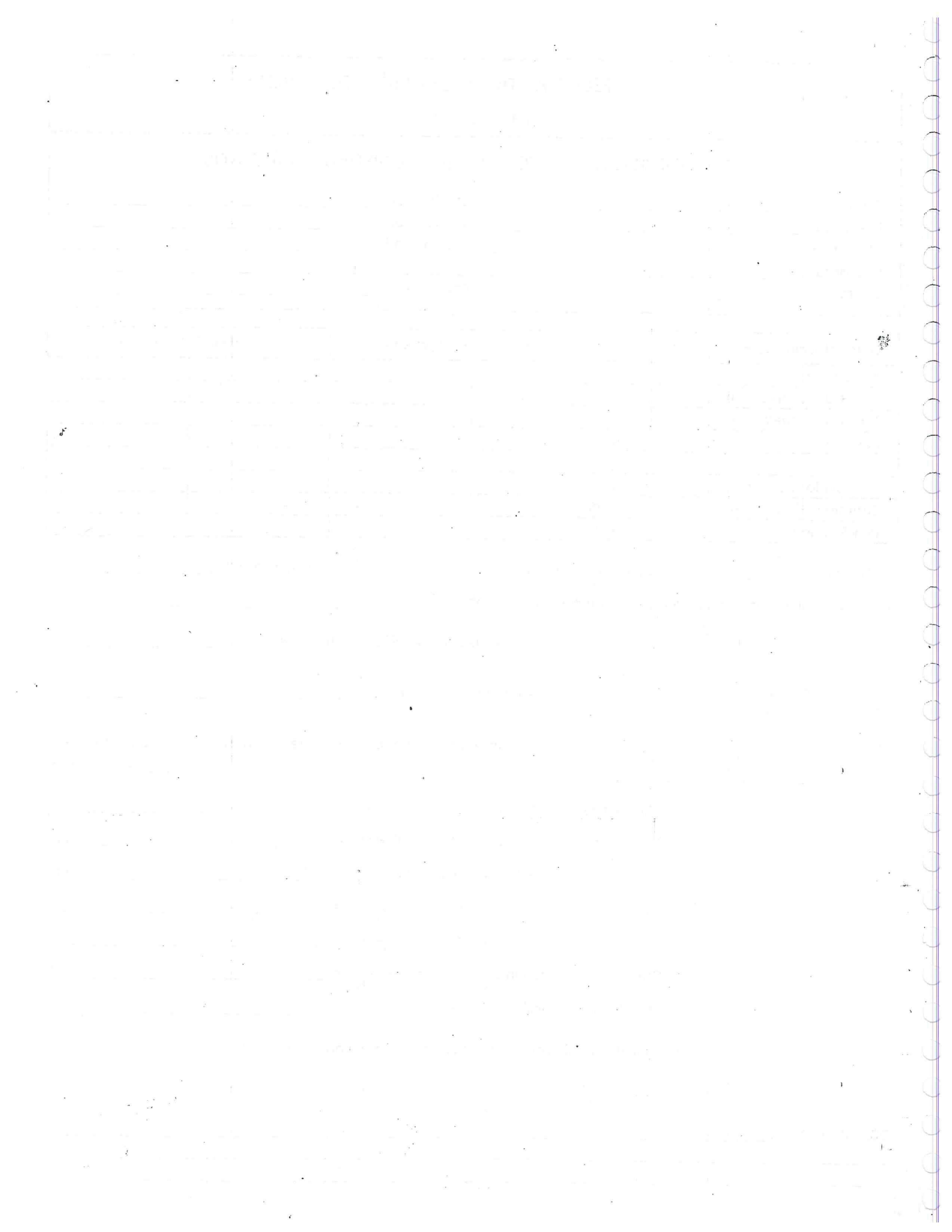
Grado de saturación final : G_{w2} = $\frac{H_{w2}}{H_2 - H_s}$ = _____ = _____ %

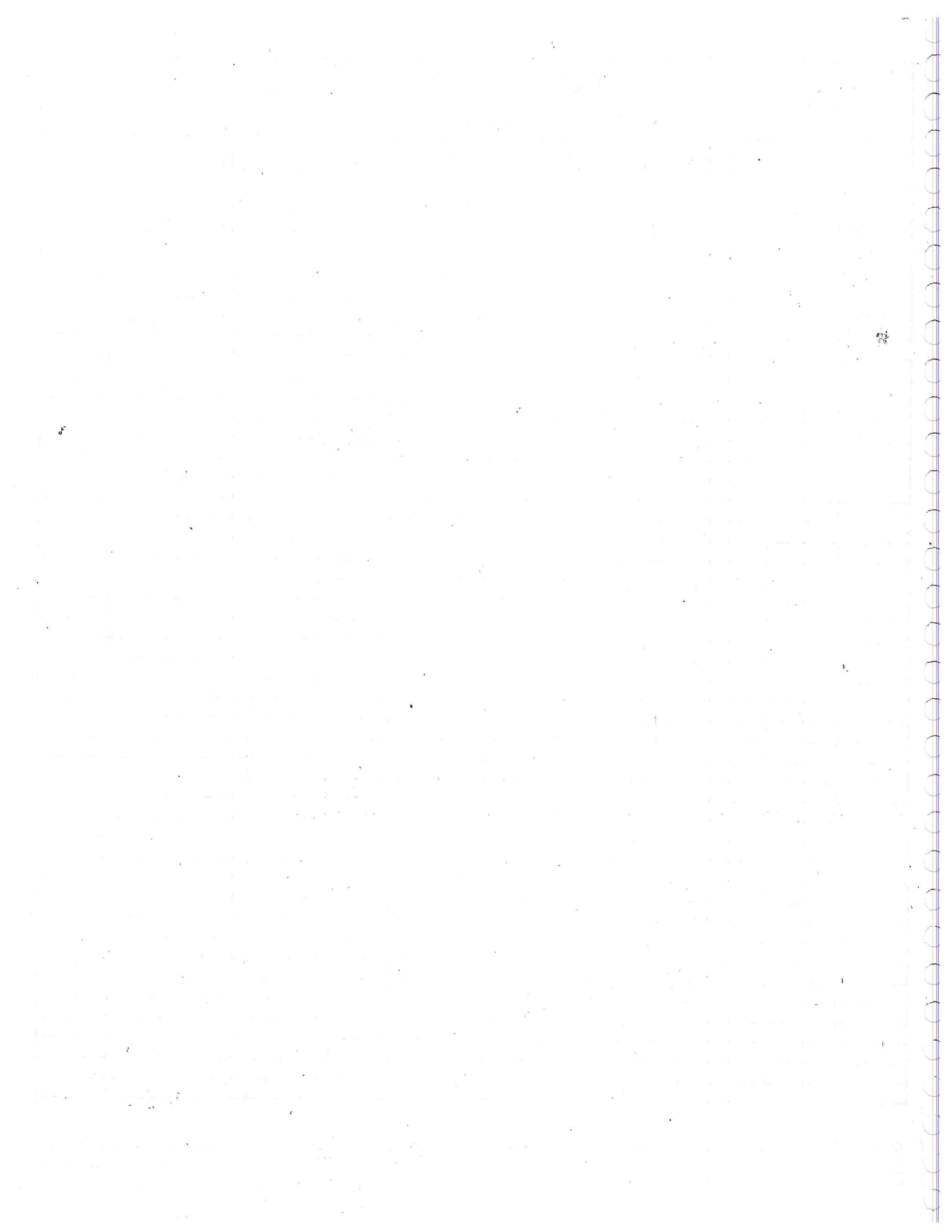
En el calculo de relaciones de vacios unanse los valores siguientes

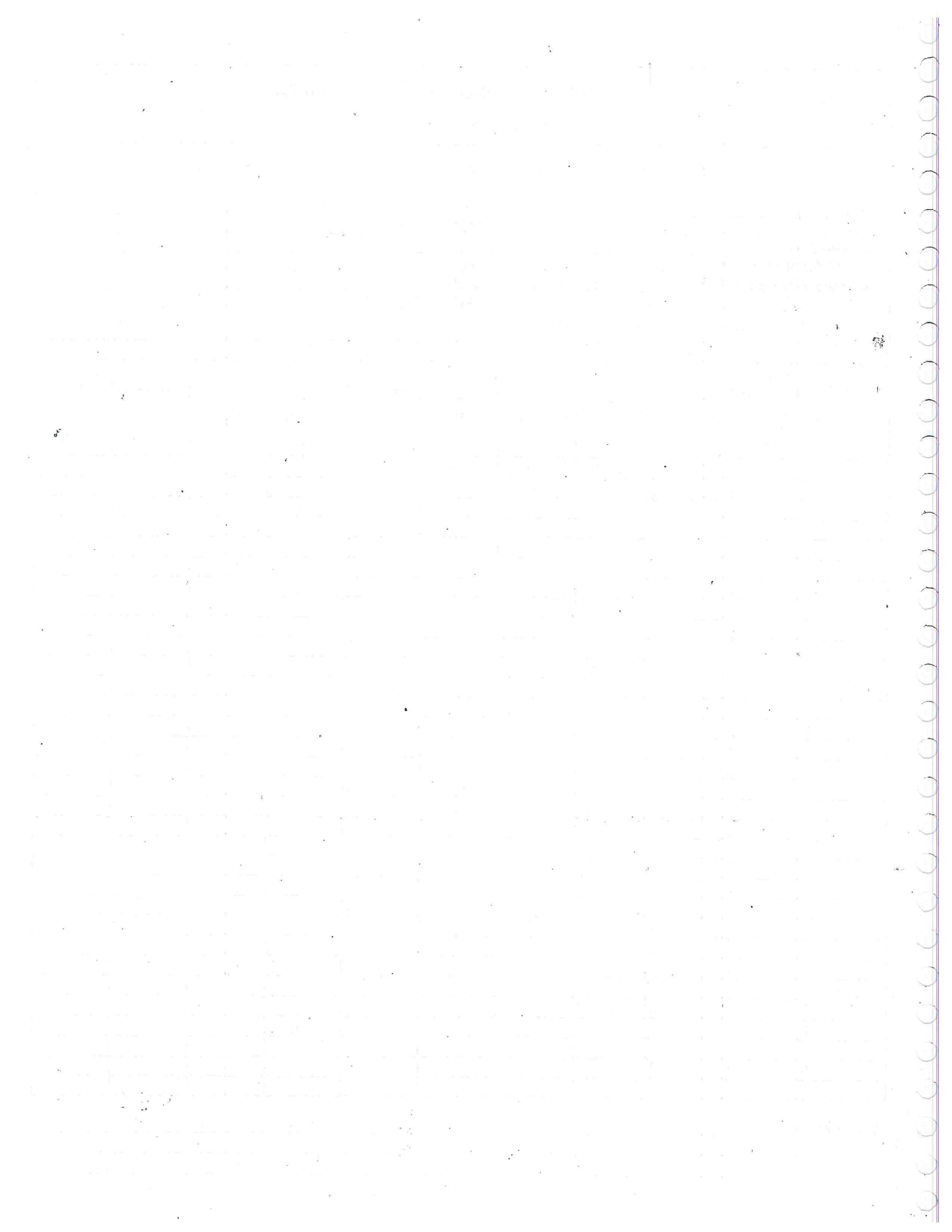
H_s = _____ mm

H₁ = _____ mm

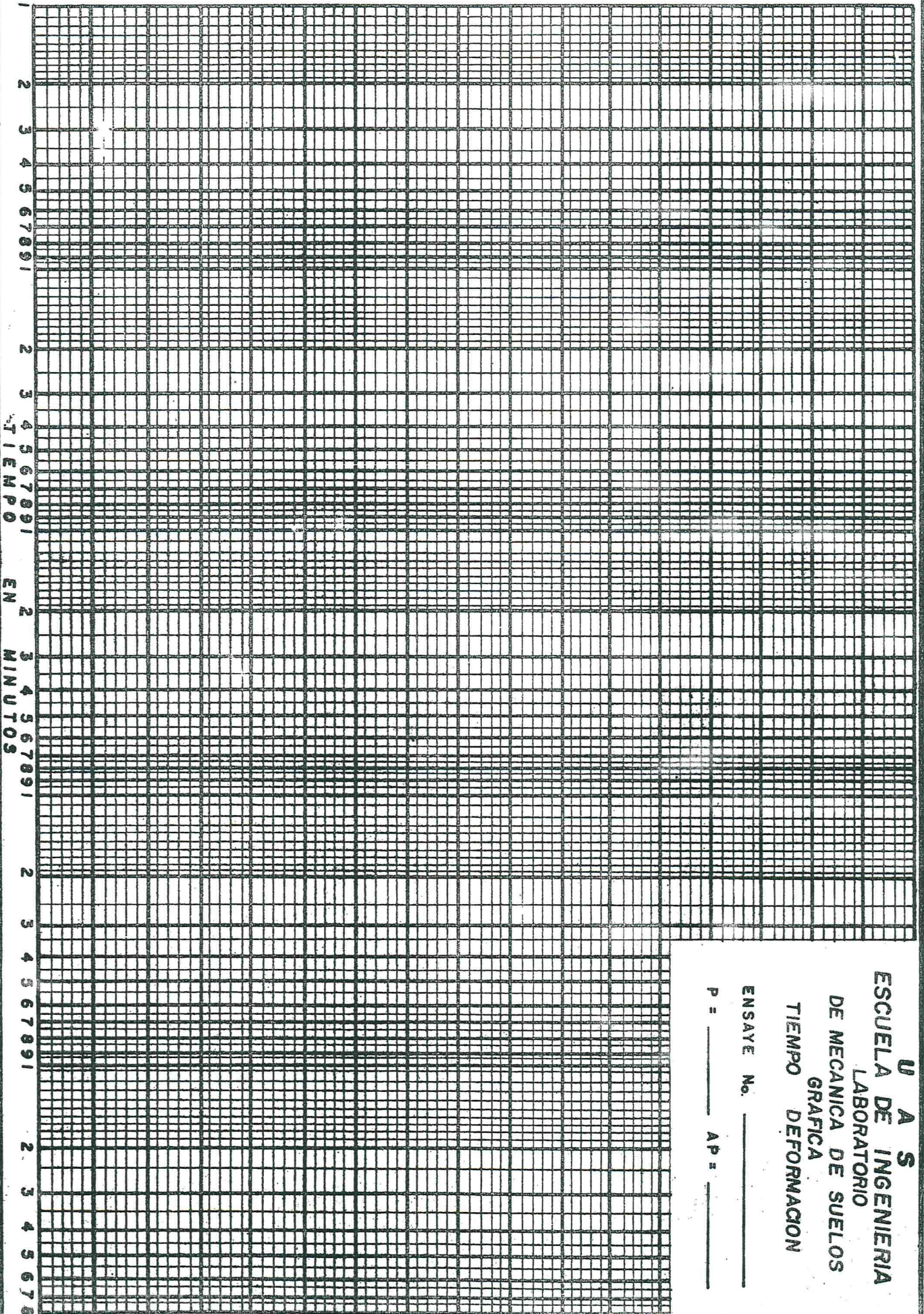
OBSERVACIONES: _____







DE FORMACION EN MILIMETROS



U A S
ESCUELA DE INGENIERIA
LABORATORIO
DE MECANICA DE SUELOS
GRAFICA
TIEMPO DE FORMACION

ENSAYE No. _____
P = _____ AP = _____

CREOTECNIA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
UNIDAD ACADÉMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MAZATLÁN
UNIDAD REGIONAL SUR

MANUAL DE PRÁCTICAS

PRIMERA EDICIÓN 2015

Geotecnia

- Ing. Roberto Gómez Lizárraga

MAZATLÁN SINALOA ENERO 2015



10 de mayo de 1964

Querido Sr. [Nombre]

Le saludo cordialmente

Atentamente

[Firma]

Atentamente,

[Firma]



DIRECTORIO

DR. JUAN EULOGIO GUERRA LIERA
RECTOR

M.C. JESUS MADUEÑA MOLINA
SECRETARIO GENERAL

M.C. MIGUEL ANGEL DIAZ QUINTEROS
VICERRECTOR UNIDAD REGIONAL SUR

M.I. JOSÉ RAMÓN GONZÁLEZ BARRÓN
DIRECTOR DE U.A. ESCUELA DE INGENIERÍA DE MAZATLAN

M.I. PEDRO ALFONSO AGUILAR CALDERÓN
COORDINADOR ACADÉMICO U. A. ESCUELA DE INGENIERÍA
MAZATLÁN

ING. LUIS DEMETRIO GÓMEZ IBARRA
COORDINADOR ADMINISTRATIVO U.A. ESCUELA INGENIERÍA
MAZATLÁN

ING. EDGAR OMAR BURGUEÑO SANCHEZ
COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL U. A. ESCUELA
DE INGENIERIA MAZATLÁN

DR. JESUS MANUEL BERNAL CAMACHO
COORDINADOR DE LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERIA
CIVIL



Faint, illegible text centered at the top of the page.

Faint, illegible text centered in the upper middle section.

Faint, illegible text centered in the middle section.

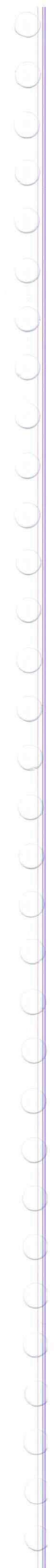
Faint, illegible text centered in the lower middle section.

Faint, illegible text centered in the lower section.

Faint, illegible text centered in the lower section.

Faint, illegible text centered in the lower section.

Faint, illegible text centered in the lower section.



PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE.

Introducción

Esta prueba que es de suma importancia es la más usada en los laboratorios de Mecánica de Suelos para los trabajos de rutina. Tiene la ventaja de ser de fácil realización y de exigir equipo relativamente sencillo, en comparación con las pruebas triaxiales.

La prueba queda circunscrita a arcillas y suelos cohesivos, pues en las arenas y suelos arenosos no es posible el labrado de las muestras.

Equipo

- 1) Una báscula de carga u otro aparato que cubra sus fines.
- 2) Cortador para el espécimen, segueta de alambre, etc.
- 3) Recipientes para determinación del contenido de agua.
- 4) Extensómetro.
- 5) Balanza.
- 6) Cilindro metálico y demás equipo para preparar un espécimen de suelo remoldeado, si éste es el caso.

Preparación de la muestra

a) Especímenes de suelo inalterado.

Córtense prismas de unos 5 cm de lado de base y unos 12 ó 13 cm de longitud de la arcilla inalterada. Con un cortador y una segueta de alambre afinense los especímenes hasta su forma definitiva cilíndrica de 3.6 cm de diámetro de base, y 9 cm de altura. El material producto del labrado debe conservarse, protegiéndolo del secado.

b) Especímenes de suelo remoldeado.

Se remoldea la arcilla a mano hasta formar una masa homogénea, sin grumos, de material inalterado. Prepárese un fragmento de tubo de bronce o latón y una placa de vidrio, aceitándolas ligeramente. Con la arcilla fórmese una bola del tamaño de una nuez y colóquese ésta dentro del cilindro colocado sobre la placa de vidrio; apisonese el material. Estas operaciones han de repetirse hasta llenar el molde. Finalmente, extraígase el espécimen del molde.

Protección de la muestra contra la evaporación

Es conveniente proteger a los especímenes contra la evaporación; para ello existen muchos métodos, algunos de los cuales se mencionan a continuación, ordenados de menor a mayor efectividad:

1. Envuélvase la muestra en una toalla de papel húmeda, sin que quede ceñida.
2. Cúbrase el espécimen con una capa delgada de grasa.
3. Enciérrese el espécimen en una cámara cerrada con agua en el fondo.

4. Cúbrase el espécimen con una membrana de hule delgado.
5. Envuélvase el espécimen con dos membranas de hule y una capa de grasa a prueba de agua entre ellas, sumergiendo el conjunto totalmente en agua.

Procedimientos de prueba

Los métodos de prueba dependen del equipo de carga disponible; a continuación se detallan los dos más comunes. Sin embargo como criterio general es de señalar que es conveniente que la prueba dure de 5 a 10 minutos.

- a) Procedimiento de prueba como aplicación directa de la carga. (Esfuerzo controlado.)

El procedimiento se ajustará a lo siguiente:

1. Mòntese el espécimen, con su base y cabezal ya instalados bien centrado bajo el marco de carga.
2. Colocando una pequeña pesita en la ménsula, asegúrese un buen contacto entre el espécimen y el marco de carga, a través balin y la placa del cabezal. Verifíquese previamente que el peso del marco de carga está correctamente balanceado por el contrapeso.
3. Mòntese un extensómetro sensible al centésimo de milímetro en su soporte, adosado al marco de carga.
Ajustese a una lectura inicial de cero.
4. Echese a andar un cronómetro y, simultáneamente, aplíquese el primer incremento de carga a la ménsula. Inmediatamente antes de aplicar el siguiente incremento de carga deberá observarse y registrarse la lectura del extensómetro. Cada incremento de carga debe aplicarse durante un minuto y la lectura del extensómetro debe hacerse 5 seg. antes de aplicar el siguiente.
5. Conforme la muestra se acerque a la falla deberá ser cuidadosamente observada para detectar sus grietas o posibles planos de falla y otros puntos de interés.
6. Si la muestra falla bruscamente registrese el tiempo transcurrido tras la aplicación del último incremento de carga; después quitense las pesas de la ménsula. Si no hay falla brusca, la prueba se dará por terminada al sufrir la muestra una deformación unitaria del orden del 20%.
7. Quitese la muestra del aparato y hágase un esquema de su falla y agrietamientos a una escala correcta.
8. Còrtese una laja delgada, de unos 3 mm de espesor, paralela al plano de falla, para determinación del contenido de agua. El resto del espécimen se pondrá a secar para el mismo fin.
9. Cálculense las deformaciones correspondientes a los diferentes esfuerzos, según los datos observados, calculando con áreas corregidas y dibújese un diagrama esfuerzo-deformación.

- b) Procedimiento de prueba con báscula de carga (deformación controlada).

Para dicho método se presentan los siguientes pasos:

1. Coloque sobre la plataforma de la báscula de carga una placa metálica redonda, con dos brazos verticales entre los que va el puente para instalar el extensómetro; sobre esa base colóquese una placa destinada a soportar directamente al espécimen.

Sobre dicho espécimen otra placa delgada hace el papel de cabezal, en el cual se apoyará, a través de un balín, el marco móvil de carga. La colocación de todos esos objetos hará que la aguja de la carátula de la báscula abandone su posición original de lectura cero; por medio de los pesos situados en los brazos horizontales de la báscula, deberá volverse dicha aguja a su posición original. En este momento la báscula está lista para la prueba.

2. Céntrese bien el espécimen bajo el marco móvil, cuidando que el balín transmisor resulte perfectamente axial. Acciónense manualmente las palancas que mueven el marco móvil hasta lograr el contacto con el cabezal de la muestra, a través del balín; éste se hace notorio por un pequeño desplazamiento de la aguja de la carátula de la báscula, la cual deberá colocarse en cero otra vez, accionando en sentido inverso el mismo control manual.

3. Móntese el extensómetro y ajústese su carátula en lectura cero.

4. Conéctese el mecanismo eléctrico de la báscula y échese a andar el mecanismo de aplicación de carga simultáneamente con un cronómetro. El marco de carga desciende ahora a una velocidad uniforme, comprimiendo al espécimen contra la plataforma, con lo cual la carátula de la báscula marcará las cargas aplicadas progresivamente.

5. Deberán hacerse lecturas de la carga aplicada a cada milímetro de deformación, según indicación del extensómetro. Esta frecuencia puede variarse de acuerdo con la mayor o menor rigidez del espécimen; en los especímenes más rígidos es recomendable una frecuencia mayor.

La velocidad de deformación es frecuentemente de 1 mm por minuto, sin embargo pueden precisarse velocidades menores cuando se prueben muestras muy rígidas, de manera que la prueba dure un tiempo comprendido entre los 5 y 10 min ya señalados.

6. Conforme la muestra se acerque a la falla deberá ser observada cuidadosamente para detectar sus grietas, planos de falla u otros puntos de interés.

7. Por lo general la falla del espécimen está señalada por un regreso en la aguja de la carátula de la báscula, tanto mayor cuanto la falla sea más típicamente frágil. El instante en que esto ocurra debe ser registrado. Después deberá continuarse la prueba haciendo lecturas en la forma normal, hasta obtener algunos valores para la curva esfuerzo-deformación en la zona adelante de la carga máxima. La prueba deberá suspenderse al alcanzar la muestra una deformación unitaria del orden del 20%. Si no se define una falla típica, deberá también suspenderse la prueba al llegar al mismo límite de deformación.

8. Ejecútense los pasos 7), 8) y 9) relativas a pruebas de esfuerzo controlado.

Errores posibles

1. La elección de la magnitud de los incrementos de carga aplicados o de la velocidad de aplicación de la carga, pueden influir en la curva esfuerzo-deformación y en el valor de la resistencia última.

2. El labrado del espécimen y la prueba deben realizarse en un cuarto húmedo para evitar evaporación.

3. Por un ajuste impropio de la base o el cabezal con el espécimen pueden tenerse errores en las lecturas del extensómetro y en la verticalidad de las muestras; en arcillas duras y frágiles es aconsejable cabecear los especímenes antes de la prueba.

U.A.S.

ESCUELA DE INGENIERIA DE MAZATLAN
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS .

COMPRESION SIMPLE

OBRA: _____ MUESTRA No.: _____ PROF.: _____

LOCALIZACION: _____ DESCRIPCION: _____

SONDEO No.: _____ ENSAYE No.: _____

MEDIDAS DE LA MUESTRA :

$D_s =$ _____ cm. $A_s =$ _____ cm.² $W_j =$ _____ gr. FECHA: _____

$D_c =$ _____ cm. $A_c =$ _____ cm.² $V_j =$ _____ cm.³ OPERADOR: _____

$D_i =$ _____ cm. $A_i =$ _____ cm.² $m =$ _____ Ton/m³ CALCULO: _____

$H_m =$ _____ cm. $A_m = \frac{A_s + 4 A_c + A_i}{6}$ _____ cm.²

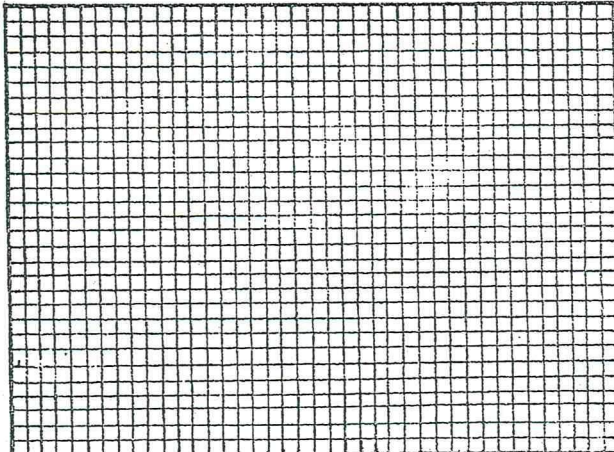
VELOCIDAD DE APLICACION DE LA CARGA: _____

Tiempo Transcurrido	Carga	Lectura micrómetro	Deformación total	Deformación unitaria	l. Deformación unitaria	Area Corregida	Esfuerzo	Contenido de agua	
min.	kg.	mm.	mm.	_____	_____	cm. ²	kg/cm ²		
								Cápsula No.	
								Peso cáp + s.h.	
								Peso cáp + s.s.	
								Peso agua	
								Peso cápsula	
								Peso suelo seco	
								W %	
								OBSERVACIONES:	
								Cápsula No.	
								Peso cáp + s.h.	
								Peso cáp + s.s.	
								Peso agua	
								Peso cápsula	
								Peso suelo seco	
								W %	
								OBSERVACIONES:	

NOTA: $Area\ correg. = \frac{A_m}{l. Def. unit.}$

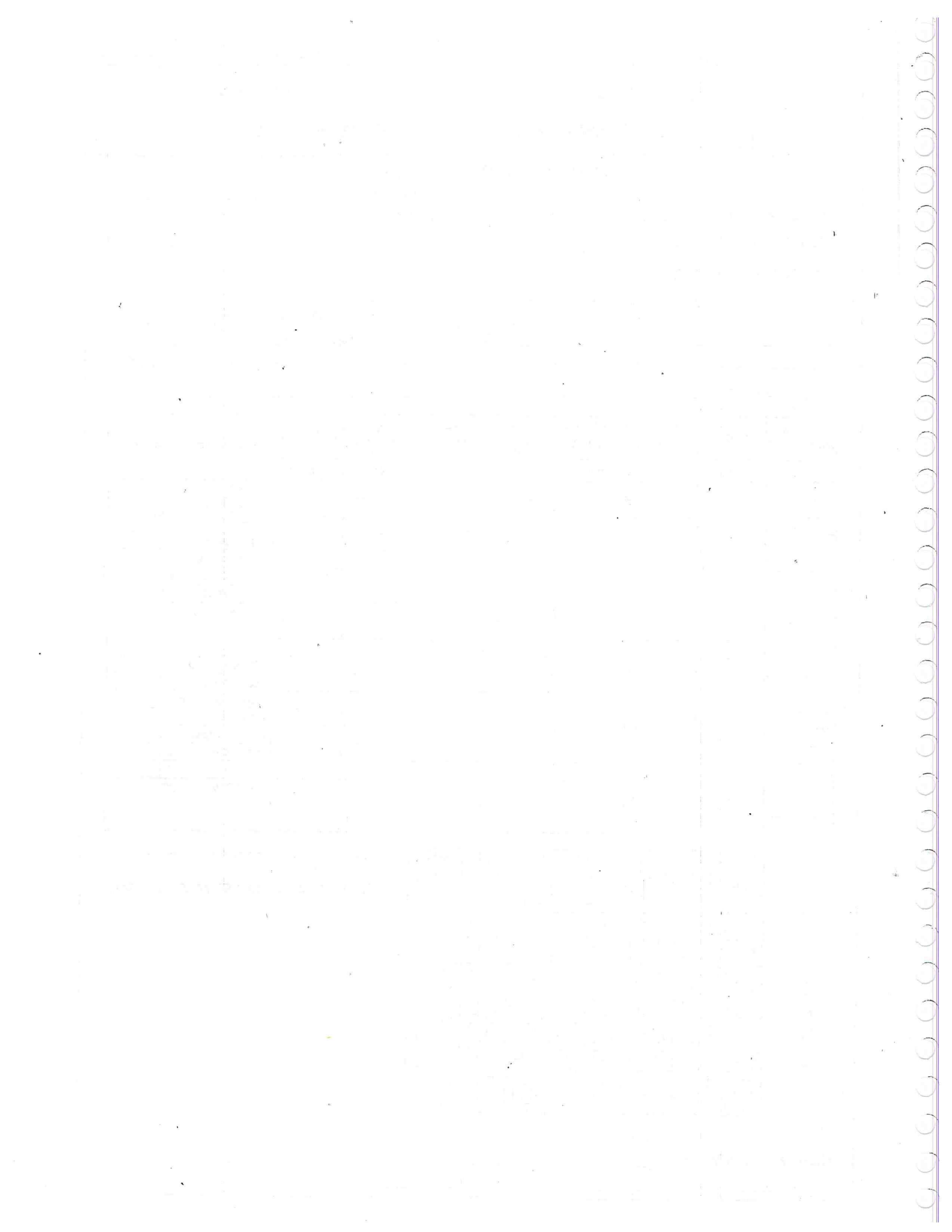
ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA

ESFUERZO en kg/cm²

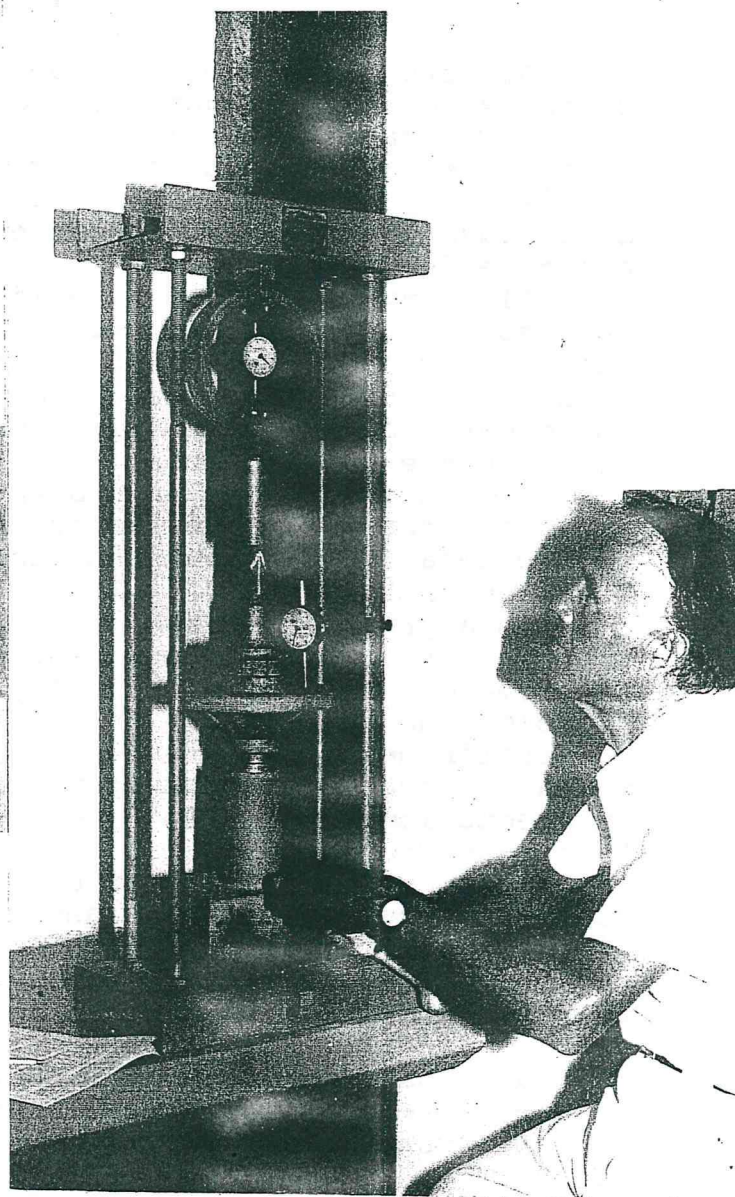
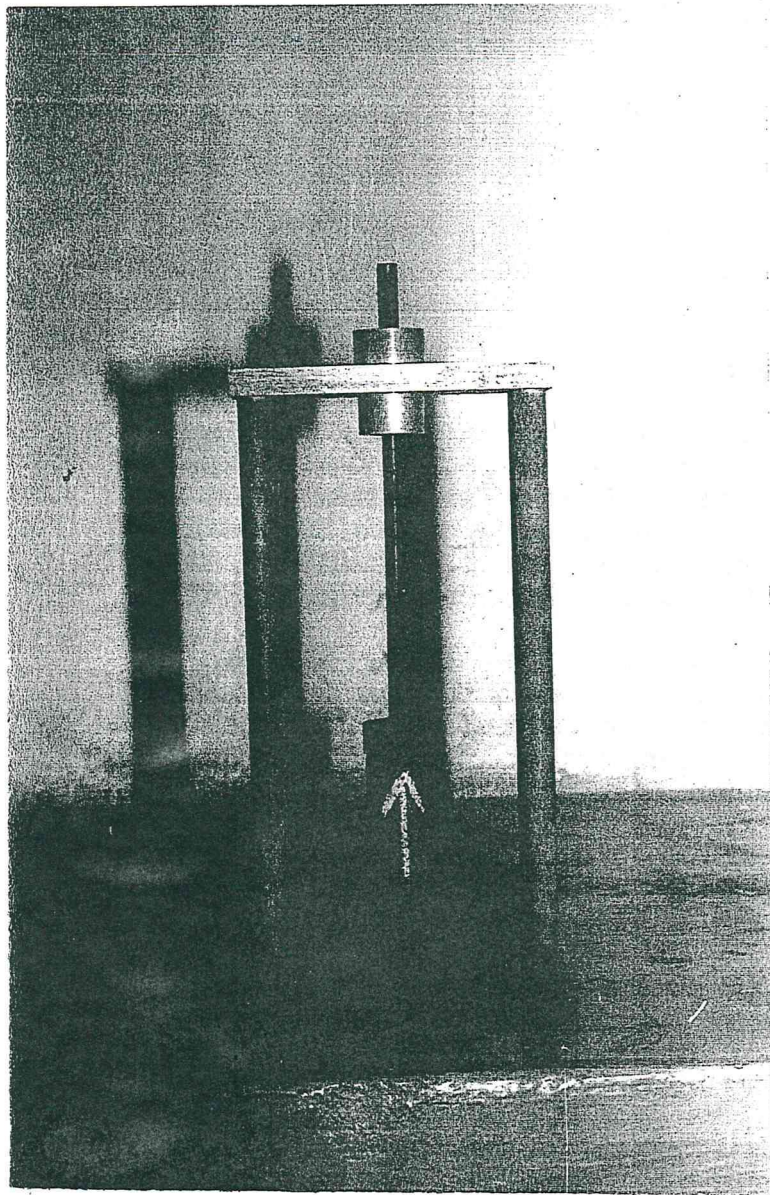


DEFORMACION UNITARIA en %

OBSERVACIONES: _____



La máquina de compresión inconfiada. Esta puede llegar a ser de operación manual o motorizada de acuerdo como se muestra en la siguiente exposición.



RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

a) Generalidades.

La resistencia de un suelo al esfuerzo cortante, que en general se expresa mediante la fórmula de Coulomb, es un dato de importancia primordial para conocer el grado de estabilidad de las obras de tierra.

La fórmula de Coulomb es la siguiente:

$$S = c + \tan \phi$$

En donde:

S: resistencia al esfuerzo cortante,

c: cohesión,

N: esfuerzo normal,

ϕ : ángulo de fricción interna.

De ésta forma reemplazando la envolvente de falla de los círculos de Mohr por una recta que se le aproxime, se tendrá que en el diagrama "esfuerzos cortantes-esfuerzos normales", la cohesión es la ordenada al origen de dicha recta o sea la resistencia al cortante cuando no hay esfuerzo normal. El ángulo ϕ es aquel cuya tangente es la pendiente de la recta, con respecto al eje de esfuerzos normales.

Al ensayar un mismo material pueden obtenerse muy diversos valores tanto de cohesión como de ángulo de fricción interna, pues dependen del estado del material por lo que respecta a la relación de vacíos con que se haya preparado la probeta, del grado de saturación, de la velocidad del ensaye y del método mecánico con que se haga ésta.

Tratándose de suelos susceptibles de emplearse para formar zonas convencionalmente impermeables, se ha encontrado que el método mecánico más adecuado para los ensayos es la prueba de "compresión triaxial".

Esta prueba se lleva a efecto en la cámara de compresión triaxial en la que pueden regularse tanto los esfuerzos normales como el grado de saturación, el grado de consolidación y la velocidad de deformación en una dirección. También puede medirse la presión neutral o presión de poro que es la del fluido que ocupa los espacios intergranulares, presión que se sabe tiene un efecto importantísimo y en ocasiones dominante en la resistencia del material.

Para conocer el comportamiento del material problema en diversos estados, lo cual es necesario para los análisis de estabilidad de cortinas y bordos, cortes, cimentaciones, etc., es necesario llevar a cabo los distintos ensayos de compresión triaxial que enseguida se enumeran:

- a) Prueba rápida no drenada.
- b) Prueba rápida consolidada.
- c) Prueba lenta drenada.

Equipo

- 1) Balanza de torsión de 0.01 g. de aproximación y capacidad de 500 g.
- 2) Cápsulas.
- 3) Calibrador.
- 4) Cronómetro.
- 5) Molde para compactar probetas, de 3.6 cm. de diámetro interior y 12 cm. de longitud, con separadores de metal y dispositivo para recibir las probetas.
- 6) Punzón.
- 7) Dispositivo hidráulico y herramienta para compactar probetas de 3.6 cm. de diámetro.
- 8) Cámara triaxial sin drenaje, para ensayar probetas de 3.6 cm. de diámetro y 9.3 cm. de altura.
- 8) Micrómetro con soporte.
- 9) Cronómetro.
- 10) Tijeras.
- 11) Llave de tuercas (perico).
- 12) Bandas de hule (ligas).
- 13) Fundas de hule.
- 14) Dispositivo para compresión triaxial.

b) Preparación de las probetas.

Existen dos tipos de muestras que se ensayan en esta prueba: ~~las inalteradas y las remoldeadas.~~

El método del torno para la obtención de probetas se aplica de la siguiente manera:

1. De la muestra inalterada se labra un prisma cuyas bases sean paralelas, el cual se coloca en el torno procurando centrarlo y con el cortador de arco, que se desliza apoyando en las soleras del torno, se efectúan los cortes necesarios para ir formando la probeta cilíndrica.

2. Se hace girar el torno y se sigue cortando de la misma manera, hasta lograr dar a la probeta la forma cilíndrica.

3. Se saca la probeta del torno y se coloca en el enrasador para darle la altura indicada.

Las muestras remoldeadas se preparan de la siguiente manera:

1. Se toman de dos a tres kilogramos de material el cual ya se ha preparado, desmoronándolo y pasándolo por la malla # 4 (4.69 mm.); y se colocan en una charola de lámina, con su respectiva identificación.

2. Se vuelven a desmoronar los grumos del material que pasaron por la malla # 4 (4.69 mm.) con un trozo de madera, evitando romper los granos de arena.

3. Con un atomizador se humedece el material y al mismo tiempo se revuelve con una espátula para lograr humedad uniforme.

4. Se da al material generalmente la humedad de saturación W_G , considerando el 95% del peso volumétrico δ_m obtenido en la prueba Proctor. La expresión matemática es: δ_m

$$W_G = \frac{1000 \cdot 0.95 \delta_m}{S} \cdot \frac{S}{0.95 \delta_m}$$

5. Una vez que el material tiene humedad uniforme y poco mayor que la óptima de la próctor, se introduce en un recipiente de vidrio con tapa, para evitar pérdidas de humedad y se deja reposar durante 24 horas mínimo para que la humedad se uniformice. Al mismo tiempo se toma una muestra para obtener el contenido de humedad.

6. Se hace un primer tanteo volumétrico que consiste en compactar una probeta, en 5 capas, separadas cada una por un disco metálico; el peso del material de cada capa es constante, la presión y el tiempo se aumentan en cada capa en forma de obtener una compactación uniforme.

Una vez terminada la probeta, se saca del molde, se separan del molde las capas teniendo cuidado de no perder el orden de colocación, se mide su altura y su diámetro, se pesan por separado dentro de una cápsula y todos los valores se anotan en la parte correspondiente a compresión triaxial volumétrica.

7. Se introducen las cápsulas en el horno a 110°C., durante 18 horas mínimo, para su secado, después de las cuales, se sacan del horno colocándolas dentro de un desecador para que se enfrien; ya frías se pesan anotando los datos correspondientes peso seco + tara ($W_s + \text{tara}$).

8. Si la compactación de la probeta no cumple los requisitos prefijados, se repiten los tanteos hasta lograrlo.

9. Una vez encontradas la presión y el tiempo adecuados, se procede a compactar las probetas necesarias para el ensayo, teniendo en cuenta que los discos metálicos sólo se usan en los extremos, para evitar que se adhiera material en la base del molde o en el vástago. Después de haber compactado cada capa, con un punzón se pica la superficie de la misma a fin de lograr adherencia entre ésta y la capa siguiente.

c) Procedimiento.

A) RAPIDAS O SIN DRENAJE.

1. Una vez obtenida la probeta (inalterada o remoldeada), se coloca cuidadosamente en posición horizontal sobre una placa de lucita o de vidrio, se mide su altura (h) y su diámetro (d) con un calibrador, cuyo vernier aproxime al 0.01 cm. y se anotan los valores en la hoja de registro.

2. La probeta se coloca dentro de una cápsula numerada y previamente tarada, se pesa en una balanza de torsión que aproxime al 0.01 g. y se anota el valor en el renglón peso probeta húmeda antes de la prueba + tara.

3. Sobre la base inferior de la cámara triaxial, se coloca la probeta en posición vertical.

4. En el cabezal se ha colocado previamente la funda de hule, sujeta con una liga y este conjunto se pone sobre la probeta, deslizando la funda hacia abajo.

5. En el extremo inferior de la funda de hule, se amarra sobre la base de bronce de la cámara, con otra liga.

6. Se verifica que la probeta esté bien centrada, se coloca el tubo de lucita sobre el empaque de la base de bronce de la cámara y se pone la tapa teniendo la precaución de levantar el vástago para no tocar la probeta.

7. Se cierra herméticamente la cámara, ajustando las tuercas a los tornillos de que está provista, procurando que las dos bases queden paralelas, y pueda coincidir el centro del balero que está alojado en el cabezal con la espiga del vástago que transmite la carga axial.

8. La cámara se coloca en la báscula y se centra el vástago en el balero del marco de carga, se hace bajar el marco hasta que esté a punto de hacer contacto.

9. Se coloca el micrómetro en el soporte de la cámara y apoyado sobre el marco, procurando que quede en posición vertical.

10. Se introduce el agua dentro de la cámara y se aplica la presión lateral con la cual se va a ensayar el espécimen.

Considerando que todas las llaves del dispositivo para compresión triaxial, de acuerdo a la siguiente figura, están cerradas, se procede en la siguiente forma:

Se abren las llaves (7), (6), (4), y con la (2), se controla la entrada de aire de la compresora, hasta que la cámara quede totalmente llena de agua y empiece a salir por la llave (7), entonces se cierra dicha llave y con la llave (2) se controla la entrada de aire al tanque regulador, leyendo primeramente en el manómetro mecánico (tipo Bourdon) la presión que se desea dar; cuando esta presión se ha logrado, se cierra la llave (2); si la presión requerida es menor de 3.5 kg./cm.^2 , se utiliza el manómetro de mercurio para lo cual se abre la llave (3); en el tablero de dicho manómetro se leen con precisión las alturas de las columnas de mercurio que, sumadas y multiplicadas por 13.6 g./cm.^3 (peso volumétrico del mercurio), nos dan el valor de la presión lateral en g./cm.^2 ; el resultado se divide entre 1000 para obtener kg./cm.^2 , este valor se anota en el renglón presión lateral inicial (σ_{III}), de la hoja de registro. La llave (5) se utiliza para abatir la presión cuando sea necesario.

11. Una vez dada la presión lateral a la cual se va a ensayar el espécimen, la báscula se pone en cero. En la hoja de registro se anotan las lecturas iniciales de la báscula y del micrómetro en sus correspondientes columnas.

12. En el control de marcha, se fija la velocidad de ruptura a la cual se va a someter el espécimen durante el ensayo y que, generalmente, es de 1 mm./min.

13. Se ponen en marcha, el dispositivo eléctrico que elimina la fricción del vástago y el mecanismo de carga, tomando lecturas simultáneas de la báscula y del micrómetro, con la frecuencia que sea necesaria, para definir la curva deformación unitaria-esfuerzo.

14. Las lecturas deben suspenderse cuando la carga, después de haber llegado a un máximo, empiece a decrecer (materiales arenosos) o bien cuando la deformación corresponde a un 20% con respecto a la altura inicial (materiales plásticos).

15. Se procede a desmontar el espécimen; para ello se lee nuevamente la presión lateral y se anota en el renglón presión lateral final (σ_{III}), en seguida se cierra la llave (4), se abren las llaves (5) y (7); la llave (1) se conecta a la (7) dejando pasar aire para regresar el agua de la cámara al tanque.

Una vez logrado, se cierra la llave (1), se desconecta de la (7) y se procede a desarmar la cámara.

16. Se desliga el espécimen de las bases, se le quita la funda y se pesa en la misma cápsula en que se había pesado antes de la prueba, anotando el valor en la hoja de registro en peso probeta húmeda después de la prueba + tara.

17. Se mide nuevamente su altura h_f y si la falla fue

del tipo plástico, se determina la zona de falla tomando dos diámetros perpendiculares en tres planos horizontales, procurando que uno de esos planos esté en la sección más deformada. Se hace el croquis del espécimen deformado.

18. Se introduce al horno a 110°C para su secado, durante 18 horas mínimo; después se saca, se pone dentro de un desecador para que se enfríe, se pesa y se anota en la hoja de registro en lo que corresponde a peso muestra seca + tara.

Este procedimiento se repite en 4 probetas del material bajo estudio, con diferentes presiones laterales, para definir la envolvente de Mohr. Si 4 probetas no son suficientes se probarán las que se necesiten.

Cálculo

1. Con los datos ya registrados, se calcula el peso del agua W_w y de los sólidos W_s .

2. Se obtiene el volumen V de la probeta. Con el valor del peso de sólidos W_s , dividido entre la densidad de los mismos S_s , se obtiene el volumen de los sólidos V_s que, restado al volumen total V nos da un volumen de vacíos V_v .

3. Se calcula el contenido de humedad en % y la humedad del testigo.

4. La relación de vacíos $e = V_v/V_s$.

5. El grado de saturación G en % se obtiene dividiendo el peso del agua W_w , entre el volumen de vacíos V_v y multiplicado por 100:

$$G = \frac{W_w}{V_v} \times 100$$

6. Los datos así obtenidos, se pasan al formato de cálculo correspondiente.

7. Cuando el espécimen no se deforma en toda su longitud, se calcula su diámetro medio d_m de la siguiente manera: se suman los diámetros de los extremos y dos veces los del centro, dividiendo entre 8, como en el siguiente caso:

$$d_m = \frac{3.83+3.85+3.97+3.97+3.97+3.97+4.31+4.46}{8} = 4.04$$

8. Se calcula la deformación lineal en mm., restando la lectura inicial del micrómetro a cada una de las lecturas subsecuentes tomadas durante la prueba. Un ejemplo de lectura inicial es 0.000.

9. La columna de deformación unitaria ϵ en %, se obtiene de la siguiente expresión:

$$\epsilon = \frac{\delta_x}{h} \cdot 100$$

donde δ_x es la deformación lineal, en mm., para un tiempo cualquiera y h , en cm., es la altura inicial del espécimen.

10. El área corregida se puede obtener de dos maneras:

a) Empleando la deformación unitaria si la falla no es plástica, con la expresión matemática:

$$A_{\text{corr.}} = \frac{A_i}{1 - \frac{\epsilon\%}{100}} \text{ cm}^2$$

en donde $A_{\text{corr.}}$ es el área corregida, A_i el área inicial, ϵ la deformación unitaria en %.

b) Empleando el diámetro deformado; cuando la falla es plástica:

$$A_{\text{corr.}} = A_i + \frac{(A_f - A_i)}{\delta_T} \delta_x \text{ cm}^2$$

donde $A_{\text{corr.}}$ es el área corregida, A_i el área inicial, A_f el área final, que se obtiene del diámetro deformado d_m , δ_T la deformación lineal total y δ_x la deformación en cualquier tiempo.

Ejemplo: obtendremos el área corregida correspondiente al esfuerzo máximo.

$$A_{\text{coor.}} = 10.14 + \frac{(12.57 - 10.14)}{1.972} \cdot 1.543 = 12.04 \text{ cm}^2$$

11. La columna esfuerzo $\sigma_I - \sigma_{III}$ en kg./cm.^2 , se obtiene dividiendo la carga entre el área corregida.

12. Se dibuja la gráfica deformación unitaria-esfuerzo.

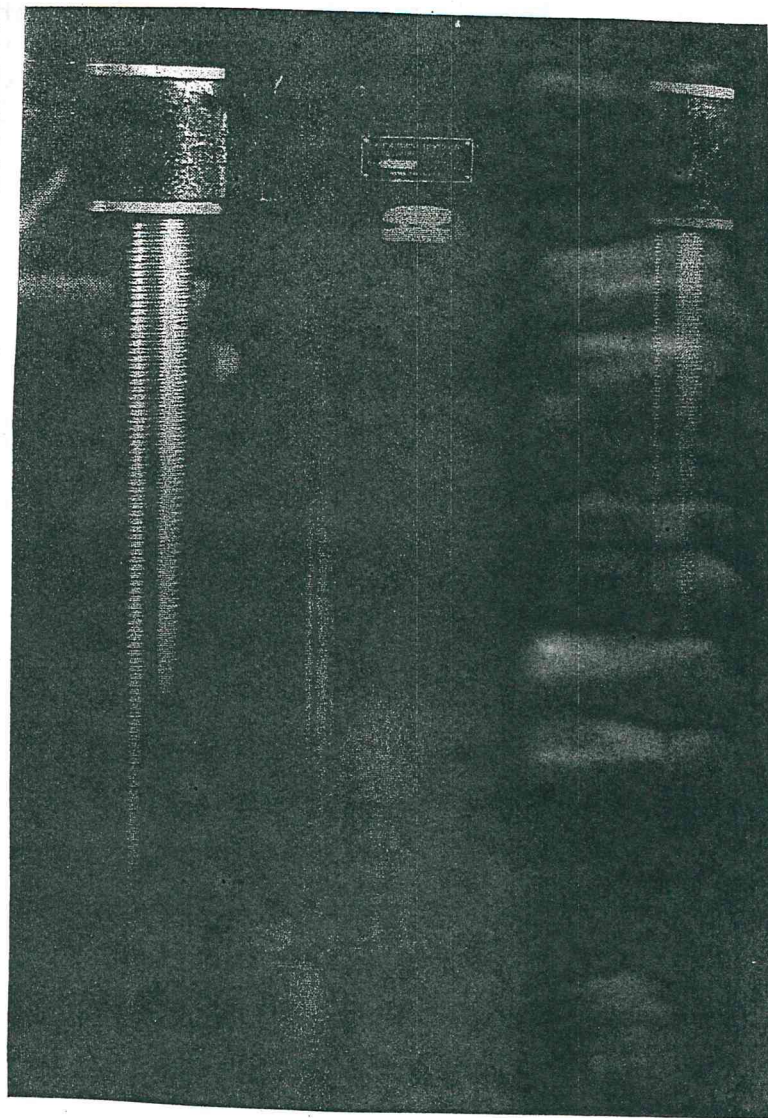
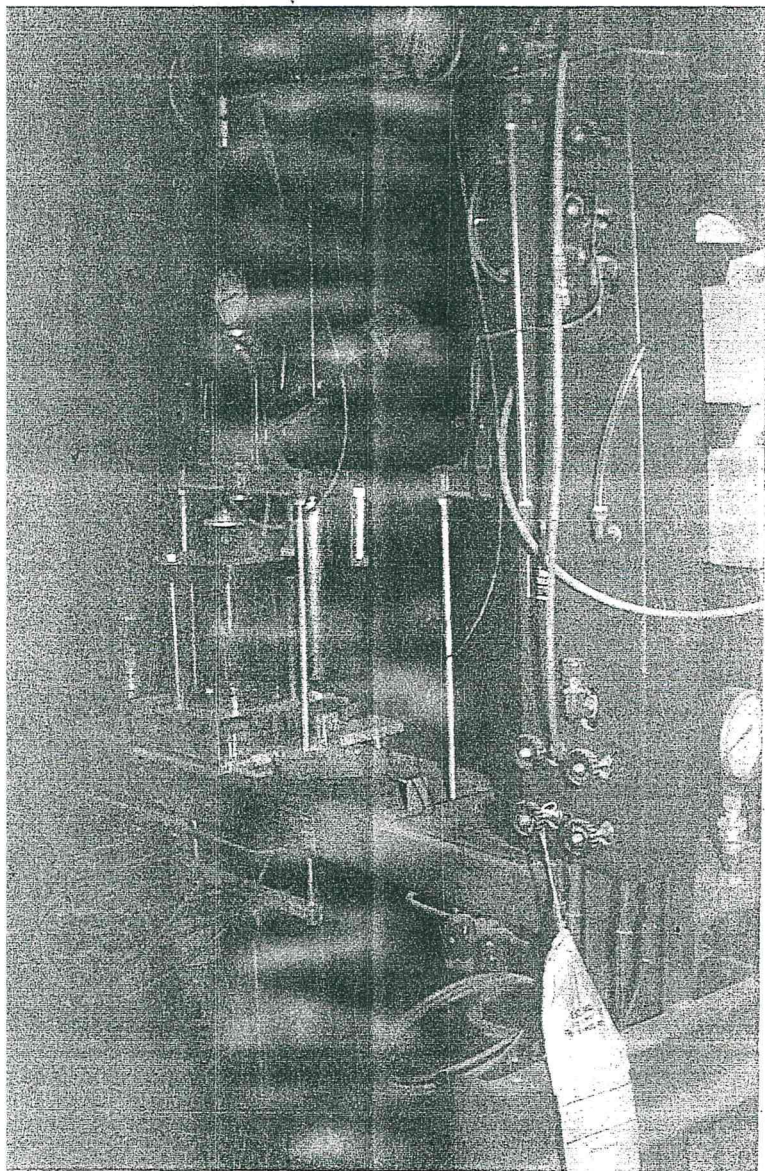
13. En el registro correspondiente a círculos de Mohr, se anotan los datos tomados de cada una de las pruebas efectuadas.

14. Se procede al trazo de los círculos de Mohr; para ello se elige una escala de esfuerzos; a partir del origen y sobre el eje horizontal se lleva el valor de la presión lateral σ_{III} y desde este punto se marca el valor del esfuerzo principal de ruptura $\sigma_I - \sigma_{III}$, que viene a ser el diámetro del círculo; por tanto con centro en el punto medio del segmento así determinado se traza el semicírculo correspondiente.

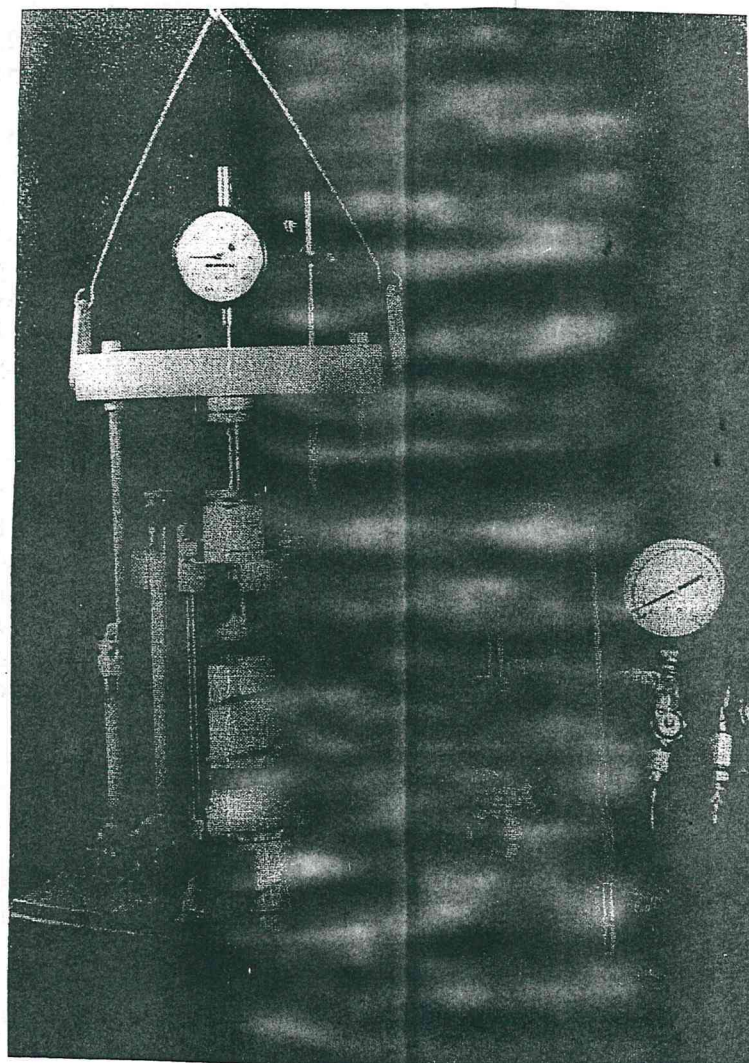
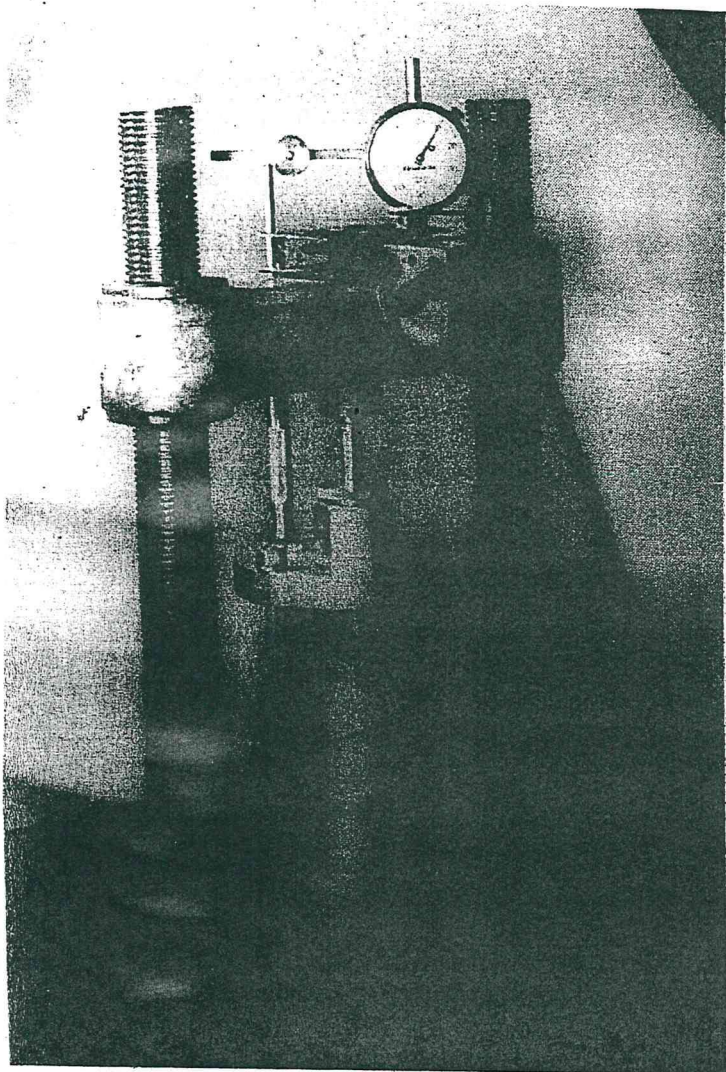
15. Una vez trazados los semicírculos, se dibuja la envolvente que mejor se ajuste a ellos. Dicha línea representa aproximadamente la variación del esfuerzo cortante en función de las presiones normales aplicadas.

16. El ángulo de fricción interna ϕ es el que forma la envolvente con la horizontal; y el valor de la cohesión c , está dado por la ordenada al origen de dicha envolvente, medida a la misma escala con que se trazaron los círculos.

En la prueba de compresión triaxial el objetivo es determinar las características esfuerzo-deformación y de resistencia de los suelos. En las siguientes fotos se observa un equipo de compresión triaxial y la colocación de la probeta.



Se cierra herméticamente la cámara, ajustando las tuercas a los tornillos de que está provista, procurando que las dos bases queden paralelas, y pueda coincidir el centro del balero que está alojado en el cabezal con la espiga del vástago que transmite la carga axial.



B) PRUEBA RAPIDA-CONSOLIDADA.

Una vez obtenida la probeta (inalterada o remoldeada), se siguen los pasos (1) y (2) indicados en el inciso (A).

Después se procede como sigue:

1. Se llena de agua la pipeta y se conecta con las bases de la muestra; se procede a desalojar todo el aire del sistema, incluyendo el de las piedras porosas de las bases.

2. La probeta se protege con una funda de papel filtro saturado y dos discos del mismo papel saturado en sus bases.

3. Se procede a montar la probeta en la cámara, de acuerdo con los pasos (3, 4 y 5) indicados en el inciso (A).

4. Se repiten los pasos (6) y (7) del inciso (A).

5. Se llena de agua la cámara por la llave número (6), abriendo la (7). Una vez llena se cierran las llaves (6) y (7).

6. Se coloca la cámara en el banco de consolidación, conectándole la manguera del sistema de confinamiento por la llave (6); se pone el micrómetro procurando quede en posición vertical.

7. En este caso para aplicar la presión lateral se emplea un dispositivo accesorio, la celda de presión constante. Este dispositivo, basado en el principio de la prensa hidráulica, compensa automáticamente los cambios de presión de cámara producidos por la consolidación del espécimen, o por pequeñas fugas en el sistema de confinamiento. Para poner la celda a presión, se pone el contrapeso del pistón y después se sigue el proceso descrito en el paso (10) del inciso (A), permaneciendo cerrada la conexión entre la celda y la cámara triaxial. Se induce en la celda una presión ligeramente mayor que la presión de confinamiento buscada con objeto de hacer subir el pistón. Estando el pistón en la posición deseada, se aísla la celda y se conecta con la cámara triaxial abriendo la llave (6). Este sistema compensa los cambios de presión por 48 horas o más.

8. Al abrir la llave (6) simultáneamente se colocan en el recipiente del contrapeso pesas que equilibren al empuje en el vástago, originado por la presión de la cámara.

9. Se hacen las lecturas iniciales; del micrómetro y de la bureta, anotándose en la hoja de registro; se habren las llaves de control de flujo instaladas en la cámara y al mismo tiempo se pone en marcha el cronómetro, tomando una serie de lecturas simultáneas, variación de volumen-tiempo y deformación-tiempo, para también registrarse. Estos pasos deben efectuarse rápidamente.

10. Con los datos deformación-tiempo y variación de volumen desalojado-tiempo, se construye una gráfica en rayado semi-logarítmico.

11. Cuando se han definido las gráficas de consolidación, se da por terminado el proceso, cerrando las llaves de control de flujo.

12. Se cierra la llave (6), se coloca el pasador para detener el vástago, se abate la presión del sistema, se desconecta la manguera que viene del tanque de agua y se quita el micrómetro.

13. Se traslada la cámara a la báscula, se conecta el micrómetro y mediante el sistema de presión, se aplica una presión igual a la que se usó en la etapa de consolidación.

14. Una vez dada la presión lateral y nivelada la báscula, se quita el pasador del vástago, se abre la llave (6) y se repiten los pasos (11) a (19) del inciso (A).

Cálculo

El cálculo se efectúa siguiendo los mismos pasos indicados en el inciso (A), después de tomar en consideración las medidas modificadas por el efecto de la consolidación, en la forma siguiente:

1. A la altura inicial h , se le resta la deformación total sufrida por la probeta por la etapa de consolidación, para obtener h_c . Ejemplo:

$$h_c = 9.458 - 0.301 = 9.157 \text{ cm}$$

2. La variación total de volumen τv se obtiene con la siguiente expresión; siempre y cuando el espécimen tenga una saturación del 100%:

$$\tau v = \left(\frac{w_i - w_f}{100} \right) W_s$$

donde τv es la variación total del volumen, w_i es el contenido de humedad inicial, w_f es el contenido de humedad final y W_s el peso de los sólidos, ejemplo:

$$\tau v = \left(\frac{28.41 - 22.32}{100} \right) 146.13 = 8.89 \text{ cm}^3$$

3. El volumen corregido V_c se obtiene restando al volumen inicial V , la variación total de volumen τv .

$$V_c = V - \tau v$$

Ejemplo: $V_c = 93.56 - 8.89 = 84.67 \text{ cm}^3$

4. El área inicial de ruptura A_i es:

$$A_i = \frac{V_c}{h_c} \text{ cm}^2$$

Ejemplo:

$$A_i = \frac{84.67}{9.458} = 8.95 \text{ cm}^2$$

Se hace notar, que en esta prueba se deben calcular las condiciones iniciales y finales del espécimen, es decir w , e y G .

C) PRUEBA LENTA.

En esta prueba se sigue el mismo procedimiento indicado en la triaxial Rápida-Consolidada, hasta que finalice la etapa de consolidación y entonces se continúa de la siguiente manera:

1. Sin trasladar la cámara y permaneciendo las llaves de control de flujo y la número (6) abiertas, se aplica la primera carga axial y se leen el micrómetro y la bureta a intervalos de tiempo conocidos, hasta que las deformaciones y variaciones volumétricas del espécimen sean prácticamente nulas.

2. Se aplican sucesivamente la segunda, tercera y demás cargas, operando en igual forma que la explicada en el paso anterior, hasta provocar la falla en el espécimen. Para hacer un programa de las cargas axiales que se usarán en el ensayo, es necesario tener una idea de la que produce la falla, por otras pruebas y por la forma de la curva de cargas -deformaciones.

3. Para cada incremento de carga axial, se dibujan las curvas deformaciones axiales-tiempos y variaciones volumétricas -tiempos; se calculan los contenidos de agua y relaciones de vacíos.

4. Todas las operaciones descritas se repiten para otras presiones laterales. Con los valores de las cargas axiales de ruptura y presiones laterales, se trazan los círculos de Mohr y las envolventes respectivas.

TRIAXIAL CONSOLIDADA DRENADA

	ω %	e_1	e_f	G_3 Kg/cm ²	$G_1 - G_3$ Kg/cm ²
1	18.0	0.58	0.49	1.00	3.27
2	17.6	0.60	0.48	3.00	9.95
3	21.0	0.58	0.57	7.00	23.30

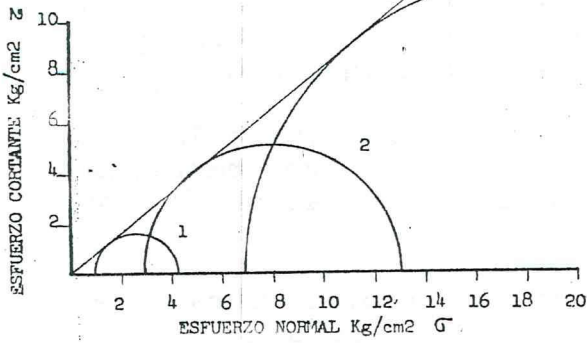
$\gamma_d = 1754 \text{ Kg/m}^3$

$C_r = 91 \%$

Saturación 100%

$\phi = 39^\circ$

$c = 0 \text{ Ton/m}^2$



Sondeo horizontal
distancia 5 m

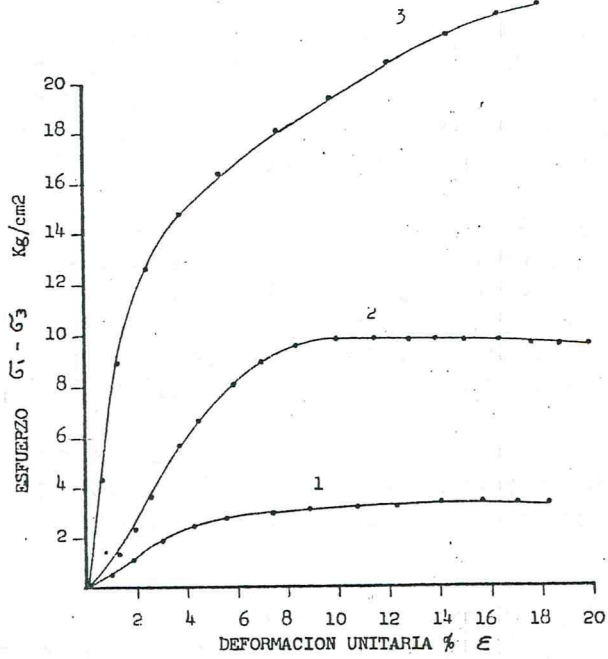


Fig. 3

TRIAXIAL CONSOLIDADA DRENADA

	ω %	e_1	e_f	G_3 Kg/cm ²	$G_1 - G_3$ Kg/cm ²
1	16.4	0.51	0.44	1.00	2.90
2	14.5	0.44	0.40	3.00	10.40
3	14.8	0.49	0.40	7.00	25.60

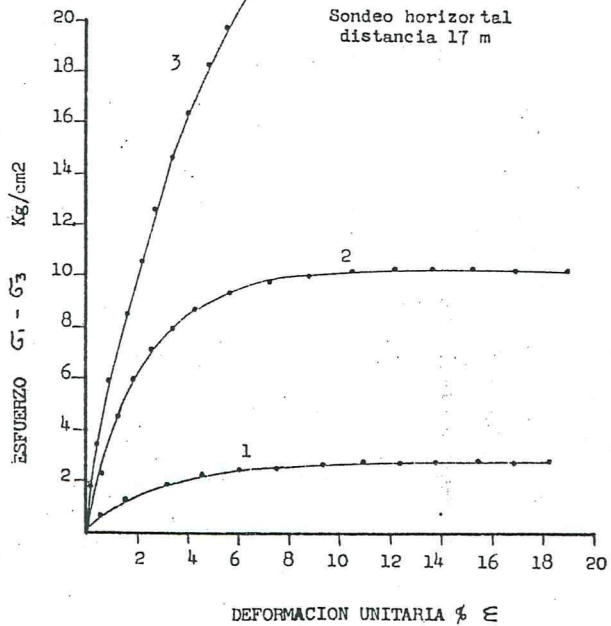
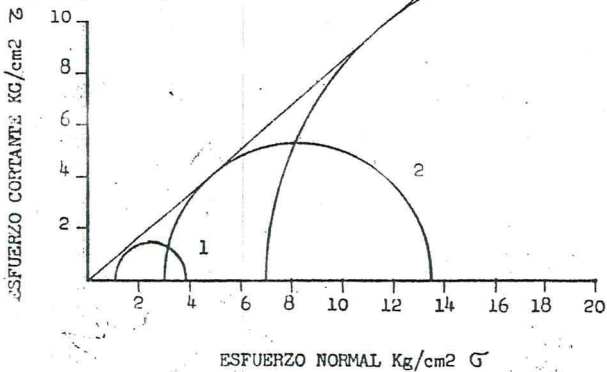
$\gamma_d = 1836 \text{ Kg/m}^3$

$C_r = 90 \%$

Saturación 100%

$\phi = 40^\circ$

$c = 0 \text{ Ton/m}^2$



U.A.S

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MAZATLÁN
Laboratorio de mecánica de suelos

ENSAYE DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Obra: _____ Muestra No. _____ Prof. _____
 Localización: _____ Descripción: _____
 Sondeo No. _____ Ensaye No. _____ Tipo de suelo: _____
 Esfuerzo de Confinamiento: _____ Kg/cm² Operador: _____ Fecha: _____
 Calculo: _____ cm².

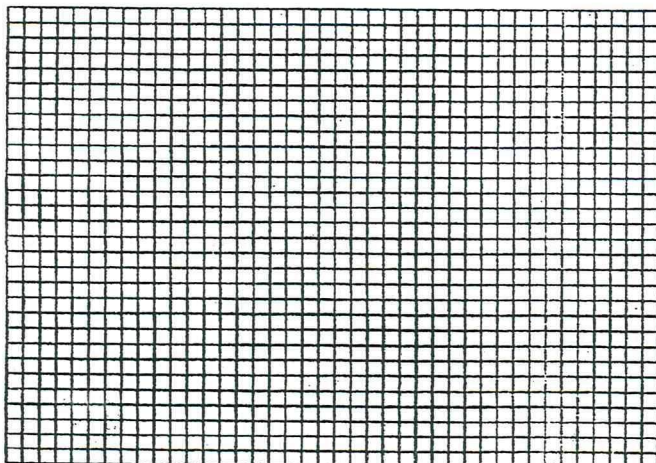
MEDIDAS DE LA MUESTRA

D_S = _____ cm A_S = _____ cm² W_i = _____ gr
 D_C = _____ cm A_C = _____ cm² V_i = _____ gr
 D_i = _____ cm A_i = _____ cm² Y_m = _____ gr
 H_m = _____ cm A_m = _____ cm²

VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE LA CARGA: _____

Tiempo transcurrido	Carga	Lectura micrómetro	Deformación total	Deformación unitaria	I. Deformación unitaria	Area corregida	Esfuerzo	Contenido de agua	
								Capsula No.	
								Peso Caps. + S.H.	
								Peso Caps. + S.S.	
								Peso agua	
								Peso capsula	
								Peso suelo seco	
								w %	
								OBSERVACIONES	
								Capsula No.	
								Peso Caps. + S.H.	
								Peso Caps. + S.S.	
								Peso agua	
								Peso capsula	
								Peso suelo seco	
								w %	
								OBSERVACIONES	

ESFUERZO en kg/cm.²



DEFORMACION UNITARIA en %

NOTA: Area corregida = $\frac{A_m}{1 - Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA

OBSERVACIONES: _____

Fórmulas para cimentaciones superficiales con capacidad de carga ultima

- Usando el análisis de equilibrio, Terzagui expreso la capacidad de carga ultima de la siguiente forma:

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma BN_y \quad (\text{Cimentación corrida})$$

Donde

c' = Cohesión del suelo

γ = Peso específico del suelo

$q = \gamma D_f$

N_c , N_q , N_y = Factores de capacidad adimensionales que están únicamente en función del ángulo Φ' de fricción del suelo.

Los factores de capacidad de carga, N_c , N_q , N_y se definen mediante las expresiones:

$$N = \cot \Phi' \left[\frac{e^2 \left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\Phi'}{2} \right) \tan \Phi'}{2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\Phi'}{2} \right)} - 1 \right] = \cot \Phi' (N_q - 1)$$

$$N_y = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \Phi'} - 1 \right) \tan \Phi'$$

$$N_q = \frac{e^2 \left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\Phi'}{2} \right) \tan \Phi'}{2 \cos^2 \left(45 + \frac{\Phi'}{2} \right)}$$

Donde

K_{py} = Coeficiente de empuje pasivo.

- Para estimar la capacidad de carga última de cimentaciones cuadradas o circulares, la ecuación usada es:

$$q_u = 1.3c' N_c + qN_q + 0.4\gamma BN_y \quad (\text{cimentación cuadrada})$$

- Factor de seguridad:

El cálculo de la capacidad de carga admisible (también conocido como permisible) bruta de cimentaciones superficiales requiere la aplicación de un factor de seguridad (FS) a la capacidad de carga última bruta, o:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

La siguiente tabla señala los factores modificados de capacidad de carga de Terzaghi

N'_c , N'_q y N'_γ

Φ'	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5.70	1.00	0.000
1	5.90	1.07	0.005
2	6.10	1.14	0.020
3	6.30	1.22	0.040
4	6.51	1.30	0.055
5	6.74	1.39	0.074
6	6.97	1.49	0.100
7	7.22	1.59	0.128
8	7.47	1.70	0.160
9	7.74	1.82	0.200
10	8.02	1.94	0.240
11	8.32	2.08	0.300
12	8.63	2.22	0.350
13	8.96	2.38	0.420
14	9.31	2.55	0.480
15	9.67	2.73	0.570
16	10.06	2.92	0.670
17	10.47	3.13	0.760
18	10.90	3.36	0.880
19	11.36	3.61	1.030
20	11.85	3.88	1.110
21	12.37	4.17	1.350
22	12.92	4.48	1.550
23	13.51	4.82	1.740
24	14.14	5.20	1.970
25	14.80	5.60	2.250

Φ'	N'_c	N'_q	N'_γ
26	15.53	6.05	2.59
27	16.3	6.54	2.88
28	17.13	7.07	3.29
29	18.03	7.66	3.76
30	18.99	8.31	4.39
31	20.03	9.03	4.83
32	21.16	9.82	5.51
33	22.39	10.69	6.32
34	23.72	11.67	7.22
35	25.18	12.75	8.35
36	26.77	13.97	9.41
37	28.51	15.32	10.90
38	30.43	16.85	12.75
39	32.53	18.56	14.71
40	34.87	20.50	17.22
41	37.45	22.70	19.75
42	40.33	25.21	22.50
43	43.54	28.06	26.25
44	47.13	31.34	30.40
45	51.17	35.11	36.00
46	55.73	39.48	41.70
47	60.91	44.45	49.30
48	66.8	50.46	59.25
49	73.55	57.41	71.45
50	81.33	65.60	85.75

- Meyerhof (1963) sugirió la siguiente forma de ecuación general de capacidad de carga:

$$q_u = c'N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

En esta ecuación

c' = Cohesión

q = Esfuerzo efectivo al nivel de desplanté de la cimentación

γ = Peso específico del suelo

B = Ancho de la cimentación (=diámetro para una cimentación circular)

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ = Factores de forma

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = Factores de profundidad

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = Factores por inclinación de la carga

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = Factores de capacidad de carga

Las ecuaciones para determinar los diversos factores dados en la ecuación se describen brevemente en las siguientes secciones. Observe que la original para la capacidad de carga ultima se derivó únicamente para el caso del estado plano de deformación (es decir, para cimentaciones corridas). Los factores de forma, profundidad e inclinación de carga son factores empíricos basados en datos experimentales.

- **Factores de capacidad de carga**

Con base en estudios de laboratorio y campo sobre capacidad de carga, la naturaleza básica de la superficie de la falla en suelos sugerida por Terzaghi parece ahora ser correcta (Vesic, 1973). Sin embargo, el ángulo α es más cercano a $45 + \Phi'/2$ que a Φ' . Si se acepta el cambio, los valores de N_c, N_q y N_γ para un ángulo de fricción del suelo cambiara también respecto a los proporcionados en la tabla 3.1. Con $\alpha=45+\Phi'/2$, puede demostrarse que:

$$N = \tan^2 \left(45 + \frac{\Phi'}{2} \right) e^{\pi \tan \Phi'} \quad N_c = (N_q - 1) \cot \Phi'$$

La ecuación para N_c fue originalmente obtenida por Prandtl en 1921; y la relación para N_q fue representada por Reissner en 1924. Caquot y Kerisel (1953) y Vesic (1973) dieron la relación para N_γ como:

- Factores de forma:

$$N_y = 2(N_q + 1)\tan\Phi'$$

Las ecuaciones para los factores de forma F_{cs} , F_{qs} y F_{ys} fueron recomendadas por De Beer en 1970 y son:

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan\Phi'$$

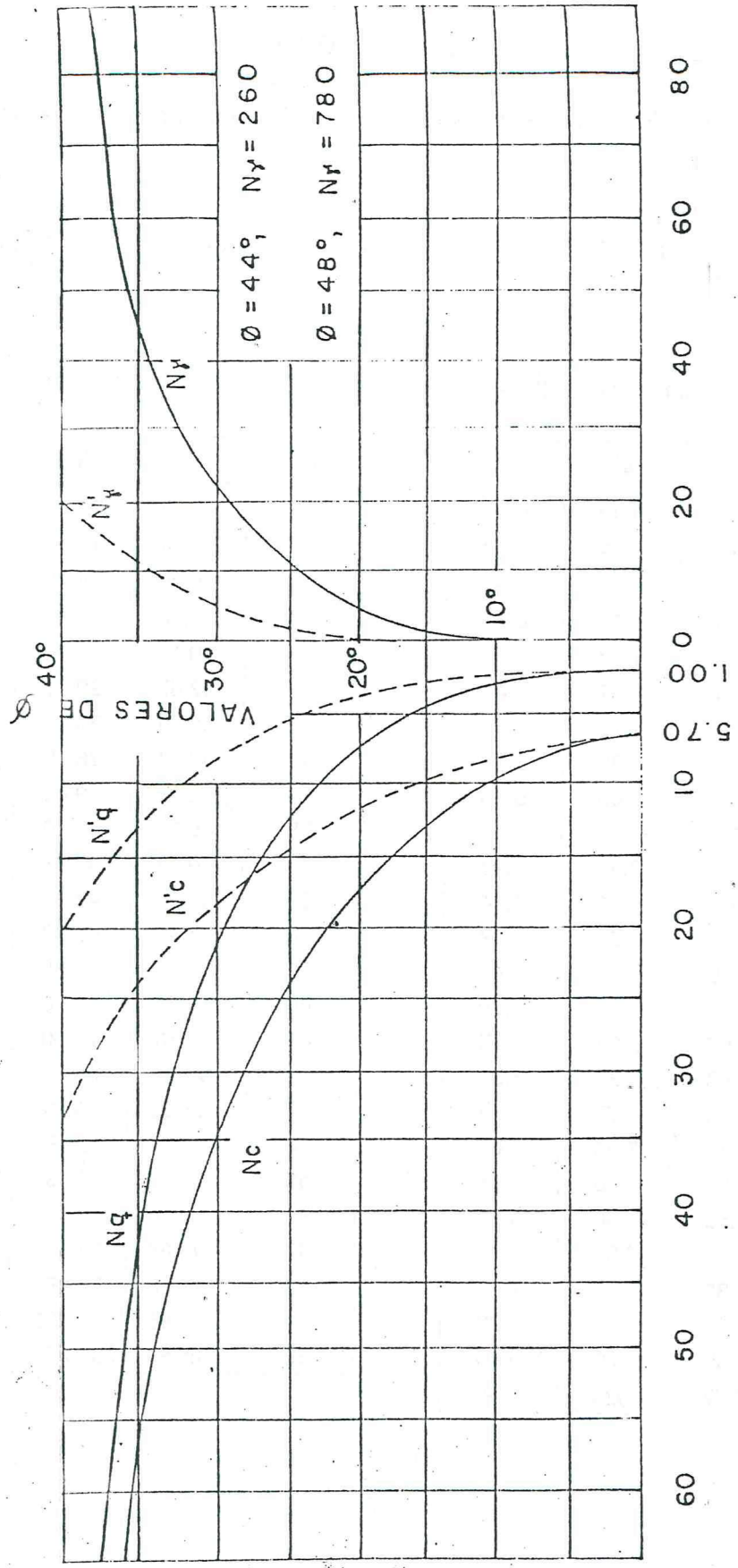
Donde

L = Longitud de la cimentación (L > B)

$$F_{ys} = 1 - 0.4 \left(\frac{B}{L}\right)$$

Φ'	N'_c	N'_q	N'_y
0	5.14	1.00	0.00
1	5.38	1.09	0.07
2	5.63	1.20	0.15
3	5.90	1.31	0.24
4	6.19	1.43	0.34
5	6.49	1.57	0.45
6	6.81	1.72	0.57
7	7.16	1.88	0.71
8	7.53	2.06	0.86
9	7.92	2.25	1.03
10	8.35	2.47	1.22
11	8.80	2.71	1.44
12	9.28	2.97	1.69
13	9.81	3.26	1.97
14	10.37	3.59	2.29
15	10.98	3.94	2.65
16	11.63	4.34	3.06
17	12.34	4.77	3.53
18	13.10	5.26	4.07
19	13.93	5.80	4.68
20	14.83	6.40	5.39
21	15.82	7.07	6.20
22	16.88	7.82	7.13
23	18.05	8.66	8.20
24	19.32	9.60	9.44
25	20.72	10.66	10.88

Φ'	N'_c	N'_q	N'_y
26	22.25	11.85	12.54
27	23.94	13.20	14.47
28	25.80	14.72	16.72
29	27.86	16.44	19.34
30	30.14	18.40	22.40
31	32.67	20.63	25.99
32	35.49	23.18	30.22
33	38.64	26.09	35.19
34	42.16	29.44	41.06
35	46.12	33.30	48.03
36	50.59	37.75	56.31
37	55.63	42.92	66.19
38	61.35	48.93	78.03
39	67.87	55.96	92.25
40	75.31	64.20	109.41
41	83.86	73.90	130.22
42	93.71	85.38	155.55
43	105.11	99.02	186.54
44	118.37	115.31	224.64
45	133.88	134.88	271.76
46	152.10	158.51	330.35
47	173.64	187.21	403.67
48	199.26	222.31	496.01
49	229.93	265.51	613.16
50	266.89	319.07	762.89



VALORES DE N_c Y N_q

VALORES DE N_y

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA PARA LA APLICACION DE LA TEORIA DE TERZAGHI

CIRCULOS DE MOHR - COMPRESION TRIAXIAL

Obra: _____

Muestra: _____

Localización: _____

Profundidad: _____

Sondeo No. _____

PROMEDIOS

$W_i =$ _____ %

$e_i =$ _____ %

$G_i =$ _____ %

$\sigma =$ _____ T/m²

$\delta =$ _____ T/m²

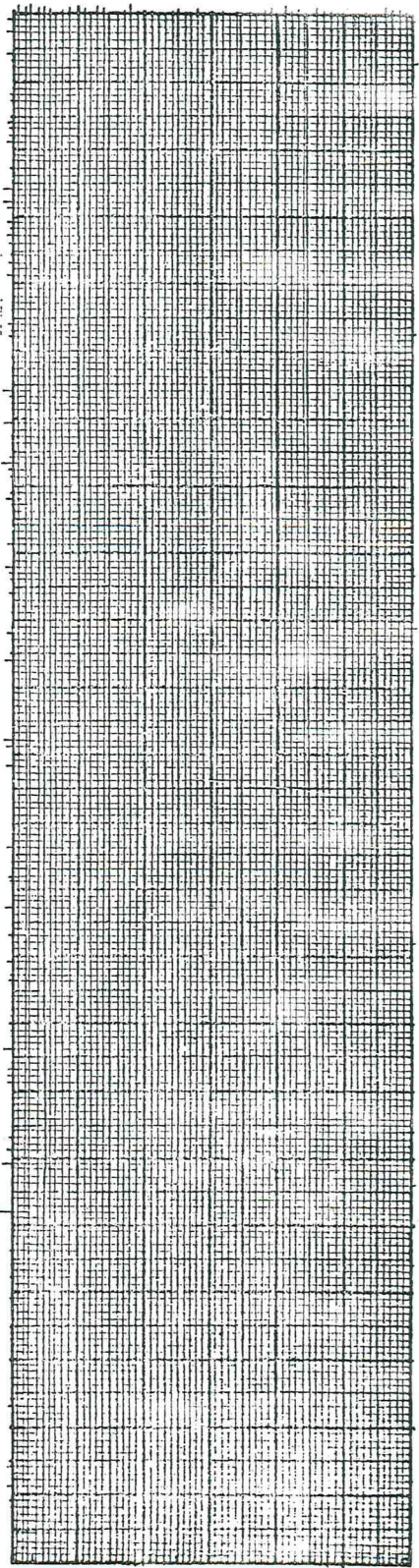
$C_i =$ _____ %

Vel. rep^o: _____ mm/min.

PRUEBA	W_i	W_f	e_i	e_f	G_i	G_f	σ	δ	C_i	e

- No consolidada - No drenada.
- Consolidada - No drenada.
- Consolidada - drenada.

ESFUERZOS TANGENCIALES, en Kg/cm²



ESFUERZOS NORMALES, en Kg/cm²
 Calif. Fecha

Alumna: _____



BIBLIOGRAFIA

1. Geofisica Aplicada a la Geotecnia. Ing. Roboam León Sánchez.
2. Instructivo para Ensaye de Suelos. Secretaria de Recursos Hidráulicos, 1990.
3. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. George B. Sowers; George F. Sowers.
4. Instructivo de Laboratorio para Geotecnia (primera parte) Ings. Norman Alegria C; y Francisco Zamora M.
5. Mecánica de Suelos. T. William Lambe; Robert V. Whitman.
6. Mecánica de Suelos, Tomo I. Ings. Eulalio Juárez Badillo; Alfonso Rico R.
7. (Memoria) Estudio de Mecánica de Suelos. Norberto Sánchez López, José Antonio Morales y otros.
8. Normas de Construcción, Tomo IX. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1982.
9. VII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Tomo II. José Springall C.
10. VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Tomo I. Abraham Ellstein.

