

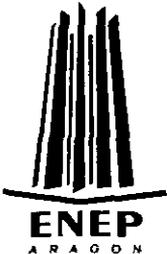


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON

PROGRAMACION EN BASIC PARA PRUEBAS MAS COMUNES EN EL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS.

T E S I S QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO CIVIL PRESENTA: MENDIOLA HERNANDEZ SAUL



EDO. DE MEXICO

2001.

011462



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

**SAÚL MENDIOLA HERNÁNDEZ  
PRESENTE.**

En contestación a la solicitud de fecha 30 de mayo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSÉ MARIO ÁVALOS HERNÁNDEZ pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado, "PROGRAMACIÓN EN BASIC PARA PRUEBAS MÁS COMUNES EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 6 de junio de 2005  
EL DIRECTOR

Lic. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ



- C p Secretaría Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
- C p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/MSR/IIa.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo agradecer en primer termino a mi madre: Luisa Hernández Gerbasio y a mi padre Máximo Mendiola González(finado).

Agradezco:

A mi familia por su paciencia.

A mis amigos por la intervención ratificada.

A mis asesores por su apoyo, en forma muy especial al ingeniero Avalos Hernández Jose Mario.

Al ingeniero Federico Meixuerio Trejo de PEP ingeniería de suelos.

Podría comenzar una lista, pero para no omitir a nadie, agradezco a aquellos cuyos conocimientos, experiencia, dedicación y apoyo hicieron posible esta tesis.

# ÍNDICE

PÁGINA

INTRODUCCIÓN

PRÓLOGO

OBJETIVOS

CAPITULO I

RESUMEN

HISTORICO.....10

Antecedentes

La primera computadora

1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª Generación

Antecedentes de Mecánica de suelos

CAPITULO II

CONTENIDO DE

HUMEDAD.....18

Determinación del contenido de humedad

Procedimiento

Programa, ejemplo, formato

CAPITULO III

GRANULOMETRIA.....25

Cantidades de una muestra para ser utilizadas en pruebas de laboratorio

Granulometria

Procedimiento

Programa, ejemplos, formato

CAPITULO IV

DENSIDAD DE

SÓLIDOS.....34

Densidad de sólidos

Calibración del Matraz

Procedimiento

Esquema de trompa y bomba de vacíos

Programa, ejemplo, grafica de datos, formato

CAPITULO V

COMPACTACION.....44

Compactación

Procedimiento

Base para prueba Próctor

Programa, ejemplo, formato

CAPITULO VI

LIMITES DE

CONSISTENCIA.....53

Generalidades

Detalles de construcción y dimensiones del aparato de Limite líquido

Procedimiento

Determinación del limite líquido

Programa

Determinación del limite Plástico

Ejemplo

**CAPITULO VII**  
**PERMEABILIDAD**..... 68  
 Generalidades  
 Esquema para obtener agua desaireada  
 Procedimiento  
 Programa, ejemplo, formato

**CAPITULO VIII**  
**CONSOLIDACION**..... 78  
 Generalidades  
 Procedimiento  
 Ejemplos: Registros de carga, Registro de descarga  
 Datos generales  
 Banco de consolidación  
 Gráficas y tablas de apoyo  
 Formato de registro de carga y descarga

**CAPITULO IX**  
**COMPRESION**  
**TRIAxIAL**.....114  
 Generalidades  
 Procedimiento  
 Esquema para compresión triaxial  
 Programa, ejemplo, formato

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

## INTRODUCCIÓN

Aun en nuestros días un suelo puede clasificarse rápidamente por examen visual sin necesidad de pruebas de laboratorio; pero dicha clasificación debe de estar apoyada en el tamaño de las partículas, sus cantidades y variedad de tamaños así como en las características de los granos finos. Lo anterior se da a su vez en el conocimiento empírico y científico del ingeniero que se encarga del diagnóstico correcto en los reportes de las exploraciones.

El termino suelo incluye prácticamente todos los tipos de materiales orgánicos e inorgánicos de granos minerales, cementados o no, que se encuentran en la tierra. Excluyendo a la roca dura que aun permanece firme después de expuesta al intemperismo.

Las propiedades físicas de los suelos son de primordial importancia y con el objeto de que tanto en campo como en la oficina estén en condición de poder entenderse, se dispone de métodos estándar de identificación y clasificación de los suelos, obteniendo provecho de la experiencia de los demás y viceversa.

Las pruebas de laboratorio nos determinan las características del comportamiento del suelo, por lo que, la importancia de la calidad de las muestras es tan fundamental que se puede afirmar que el éxito de un estudio de Mecánica de Suelos esta en función directa de la calidad de las muestras.

Por otro lado se elaboran los ensayos de laboratorio integrando programas de computación para el caso necesario. En la actualidad las computadoras son herramientas que se emplean de modo completamente normal debido a la enorme capacidad que tienen de hacer cálculos numéricos; en este caso emplearemos el lenguaje BASIC como programa de aplicación. El BASIC es mucho más fácil de usar que otros lenguajes de programación; su escritura también es mas cómoda debido a que la *creación, edición y ejecución* son afectadas mediante la interacción directa con la computadora misma pudiéndose cambiar por increíble que parezca las variables utilizadas en el mismo lugar que se trabaje.

El nivel de complejidad que se maneja es accesible, elaborado para ser manipulado en fines didácticos o aplicaciones científicas, para incorporándose en un sitio conocido por los alumnos de ingeniería civil. Se abordan temas comunes de Mecánica de Suelos como Granulometría, Densidad de Sólidos, Compactación de suelos, etc; haciendo especial énfasis en el cálculo y llenado de formatos, así como su resolución, si se requiere, en programación BASIC, utilizando el ordenador al máximo de sus posibilidades como se hace notar en la *matriz almacenadora de datos*(Densidad de Sólidos).

## PRÓLOGO

En el año de 1994 tuve la oportunidad de participar en el Segundo Curso Internacional de Ingeniería Hidráulica Portuaria de lo que se desprende una enseñanza más loable acerca del idioma BASIC. De esta manera se realiza el deseo de hacer una aportación técnica en el rubro de Mecánica de Suelos.

Siete años después, hoy en día, aplico mis conocimientos de paquetería, que fueron aprendidos con paciencia durante el tiempo de año y medio; por lo que veo que esta tesis puede ser un señuelo para generaciones posteriores, que deben actualizarse, sin remedio, cada vez más.

Los programas en BASIC que se desglosan en esta tesis PUEDEN SER EJECUTADOS O CORRIDOS en la computadora personal FX-850P/FX-880P utilizada con mayor frecuencia en la carrera de ingeniería civil. Por esta razón se pretende que el alumno utilice estos programas para su beneficio y encuentre con ello un ahorro de tiempo.

Espero que con el tiempo se empiece a imitar la forma de *aplicar programas a formatos*, lo que se llama el *software*, pero, *aplicado a las necesidades del cliente* o del laboratorio según el caso.

## OBJETIVOS

- Lograr una tesis para obtener el título de ingeniero civil.
- Intentar dar una visión inicial que permita al alumno avanzar *progresivamente* hacia el dominio de los conocimientos necesarios para manejar y conocer los instrumentos que se pueden tener en un laboratorio de Mecánica de Suelos.
- Servir como material auxiliar (prontuario) momentáneo del tema que se estudia.
- Insertar formatos sin llenar, para su utilización en ejercicio.
- Realizar programas de computación en lenguaje BASIC aplicados en su caso a llenado de formatos.
- Incentivar al alumno a utilizar el lenguaje de programación BASIC.
- Hacer ejercicios para demostración de programas BASIC.
- Actualizar ilustraciones y esquemas para una comprensión más nitida.
- Tener con los programas de computación un ahorro de tiempo, dinero y esfuerzo.
- Adquirir conocimientos de lo que se puede lograr con la paquetería existente de diseño gráfico y de procesador de texto.
- Dejar patente el hecho de entender que la última palabra la tiene el ingeniero en cuanto a la interpretación de los resultados que se obtienen.
- Comenzar a desarrollar un interés común en la producción del software para las distintas áreas de Ingeniería.

# RESUMEN HISTORICO

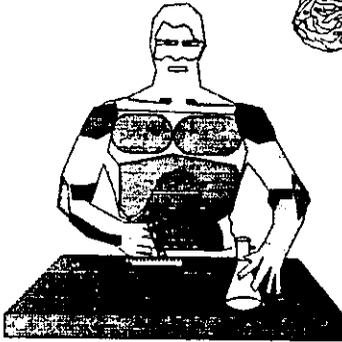
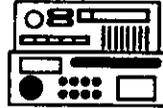


CHARLES P.  
BABBAGE

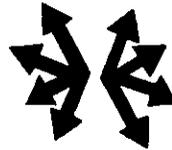
1833

TRABAJO DURANTE  
38 AÑOS

1871



inteligencia  
artificial



## ROBOTS

## ANTECEDENTES

Desde épocas remotas el hombre ha tenido la necesidad de conocer, comunicar y registrar el número de objetos, el tiempo o la distancia, es decir, ha tenido la necesidad de contar y procesar datos. La falta de elementos que le permitieran realizar los procedimientos para hacer cálculos, lo obligaban a operar mentalmente. Cuando las sumas eran sencillas las efectuaban con ayuda de los dedos, sin embargo, el número limitado de estos combinado con la necesidad de recordar más hechos ocasionó problemas, entonces empezó a utilizar mecanismos que lo auxiliaban en la ejecución de operaciones. Ideó formas por ejemplo pequeños cortes en una rama, trazos en una tablilla de arcilla fresca, nudos en cuerdas, granos, cuentas u objetos similares que le permitían, además de contar, llevar registros de la información en forma permanente. Sin embargo, conforme la civilización fue desarrollándose, surgió la necesidad de efectuar mayores operaciones aritméticas. El ingenio del hombre hizo posible la creación de mecanismos como cuentas engarzadas en alambre o hilo o colocadas sobre ranuras en tablas, que permitían realizar dichas operaciones en forma rápida y eficaz.

Las más antiguas civilizaciones como Caldeos, Babilonios, y Egipcios utilizaron números y representaciones numéricas, los mayas descubrieron y utilizaron el cero pudiendo construir un poderoso sistema numérico que le permitió realizar complicados problemas matemáticos y astronómicos, los árabes introdujeron el sistema decimal y con éste, el álgebra. Así de manera natural y cotidiana, el hombre fue sirviéndose de todos sus adelantos previos para inventar las máquinas que podían auxiliarlo en sus necesidades e inquietudes. Primero surgió el ábaco en el siglo XIII que represento la primera calculadora mecánica, aunque no podemos llamarla todavía computadora, porque carece de un elemento fundamental, el programa que no se logrará hasta mucho tiempo después.

Durante mucho tiempo se detuvo el desarrollo de los dispositivos de cálculo, y los que se inventaron como las varillas de Napier que son el antecedente de la regla de cálculo, se usaron poco, dado que representaban serias limitaciones. No fue sino hasta principios del siglo XVIII cuando la introducción de nuevos métodos matemáticos dió lugar a la aparición de nuevos instrumentos que auxiliaron al hombre en el cálculo.

En 1642 el filósofo matemático francés Blaise Pascal (1623-1662) utilizó el mismo principio del ábaco e inventó -cuando tan solo tenía 20 años de edad - una máquina capaz de hacer sumas y restas de forma automática, considerada por muchos como la primera calculadora mecánica. Se trataba de una serie de engranes o ruedas dentadas que representaban las unidades, decenas, centenas, etc, sobre cada engrane estaban los dígitos del 0 al 9 y la rotación completa de cada uno de ellos producía el avance en una posición del engrane que quedaba a la izquierda. Hasta que se inventó esta máquina el acarreo se llevaba mentalmente, ahora era posible hacerlo de manera automática, y el resultado de la operación se mostraba por una ventanilla. Esta idea se explotó ampliamente durante los siguientes 300 años para construir muchos de los instrumentos de cálculo posteriores.

G. Wilhelm Von Leibnitz (1646-1716), famoso filósofo alemán construyó otro modelo en 1694 con el que pudo multiplicar y dividir sumando números repetidamente, pero esta máquina no era rápida ni segura, pues la técnica de aquella época no estaba en condiciones de fabricar las piezas mecánicas que requería. No fue sino hasta la Revolución Industrial (siglo XVIII) que pudieron producirse en serie y con mejor calidad diversos dispositivos que resultaban prácticos y baratos para la construcción de máquinas calculadoras.

La historia de las tarjetas perforadas data del fin de la Revolución Americana (1804), cuando un tejedor francés llamado Joseph Marie Jacquard la usó para controlar sus telares de manera automática; casi 90 años después se utilizaron en una máquina para procesar datos.

En Inglaterra en 1835, Charles P. Babbage (1791-1871) diseñó y trabajó desde 1833 hasta su muerte en una máquina capaz de realizar operaciones matemáticas y, lo más sorprendente, lógicas causando gran conmoción en el mundo científico de la época. El procesador de Babbage tenía la característica de poder dar con un programa todo un proceso lógico-matemático que imita al hombre en una de sus funciones intelectuales: **Tomar decisiones lógicas**. Ada Byron, a quien se reconoce a veces como la primera programadora trabajó con los conceptos de la máquina y organizó el esquema de programación de la misma.

La computadora nace de hecho con este procesador conocido como máquina analítica, que aunque nunca fue llevado por completo a la práctica, contenía todos los elementos que configuran una computadora moderna y que lo diferencian de una calculadora; tenía incorporados una entrada de tarjetas perforadas, una unidad de memoria o almacén que guardaba resultados, una unidad aritmética o fábrica donde se haría el proceso, una impresión de salida automática, un control secuencial de programas y veinte decimales de exactitud.

Las ideas de Babbage resultaron muy avanzadas para su tiempo y su máquina no fue terminada, debido quizá a que sus piezas eran de alta precisión y diseño complicado. Trabajaría con energía de vapor y solo hasta la aparición de fuentes de energía eléctrica y dispositivos electrónicos fue posible revivir la idea de Babbage.

Basándose en los adelantos de Jacquard y Babbage, en 1890 Herman Hollerith (1860-1929) realizó experimentos con tarjetas perforadas, esperando lograr una máquina que hiciera rápidamente el proceso estadístico de datos, construyó una máquina que leía tarjetas perforadas, en las cuales representaba la contestación afirmativa con la perforación y la contestación negativa con ausencia de perforación. Cada tarjeta era puesta en un mecanismo que contenía muchos contactos electrónicos en forma de aguja que se detenían al chocar con la tarjeta o pasaban por el agujero de la tarjeta para cerrar el circuito eléctrico. En esencia nació la *codificación* digital que la máquina lee como "activado" o "desactivado", (SI, NO, 1, 0) como soporte de información. También se podían clasificar, combinar e imprimir los resultados.

El tiempo de tabulación con este método ocupaba sólo 1/8 del requerido anteriormente, y así, sus técnicas fueron adoptadas para usarse en el recuento del Censo de Estados Unidos en 1890.

Después del Censo de 1890, Hollerith adaptó su equipo al uso de los negocios y en 1896 fundó la Tabulating Machine Company que años después se fusionó con otras para transformarse en la International Business Machines Corporation (IBM). Desde esta fecha hasta 1940 estas máquinas fueron perfeccionadas y dotadas de otras funciones que las hicieron más veloces.

### LA PRIMERA COMPUTADORA

La amenaza de la Segunda Guerra Mundial aceleró la tecnología y la de computó no quedó exenta. A partir de 1937 Howard Aiken, profesor de la universidad de Harvard empezó a construir una máquina de cálculo automático basándose en la tecnología establecida de las tarjetas perforadas de Hollerith. Auxiliándose de los estudiantes graduados y de los ingenieros de IBM, el proyecto estuvo terminado en 1944. Estaba conformada por las mismas tres partes que la máquina analítica. No podía almacenar programas y sus operaciones internas se efectuaban de manera electromagnética, pero sus contadores aritméticos eran mecánicos, por lo tanto, esta computadora es conocida como Mark I no era electrónica.

En 1945 P. Eckert y J.W. Manchly construyeron en la Universidad de Pennsylvania una máquina electrónica llamada ENIAC (Electrónico Numerical Integrator and computer) considerada como la primera computadora digital electrónica de la historia, la cual tenía gran parecido funcional con la máquina analítica; hecho que habla del genio de Babbage. Eran los años de la Segunda Guerra Mundial y estados Unidos tenía especial interés en desarrollar esta máquina, pero, sobre todo, de mantenerla en secreto.

La ENIAC era enorme: Ocupaba todo un sótano en la Universidad (200m cuadrados), tenía mas de 18,000 tubos al vacío o bulbos para almacenamiento y procesamientos activados mediante impulsos electrónicos, consumía 200 Kw. de energía eléctrica, generando mucho calor por lo que requería de todo un sistema de acondicionamiento industrial. Los bulbos transmitían corriente eléctrica en una dirección pudiendo representar los unos y los ceros como corriente en movimiento y corriente sin movimiento respectivamente. Era capaz de efectuar alrededor de 5000 operaciones aritméticas en un segundo, dejando para siempre atrás las limitaciones humanas de velocidad y capacidades de proceso, significaba el dispositivo electrónico mas grande y más complicado jamás construido, fue diseñada para realizar exclusivamente cálculos relativos al alcance dirección y trayectoria de los proyectiles aunque posteriormente se utilizó también para trabajos científicos relacionados con la física nuclear. No podía almacenar programas, cada vez que se requería que resolviera un problema diferente era necesario modificar manualmente la posición de diversos interruptores

y las conexiones de los cables eléctricos, lo cual requería del empleo de muchas personas durante varios días. Esta limitación representaba una desventaja, pues cambiar su programación resultaba lento y susceptible de alta posibilidad de error.

Por los mismos años en la Universidad de Princeton el ingeniero y matemático John Von Newman (1903-1957) llevaba a cabo un proyecto auspiciado por el Departamento de la Defensa de Estados Unidos, que consistía en la posibilidad de almacenar en la misma máquina (memoria), además de los datos, las instrucciones que requería para su propio funcionamiento dando origen al concepto de "programa almacenado" para que entonces la computadora pudiera ser programada flexiblemente y no por medio de alambres que electrónicamente interconectaban varias partes.

Sobre la base de estudios se construye la EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic computer) para resolver problemas náuticos aunque también se llegó a utilizar para fines prácticos.

Las ideas y logros de Von Newman resultaron tan fundamentales que inspiraron el desarrollo de las computadoras sucesivas y de hecho a él se le considera como el padre de las computadoras. Esta y las siguientes computadoras se caracterizan por tener la capacidad de tomar decisiones lógicas, es decir, podían hacer un análisis sobre la información que les era dada y efectuar una operación en vez de otra. Por supuesto, el programador tenía que comunicarle a la máquina con anterioridad como se tendría que comportar en los diferentes casos posibles, o dicho de otra manera, tenía que programarla de antemano.

De 1947 a la fecha las cosas han avanzado más rápido, que cualquier otro proceso en la historia de la ciencia y tecnología; a tal grado que en la actualidad hay computadoras mucho más potentes que la ENIAC que ocupan no un sótano completo, sino un circuito integrado tan pequeño que cabe en la llema de un dedo. A partir de esta fecha el desarrollo de las computadoras suele dividirse en cinco generaciones atendiendo a la tecnología empleada.

En la primera generación se usaban **bulbos o válvulas electrónicas**, en la segunda aparece el uso del **transistor**, en la tercera surgen los **circuitos integrados** y **memorias de películas magnéticas**, en la cuarta se emplea la **microelectrónica** y los **circuitos son integrados en microprocesadores** y en la quinta generación se prevé que se utilizarán **conjuntos microscópicos de procesadores**.

## PRIMERA GENERACION

La primera etapa abarco la década de los 50's, y se conoce como la primera generación de las computadoras. Sus máquinas estaban construidas con circuitos de tubos al vacío, eran grandes y costosas, sus velocidades de proceso se medían en milisegundos (milésimas de segundo), sus circuitos eran semejantes a los empleados entonces en la construcción de aparatos de radio, y requerían controles muy estrictos en cuanto al suministro de energía eléctrica y aire acondicionado. Cuando era necesario procesar un gran volumen de datos en periodos cortos, superaban en rapidez a cualquier otro equipo de procesamiento de datos de la época.

En 1951 Aparece la primera computadora comercial: la UNIVAC 1 (Universal Automatic Computer), que fue usada para procesar los datos del Censo en 1950 en Estados Unidos, y fue considerado extremadamente rápida y eficiente; además empleaba un lenguaje especial (ensamblador primitivo) que facilitaba la programación. Eran los años de la Segunda Posguerra, y la nueva invención aún no presagiaba su gigantesco potencial en la competencia económica internacional, que no llegaría sino hasta una década más tarde. Después de la invención de esta máquina surgieron otras con las mismas características cuyo campo de acción fue exclusivamente científico y militar.

## SEGUNDA GENERACION

La segunda generación empezó en 1959 con la sustitución del tubo al vacío por el recién inventado transistor un año antes. A medida que se acercaba la década de los 60's, las computadoras iban constantemente evolucionando, reduciendo su tamaño y aumentando sus capacidades de procesamiento.

Las máquinas de esta generación se caracterizan por tener un costo menor, sus velocidades de procesamiento se medían en microsegundos (millonésima de segundo), sus circuitos eran más complicados. Se desarrollaron lenguajes diferentes al lenguaje máquina para su programación.

Se perfeccionaron los ensambladores y surgieron los compiladores que hicieron que la computadora quedara al alcance de usuarios menos especializados que la programaban sólo cuando la necesitaban. Por lo tanto, no es gratuito que en esta generación se incluyan las computadoras diseñadas para fines diferentes de los científicos.

Junto con estas computadoras se desarrollaron almacenamientos secundarios con grandes capacidades, dispositivos de entrada y salida de altas velocidades de transmisión. Surgen técnicas matemáticas enfocadas a la resolución de problemas a través de uso de la computadora, y se innovan los métodos para la recuperación de información. Las computadoras de la segunda generación tienen una gran demanda a partir de 1962, pero ésta se viene abajo por la aparición de la tercera generación, que irrumpe a mediados de los 60's.

## TERCERA GENERACION

Las nuevas y mejores maneras de comunicarse con las computadoras y los avances de la electrónica propiciaron el desarrollo de la tercera generación de computadoras a mediados de la década de los 60's (1964) con la familia de las macrocomputadoras IBM System/360 y con ellas surgió la necesidad de la compatibilidad entre computadoras, esto significa que los programas realizados para un modelo pueden correrse en todos los de la misma familia, lo cual permite cambiar de computadora cuando las necesidades lo requieran sin perder el software, surgiendo así los lenguajes de alto nivel.

Las mini computadoras que irrumpieron en el mercado a finales de los 60's y las primeras micro computadoras que aparecieron en el mercado en 1974 también se consideraban dentro de esta generación.

La innovación de la tercera generación que invento el circuito integrado compuesto por numerosos transistores complementados con capacitores, resistencias y otros componentes eléctricos que fueron montados en placas

y unidos entre sí para conformar un circuito electrónico o procesador conocido como **Chip** o pastilla de silicio.

Otra característica básica de esta generación es que se maneja por medio de los lenguajes de control de los sistemas operativos. Su velocidad de proceso se media en nanosegundos (billonésima de segundos).

Uno de los grandes avances de estas computadoras radicó en el desarrollo de los dispositivos periféricos más efectivos, unidades de almacenamiento secundario de gran volumen con amplias facilidades de acceso, extensos sistemas de soporte que permitieron al hombre acercarse con menos complicación a la computadora, paralelamente, se fueron introduciendo nuevas técnicas de organización de archivos y de recuperación de información. Surgieron las terminales. Se logró procesar al mismo tiempo varios programas realizando conexiones entre las computadoras a fin de tener un mejor control de los procesos que se llevan a cabo y permitir un flujo de información más efectivo en las organizaciones, tanto que fue posible consultar información al instante desde lugares remotos y actualizarla en el momento mismo que se realiza una operación.

## CUARTA GENERACION

A partir de 1974 hasta nuestros días la tecnología en este campo ha evolucionado a una velocidad abrumadora, mucho más rápido que en cualquier otra etapa anterior. Los circuitos integrados de la tercera generación han sido compactados tan densamente que es posible construir una pastilla de silicio con varios cientos de miles de transistores en una superficie menor a un centímetro cuadrado, tan frágil que debe guardarse en un recipiente de cerámica o de plástico, cuya velocidad de operación es millones de veces más rápido que al antiguo tubo al vacío.

Las técnicas de integración alcanzaron tal desarrollo que se empleo el término microprocesador -que caracteriza esta generación- para denotar a estos circuitos densamente integrados que equivale a la unidad central de proceso o cerebro de una gran computadora -en consecuencia, empieza la miniaturización de los equipos. Nace la revolución de las micros o terminales inteligentes fáciles de construir que pueden hacer las mismas tareas de otras computadoras más grandes y caras. Numerosas compañías se lanzaron a finales de la década de los 60's a la conquista del nuevo mercado : micro computadoras.

Todas las computadoras sin importar su tamaño o aplicación, desde la supercomputadoras hasta las micro computadoras, se han visto beneficiados con la evolución de los circuitos integrados; sin embargo, estas últimas por su tamaño reducido, bajo costo, facilidad de empleo y sus grandes y crecientes capacidades son las computadoras más características de esta generación. Por lo mismo, las aplicaciones de estas computadoras, no se enfocan tanto en los usos exclusivamente especializados en defensa de la soberanía nacional, ciencias o negocios, sino que tienden a generalizarse.

La tecnología de la década de los 80's ha introducido los periféricos más versátiles: discos flexibles, discos rígidos, lápices ópticos, digitalizadores, ratones, etcétera.

#### QUINTA GENERACION

Se denominan como computadoras de quinta generación a las máquinas que con gran seguridad se construirán en un futuro próximo. Según estudios actuales en el campo de la electrónica, se pronostican que las computadoras estarán formadas por un conjunto de procesadores aún más pequeños que los de la cuarta generación -surgiendo la miniaturización del Hardware.

En la actualidad y principalmente en los países más avanzados, cada vez más procesos productivos de ensamblado, armado y control de calidad, etcétera, están totalmente computarizados y controlados por Robots, los cuales están programados de tal forma que pueden tomar decisiones hasta cierto punto "inteligentes", como por ejemplo: Un brazo metálico programado para medir el grosor de un cristal desechándolo si excede a ciertos límites de calidad. Este tipo de programación se conoce como "inteligencia artificial". Se prevé que en poco tiempo la robótica se perfeccionará y extenderá a más actividades.

## ANTECEDENTES DE MECANICA DE SUELOS

La Mecánica de Suelos se origino hace varias décadas bajo el efecto de la presión ejercida por la necesidad, a medida que los problemas prácticos que involucraban a los suelos crecían en extensión y se hacía cada vez mas aparente que los instrumentos científicos existentes para resolverlos resultaban insuficientes. Los intentos para remediar esta situación empezaron casi simultáneamente en Estados Unidos y en Europa, dentro de un espacio relativamente breve, dieron origen a un conjunto de información útil. Se intentó por primera vez, en forma sistemática y organizada realizar estudios que corrigieran vicios en el tratamiento de los suelos.

En Enero de 1913, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles nombra " un comité especial para hacer un código sobre la práctica actual con relación a la capacidad de carga de los suelos". En Diciembre de 1913, la Comisión de FF.CC., Suecos inició un estudio del Factor de seguridad de taludes, en el sur de Suecia.

Poco después Karl Terzaghi hizo investigaciones en un laboratorio muy modesto, con el auxilio de sus cajas de puros, en una Universidad en el cercano oriente. Allí nació verdaderamente la Mecánica de suelos. Terzaghi publicó en el año de 1925 su Erdbaumechanik (Mecánica de suelos) en Viena, término mundialmente conocido; desde entonces para acá ha habido una evolución muy grande, ayudado por investigadores como su discípulo Arthur Casagrande que ha dado alma a esta nueva rama de la ciencia.

Pero aun en nuestros días no se debe olvidar que sólo se obtienen soluciones exactas cuando los estratos de un suelo son prácticamente homogéneos y continuos en todas las direcciones horizontales, por lo que, en la realidad, si no resulta posible efectuar una previsión aproximada, hay que observar el comportamiento del suelo durante la construcción y modificar el proyecto, en caso de ser necesario, a la luz de estas observaciones.

AÑO 2001



## **CONTENIDO DE HUMEDAD**



## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

### Equipo:

- Recipiente para humedad (Aluminio o Latón).
- Horno con control de temperatura adecuado.

La determinación del contenido de humedad es un ensayo rutinario para determinar *la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso seco*. Como una definición.

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde  $W_w$  es el peso de agua presente en la masa de suelos y  $W_s$  es el peso de los sólidos en el suelo. Podría definirse el contenido de humedad como una relación del peso del agua presente y el total del peso de la muestra (Peso de agua mas suelo ); sin embargo esto daría una cantidad en el denominador de la fracción que podría depender de la cantidad de agua presente:

$$W' = \frac{W_w}{W_s + W_w} = \frac{W_w}{W_t}$$

Y esto no es posible pues el contenido de humedad estaría de esta forma relacionada a una cantidad variable y a una cantidad constante. Esto puede verse fácilmente pues  $W_w$  aparece en ambos, numerador y denominador de la fracción. El contenido de la humedad se expresa algunas veces en función del volumen como:

$$\theta = \frac{V_w}{V_s + V_u} = \frac{V_w}{V_T}$$

El cual luego de una manipulación adecuada, puede describirse como:

$$\theta = W\gamma_d$$

Donde:

$V_w$  = Volumen de agua presente en la masa de suelo

$V_u$  = Volumen de los vacíos del suelo

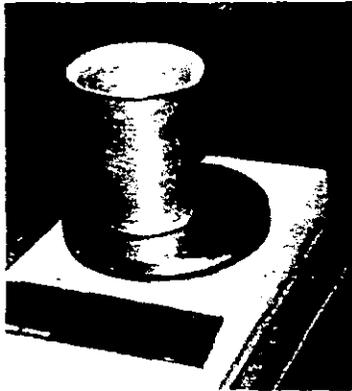
$V_s$  = Volumen de los sólidos en el suelo

$W$  = Contenido de humedad

$\gamma_d$  = Densidad seca del suelo (volumétrica)

## PROCEDIMIENTO

1° Pesar una cápsula o recipiente de aluminio, incluyendo su tapa.

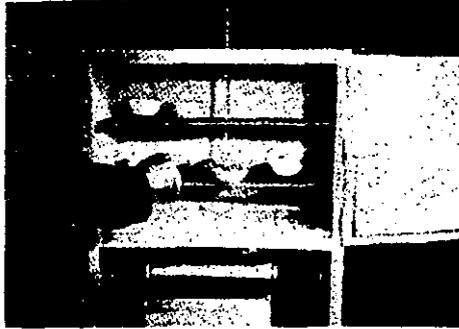


Las cápsulas de humedad normalmente pueden ser de diferentes tamaños, siendo las más populares las de 5 cm de diámetro por 3 cm de altura y las de 6.4 cm de diámetro por 4.4 cm de altura.

2° Colocar una muestra representativa de suelo húmedo. Si el peso se determina inmediatamente, no es necesario colocar la tapa. Si se presenta una demora de 3 a 5 minutos o más, coloque la tapa del recipiente para mantener la humedad y coloque la cápsula bajo una toalla de papel húmeda que le permita mantener la humedad en la vecindad del recipiente.



3° Después de *pesar la muestra húmeda más el recipiente*, remueva la tapa - es práctica común colocar la tapa debajo del recipiente - y coloque la muestra en el horno.



4° Cuando la muestra se haya secado hasta mostrar un peso constante, determine el peso del recipiente más el del suelo seco. asegúrese de usar la misma balanza para todas las mediciones de peso.



5° Calcule el contenido de humedad  $w$ . La diferencia entre el peso del suelo húmedo más el del recipiente y el peso del suelo seco más el del recipiente es el peso del agua  $W_w$  que estaba presente en la muestra. La diferencia entre el peso del suelo seco más el del recipiente y el peso del recipiente solo es el peso del suelo  $W_s$  y

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

El suelo debe secarse en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$  para obtener un peso constante; mientras haya agua presente para evaporar, el peso continuará disminuyendo en cada determinación que hagamos en la balanza. En general no es muy práctico hacer varias medidas del peso para

determinar si se ha obtenido un estado de peso constante en la muestra; lo que se hace comúnmente es suponer que después de un periodo de horneado de 12 a 18 hrs. ( A menudo durante la noche ), *la muestra se encuentra en estado de peso constante y dicho peso se registra como el suelo seco más el del recipiente.* La experiencia indica que este método de secado de muestras es bastante adecuado para trabajo rutinario de laboratorio sobre muestras pequeñas.

Es práctica común *retirar* del horno las muestras para contenido de humedad y *pesarlas inmediatamente*, es necesario poner la tapa del recipiente tan pronto se haya enfriado lo suficiente para manipularla y/o colocar el recipiente de suelo seco en un desecador eléctrico de manera que el suelo no absorba agua de la atmósfera del laboratorio.

Para lograr una determinación confiable del contenido de humedad de un suelo se recomienda utilizar la siguiente cantidad mínima de muestra humedad (Muestra representativa):

Tamaño máximo de las partículas de muestra ( 95 -100 mm para el tamiz dado)	Peso mínimo recomendado de la muestra (g)
No. 4 (4.75 mm)	100
No. 40 (0.420 mm)	10 a 50
12.5 mm	300
50.0 mm	1,000

La temperatura de 110 °C en el horno es demasiada alta para ciertos suelos orgánicos (turbas), para suelos con alto contenido calcáreo o de otro material, ciertas arcillas, y algunos suelos tropicales. Estos suelos contienen agua de hidratación levemente adherida, o agua molecular, que podría perderse a estos niveles de temperatura, dando como resultado un cambio en las características del suelo. Se sugiere secar estos suelos a una temperatura de 60 °C.

## PROGRAMA ITERATIVO DE DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

```
01 PRINT "Determinación del contenido de humedad"  
02 GOTO 20  
05 PRINT "COMIENZA OTRO CAL"  
10 SET N  
20 INPUT "W lata + suelh=";PLSH  
30 INPUT "W lata + suelse=";PLSs  
35 INPUT "W lata";Plata  
40 Pagua=PLSH-PLSs:PSs=PLSs-Plata:w=(Pagua*100)/PSs  
45 SET F2  
50 PRINT "Peso del agua=";Pagua,"Peso del suelo seco=";PSs,"Contenido de  
humedad";w;"%"  
60 GOTO 5
```

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

### DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Proyecto: EXPERIMENTO PATRON DE  
COMPACTACION

Trabajo No. 22

Perforación No. 15

Localización del proyecto: UNIVERSIDAD DE MEXICO

Muestra No. 6

Descripción del suelo: ARCILLA ARENOSA LIMOSA PARDA CLARA A2-6(3): w<sub>L</sub>=28.3  
w<sub>P</sub>=14.1

Fecha de práctica: 10-3-2001

MUESTRA No.	1		2		3		4		5	
Lata de humedad No.	75	77	81	86	87	88	93	104	109	110
Peso de lata + suelo húmedo	93.80	98.24	93.96	101.76	97.62	88.47	95.22	102.53	100.65	97.06
Peso de lata + suelo seco	88.64	92.66	87.37	94.46	89.00	80.94	85.47	91.83	88.83	85.68
Peso del agua	5.16	5.58	6.59	7.30	8.62	7.53	9.75	10.70	11.82	11.38
Peso de la lata	22.57	22.02	22.00	22.32	17.85	17.80	17.32	12.46	17.21	17.25
Peso del suelo seco	66.07	70.64	65.37	72.14	71.15	63.14	68.15	79.37	71.62	68.43
Contenido de humedad w%	7.81	7.90	10.08	10.12	12.12	11.93	14.31	13.48	16.50	16.63

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL**

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

**DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Proyecto: .....

Trabajo No. ....

Localización del proyecto: .....

Perforación No. ....

Muestra No. ....

Descripción del suelo: .....

Fecha de práctica: .....

MUESTRA No.	1	2	3	4	5
Lata de humedad No.					
Peso de lata + suelo húmedo					
Peso de lata + suelo seco					
Peso del agua					
Peso de la lata					
Peso del suelo seco					
Contenido de humedad w%					

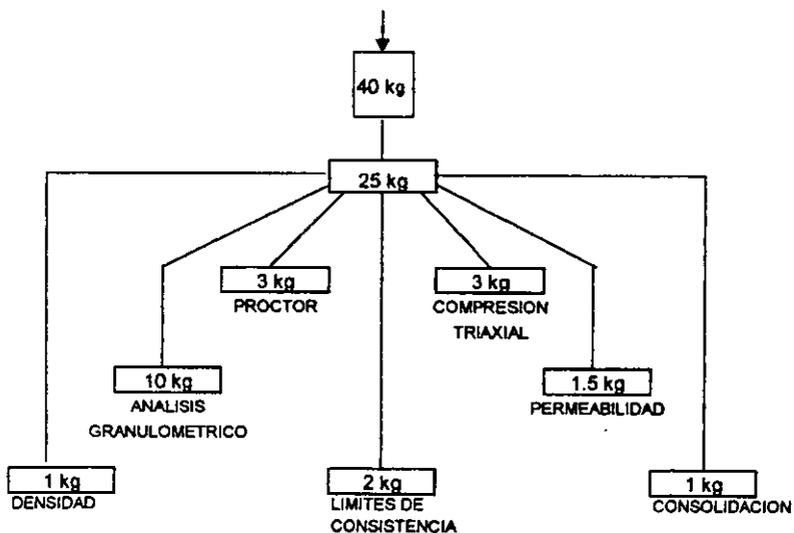
# GRANULOMETRIA



## Cantidades de una muestra para ser utilizadas en pruebas comunes de Mecánica de Suelos.

La cantidad de material que constituye una muestra debe ser suficiente para realizar todas las pruebas de laboratorio y aún repetir las incorrectas y aquellos resultados sean dudosos. En general conviene formar muestras de 40 a 50 Kg.

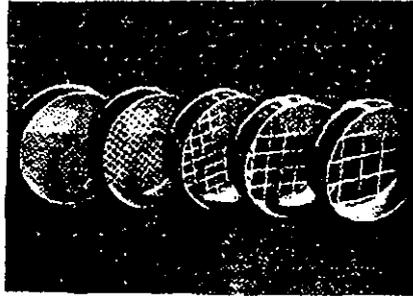
El siguiente esquema da una idea de cómo se reparte una muestra en el laboratorio y de las cantidades que se necesitan para cada prueba.



# GRANULOMETRIA

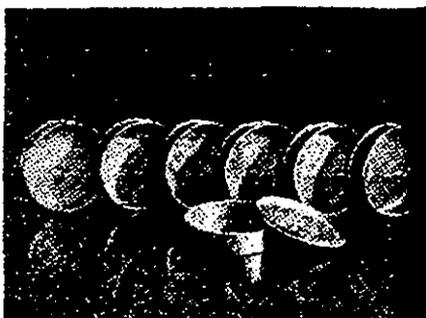
## ANÁLISIS SIN LAVADO

Equipo:



1º Juego de mallas para gravas: El material que se tiene en la malla No. 4 (4.69mm) Se pasa a través de las mallas de 76.2 mm (3"), 50.8 mm (2"), 38.1mm (1 1/2"), 25.4 mm (1"), 19.1 mm (3/4"), 12.7 mm (1/2") y 9.5 mm (3/8").

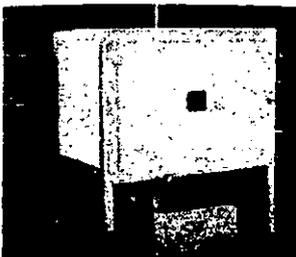
MALLA	mm	PESO (kg)	% PARCIAL	% ACUMULADO	OBSERVACIONES
	ABERTURA	RETENIDO	RETENIDO	QUE PASA	
3"	76.2				Análisis efectuado
2"	50.8				con la muestra de
1 1/2"	38.1				-----kg.
1"	25.4				humedad total
3/4"	19.1				grava W-----%
1/2"	12.7				tierra W-----%
3/8"	9.5				
No.4	4.69				% de material > No. 4
	SUMA				% de grava



2° Juego de mallas para arenas: No. 8 (2.38 mm), 14 (1.19 mm), 28 (0.59 mm), 48 (0.297 mm), 100 (0.149 mm), 200 (0.074 mm), charola y tapa.

MALLA	mm	PESO (kg)	% PARCIAL	% ACUMULATIVO QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA Red	MUESTRA TOTAL	
8	2.38					Análisis efectuado con la muestra de ----- gr. humedad total del material menor que la malla No. 4
14	1.19					
28	0.59					
48	0.297					
100	0.149					
200	0.074					
Suma						% MAT FINO > 200
Charola						CHAROLA No 4
SUMA				CHEQUE CON LA MUESTRA SECA		

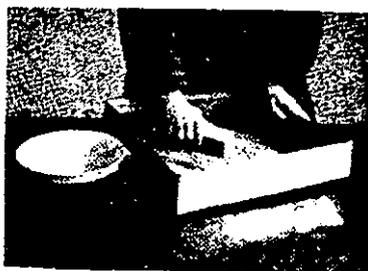
1° Se pone a secar la muestra en el horno a 105 °C.



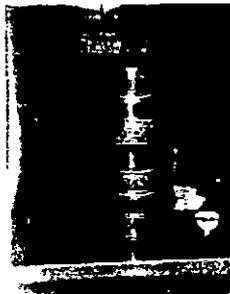
Se deja enfriar a la temperatura ambiente y se pesa la cantidad requerida para hacer la prueba.



2° Se desmoronan cuidadosamente los grumos de material con un trozo escuadrado de madera para evitar romper los granos.



3° Se coloca el juego de mallas en orden progresivo de la No. 8 (2.38 mm) a la No. 200 (0.074 mm) y al final de la charola, vaciando el material previamente pesado, en la malla No. (2.38 mm). enseguida se coloca la tapa.



4° Se agita todo el juego de mallas horizontalmente,



con movimiento de rotación y verticalmente con golpes secos de vez en cuando. el tiempo de agitado depende de la cantidad de finos de la muestra, pero por lo general no debe ser menor de 15 minutos.



5° Se quita la tapa y se separa la malla No. 8 (2.38 mm), vaciando la porción de suelo que ha sido retenida en ella, sobre un papel limpio.



A las partículas que se detienen entre los hilos de la malla, no hay que forzarlas a pasar dentro de ellas, inviértase ésta y con ayuda de una brocha o un cepillo de alambre, despréndase las partículas y agréguese a las depositadas en el papel.



6° En forma similar se procede con las demás mallas.

7° Se pesan las porciones retenidas en cada malla y en charola del fondo, anotando las cantidades en el registro de cálculo. Se conservan las porciones de muestra en sus respectivos papeles, hasta verificar que la suma de los pesos parciales es igual al peso inicial no segregado, con la tolerancia del medio por ciento, por pérdidas de operación.



#### **Cálculo:**

1° Se suman los pesos retenidos en cada malla y se verifica ese total con el peso de la muestra que se colocó originalmente en el juego de mallas. Si el error excede del 0.5%, vuélvase a pesar cada fracción. Si el error es menor, se le atribuye el peso de la fracción más grande.

2° Se calculan los porcentajes del material retenido en cada malla respecto del peso seco de la muestra original. Se anotan en el registro, columna "% parcial retenido".

3° Se determinan los porcentajes acumulados del material que ha pasado por la malla, restando de 100% el porcentaje parcial retenido en la primera malla. A este valor se le resta el porcentaje parcial retenido en la segunda malla y así sucesivamente.

4° Al efectuar el análisis por mallas grandes, se conoce el porcentaje del material que pasa por la malla No. 4 (4.69 mm), respecto del total. Multiplicando este valor por cada uno de los porcentajes parciales, acumulativos menores que la malla No. 4 (4.69mm), se obtienen los porcentajes acumulados respecto a la muestra total.

5° Con los valores obtenidos en las columnas de "% acumulativo que pasa", se construye la gráfica correspondiente.

#### PROGRAMA DE LLENADO DE TABLA GRANULOMETRICA

```
10 PRINT "INICIO DE PROGRAMA"
11 INPUT "INTRO/DG/DA/dg";RS
12 IF RS="DG" THEN 400
13 IF RS="DA" THEN 500
14 IF RS="dg" THEN 1500
15 DIM F(20)
16 DIM X(20)
17 DIM W(20)
18 DIM W1(20)
19 DIM F1(20)
20 DIM MT(20)
21 PRINT "# DE PESOS RETENIDOS P/";
30 INPUT "GRAVAS";A1:INPUT "P/ARENAS";A2
31 INPUT "DESEA CALCULAR GRAVAS/ARENAS";RS
33 IF RS="A" THEN 135
35 Q=0
40 FOR I=1 TO A1
70 PRINT "I=";I
80 INPUT "PESO RETENIDO";W(I)
90 Q=Q+W(I)
100 NEXT I
110 PRINT "SUMA DE PESOS TOT RET";Q
115 GOTO 401
```

```

120 GOTO 31
125 PRINT "ARENAS"
135 Q=0
140 FOR I=1 TO A2
170 PRINT "I=";I
180 INPUT "PESO RETENIDO";W1(I)
190 Q=Q+W1(I)
200 NEXT I
210 PRINT "SUMA DE PESO TOT RET";Q
215 GOTO 501
400 PRINT "DATOS GRAVAS"
401 INPUT "DESEA REVISAR PESOS RETENIDOS S/N";R$
402 IF R$="S" THEN 405
403 IF R$="N" THEN 436
405 S=0
410 FOR I=1 TO A1
420 PRINT W(I)
430 NEXT I
435 INPUT "P MUESTRA DE GRAVA";T
436 PRINT "INICIO"
437 FOR I=1 TO A1
440 F(I)=W(I)*100/T
450 PRINT "% PARCIAL RETENIDO";F(I)
460 S=S+F(I)
470 NEXT I
480 PRINT "SUMA TOTAL PARC RET";S
481 PRINT "% ACUMULATIVO QUE PASA "
482 X=100
483 FOR I=1 TO A1
484 X=X-F(I)
486 X(I)=X
490 PRINT "% ACUMULADO";X
491 NEXT I
492 INPUT "TERMINO S/N";R$
494 IF R$="S" THEN 10
495 GOTO 120
500 PRINT "DATOS ARENAS"
501 INPUT "DESEA REVISAR PESOS RETENIDOS S/N";R$
502 IF R$="S" THEN 505
503 IF R$="N" THEN 536
505 S=0
510 FOR I=1 TO A2
520 PRINT W1(I)
530 NEXT I
535 INPUT "P MUESTRA ARENA";T1
536 S=0
537 FOR I=1 TO A2

```

```

540 F1(I)=W1(I)*100/T1
550 PRINT "% PARCIAL RETENIDO";F1(I)
560 S1=S1+F1(I)
570 NEXT I
580 PRINT "SUMA TOTAL PARC RET";S1
581 PRINT "% ACUMULATIVO QUE PASA"
582 X1=100
583 FOR I=1 TO A1
584 X1=X1-F1(I)
586 X1(I)=X1
590 PRINT "% ACUMULADO";X1
591 NEXT I
620 INPUT "ULTIMO % ACUMULADO Q PASO EN GRAVAS";REB
645 FOR J=1 TO I
650 MT=(X1(J)/100)*REB
665 PRINT "ACUM Q PASA MTRA TOTL";MT
667 MT(J)=MT
668 IF MT<0 AND MT<1 THEN 685
669 IF MT<0 THEN 680
670 NEXT J
680 MT(J)=0
685 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
690 END
1000 PRINT "TERMINA"
1500 PRINT "INICIO"
1505 PRINT "TABLA GRAVAS"
1507 PRINT "P RET % PAT % ACUM Q P"
1510 FOR I=1 TO A1
1520 PRINT W(I);F(I);X(I)
1530 NEXT I
1540 PRINT "TABLAS ARENAS"
1550 PRINT "P RET %PARET % ACMQP MT"
1600 FOR J=1 TO A1
1625 PRINT W1(J);F1(J);X1(J);MT(J)
1630 NEXT J
1700 PRINT "FIN DE TABLAS"
1800 END

```

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

A	MALLA	mm ABERTURA	PESO (kg) RETENIDO	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULADO QUE PASA desde 100		OBSERVACIONES
	3"	76.20	0.565	1.614	98.39		Análisis efectuado con la muestra de 35
	2"	50.80	0.225	0.643	97.74		
	1 1/2"	38.10	0.433	1.237	96.51		
C	1"	25.40	0.826	2.360	94.15		Kg humedad total grava W-----% tierra W-----%
	3/4"	19.10	1.544	4.411	89.73		
	1/2"	12.70	0.265	0.757	88.98		
E	3/8"	9.50	2.426	6.931	82.05		
	No. 4	4.69	2.863	8.180	73.87		% de material > No. 4
	SUMA		9.147	26.134			% de grava
S							
					% ACUMULATIVO QUE PASA		
	MALLA	mm ABERTURA	PESO (kg) RETENIDO	% PARCIAL RETENIDO	MUESTRA No. 4	MUESTRA TOTAL	OBSERVACIONES
					100.00	73.87	
	8	2.38	35.800	7.160	92.84	68.58	Análisis efectuado con la muestra de 500
A	14	1.19	67.100	13.420	79.42	58.66	
	28	0.59	53.200	10.640	68.78	50.80	
	48	0.30	63.100	12.620	56.16	41.48	gr. humedad total del material menor que la malla No. 4
	100	0.149	89.600	17.920	38.24	28.25	
I	200	0.07	134.300	26.860	11.38	8.41	
	Suma		443.100	88.620			% MAT FINO > 200
	Charola		56.500	11.300			CHAROLA No. 4
V	SUMA		499.600	99.920	CHEQUE CON LA MUESTRA SECA		
<p align="center">CALCULO: <u>Saúl Mendiola Hernández</u></p>							

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL**

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

	MALLA	mm	PESO (kg)	% PARCIAL	% ACUMULADO		OBSERVACIONES	
	ABERTURA	RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO	QUE PASA desde	100		
A	3"	76.2	0	0.00		100.00	Analisis efectuado con la muestra de <b>22.82</b> Kg humedad total grava W-----% tierra W-----%	
	2"	50.8	0	0.00		100.00		
C	1 1/2"	38.1	0.55	2.41		97.59		
	1"	25.4	0.39	1.71		95.88		
E	3/4"	19.1	0.31	1.36		94.52		
	1/2"	12.7	0.335	1.47		93.05		
S	3/8"	9.5	0.31	1.36		91.70		
	No. 4	4.69	0.93	4.08		87.62		% de material > No. 4
	<b>SUMA</b>		<b>2.825</b>	<b>12.38</b>				<b>% de grava</b>
A					% ACUMULATIVO QUE PASA			OBSERVACIONES
	MALLA	mm	PESO (kg)	% PARCIAL	MUESTRA No.4	MUESTRA TOTAL		
A	8	2.38	15.4	3.08	100	87.62	Analisis efectuado con la muestra de <b>500</b> gr. humedad total del material menor que la malla No. 4	
	14	1.19	22.5	4.5	96.92	84.92		
	28	0.59	28.6	5.72	86.7	75.97		
	48	0.297	17.5	3.5	83.2	72.90		
	100	0.149	5.9	1.18	82.02	71.87		
	200	0.074	31.2	6.24	75.78	66.40		
	<b>Suma</b>		<b>121.1</b>	<b>24.22</b>			% MAT FINO > 200	
	<b>Charola</b>		<b>378.8</b>	<b>75.76</b>			<b>CHAROLA No.4</b>	
V.	<b>SUMA</b>		<b>499.9</b>	<b>99.98</b>	<b>CHEQUE CON LA MUESTRA SECA</b>			
CALCULO: <p align="center"><u>Saúl Mendiola Hernández</u></p>								

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

### ANALISIS GRANULOMETRICO

	MALLA	mm	PESO (kg)	% PARCIAL	% ACUMULADO		OBSERVACIONES																																																											
	ABERTURA	RETENIDO	RETENIDO	QUE PASA desde	100%																																																													
<b>A</b>	3"	76.2					Análisis efectuado con la muestra de																																																											
	2"	50.8																																																																
	1 1/2"	38.1																																																																
<b>C</b>	1"	25.4					Kg humedad total grava W-----% tierra W-----%																																																											
	3/4"	19.1																																																																
	1/2"	12.7																																																																
<b>E</b>	3/8"	9.5					% de material > No. 4																																																											
	No. 4	4.69																																																																
<b>S</b>		<b>SUMA</b>					<b>% de grava</b>																																																											
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">MALLA</th> <th rowspan="2">mm</th> <th rowspan="2">PESO (kg)</th> <th rowspan="2">% PARCIAL</th> <th colspan="2">% ACUMULATIVO QUE PASA</th> <th rowspan="2">OBSERVACIONES</th> </tr> <tr> <th>MUESTRA No.4</th> <th>MUESTRA TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8</td> <td>2.38</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="5" style="vertical-align: top;">Análisis efectuado con la muestra de gr. humedad total del material menor que la malla No. 4</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>1.19</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>0.59</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>0.297</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0.149</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.074</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Suma</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><b>% MAT FINO &gt; 200</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Charola</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><b>CHAROLA No.4</b></td> </tr> </tbody> </table>							MALLA	mm	PESO (kg)	% PARCIAL	% ACUMULATIVO QUE PASA		OBSERVACIONES	MUESTRA No.4	MUESTRA TOTAL	8	2.38					Análisis efectuado con la muestra de gr. humedad total del material menor que la malla No. 4	14	1.19					28	0.59					48	0.297					100	0.149					200	0.074					<b>Suma</b>						<b>% MAT FINO &gt; 200</b>	<b>Charola</b>					
MALLA	mm	PESO (kg)	% PARCIAL	% ACUMULATIVO QUE PASA		OBSERVACIONES																																																												
				MUESTRA No.4	MUESTRA TOTAL																																																													
8	2.38					Análisis efectuado con la muestra de gr. humedad total del material menor que la malla No. 4																																																												
14	1.19																																																																	
28	0.59																																																																	
48	0.297																																																																	
100	0.149																																																																	
200	0.074																																																																	
<b>Suma</b>						<b>% MAT FINO &gt; 200</b>																																																												
<b>Charola</b>						<b>CHAROLA No.4</b>																																																												
<b>V</b>	<b>SUMA</b>				<b>CHEQUE CON LA MUESTRA SECA</b>																																																													
	CALCULO: _____																																																																	

## DENSIDAD DE SÓLIDOS



## DENSIDAD DE SÓLIDOS

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

Tratándose de la densidad, que queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayor parte de los cálculos de Mecánica de Suelos.

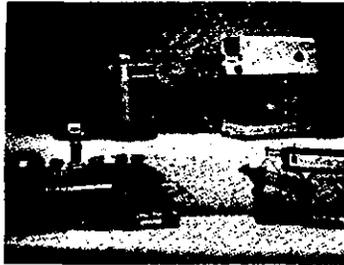
Para su determinación se hace uso de matraces a distintas temperaturas.

La densidad del suelo varía comúnmente entre los siguientes valores:

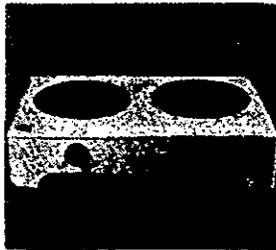
Cenizas volcánicas	_____	2.20	a	2.50
Suelos orgánicos	_____	2.50	a	2.65
Arenas y gravas	_____	2.65	a	2.67
Limos inorgánicos y guijarros arcillosos	_____	2.67	a	2.72
Arcillas poco plásticas y medianamente plásticas	_____	2.72	a	2.78
Arcillas medianamente plásticas y muy plásticas	_____	2.78	a	2.84
Arcillas expansivas	_____	2.84	a	2.88

### Equipo:

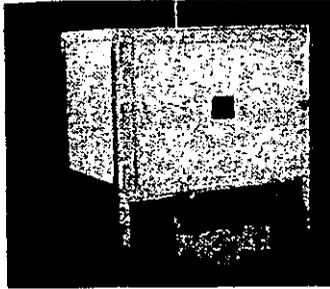
- Balanza de torsión o eléctrica de 1 Kg. Aproximadamente de capacidad, sensible a 0.1 g.
- Balanza Cenco de 3 brazos, de 110 g. de capacidad, sensible a 0.01g. o eléctrica de características similares.



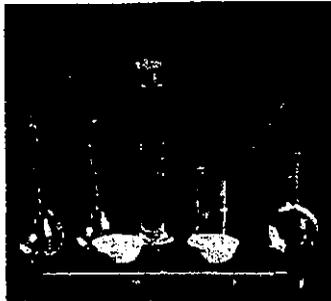
- Estufa



- Horno de secado a temperatura constante de 110 ° C.



- Termómetro de 0 a 50 ° C, graduado en 0.1 de grado.
- Vaso de precipitado de 400 cm<sup>3</sup>.
- Probeta graduada de 500 cm<sup>3</sup>.
- Piseta.
- Pipeta.
- Cápsulas de porcelana o vidrio refractario.
- Matraces calibrados de 500 cm<sup>3</sup>.
- Equipo para la calibración de matraz.
- Termómetro de 0 a 50 ° C (graduado en decimos de grado).



- Balanza de torsión de un Kg de capacidad y sensibilidad de 0.1 g. con marco de pesas calibrado (o eléctrica de capacidad similar).
- Pipeta de 5 cm<sup>3</sup>.
- Piseta con agua destilada.
- Solución para disolver grasas: mezcla cromática.
- Alcohol de 96°.
- Éter sulfúrico.

## **CALIBRACION DEL MATRAZ**

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

Es conveniente formar, para cada uno de los matraces, una gráfica de calibración, o sea, una curva que tenga, por ordenadas, los pesos de matraz con agua hasta la marca de aforo y, como abscisas, las temperaturas correspondientes. Teniendo esta gráfica, se puede conocer rápidamente el dato requerido para el ensayo.

### **Procedimiento**

1° Con Amoniaco o alguna solución que disuelva las grasas, se limpia el matraz. A veces es necesario dejar el matraz lleno con solución durante varias horas.

Enseguida se enjuaga el matraz varias veces y se deja escurrir colocándolo con la boca hacia abajo. Después se lava con alcohol, se deja escurrir y luego se lava con éter. Los vapores de éter se eliminan colocando el matraz con la boca hacia abajo durante unos 15 o 20 minutos.

2° Se llena el matraz con agua destilada hasta la marca de aforo y se pone a hervir de 5 a 10 minutos en baño María, a fin de eliminar el aire.

3° Se retira el matraz del baño María y se toma la temperatura al 0.1 de grado introduciendo el termómetro hasta el centro del matraz. Si la temperatura es elevada, deben promediarse las lecturas del termómetro en tres puntos de la masa de agua.

4° Con la ayuda de una pipeta, se hace coincidir perfectamente la parte inferior del menisco con la marca; enseguida se limpia exteriormente el matraz y se pesa al 0.1 g. en la balanza de torsión.

5° Se deja enfriar el matraz, hasta que la temperatura del agua baje unos 5 ° C; se afora, se toma la temperatura al 0.1 ° y se vuelve a pesar. Esta operación se repite de 6 a 8 veces, dejando enfriar cada vez el matraz. Las temperaturas y los pesos correspondientes se anotan consecuentemente.

6° Con los datos de temperatura y los pesos del matraz más agua hasta la marca de aforo, se construye una gráfica en papel milimétrico

## Prueba para densidad de sólidos

1° De la muestra preparada, que ha pasado por la malla No. 4 (4.69mm), se toman unos 200 g. procurando que la muestra sea representativa; se colocan en una cápsula de porcelana o vidrio refractario.



El material debe triturrarse en el mortero hasta que adquiera una finura tal que pueda pasar íntegramente por la malla No. 40 (0.420 mm),



dejándolo secar en el horno a temperatura constante de 110 °C, durante 18 horas mínimo. Transcurrido este tiempo, se retira la cápsula del horno, se deja enfriar dentro de un desecador, para que no absorba agua, y se toma la cantidad aproximada de 60g.

2° Un matraz limpio de 500 cm<sup>3</sup> se pesa conteniendo alrededor de 100 cm<sup>3</sup> de agua destilada. El peso obtenido al 0.1 g. se anota como Wm.



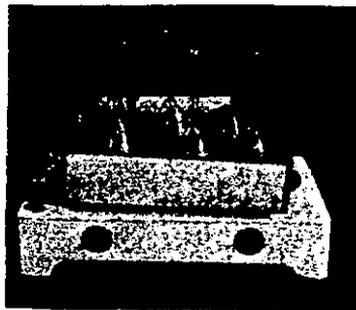
3° El material seco se vacía en el matraz con agua; esta operación se facilita mediante un embudo de vidrio.



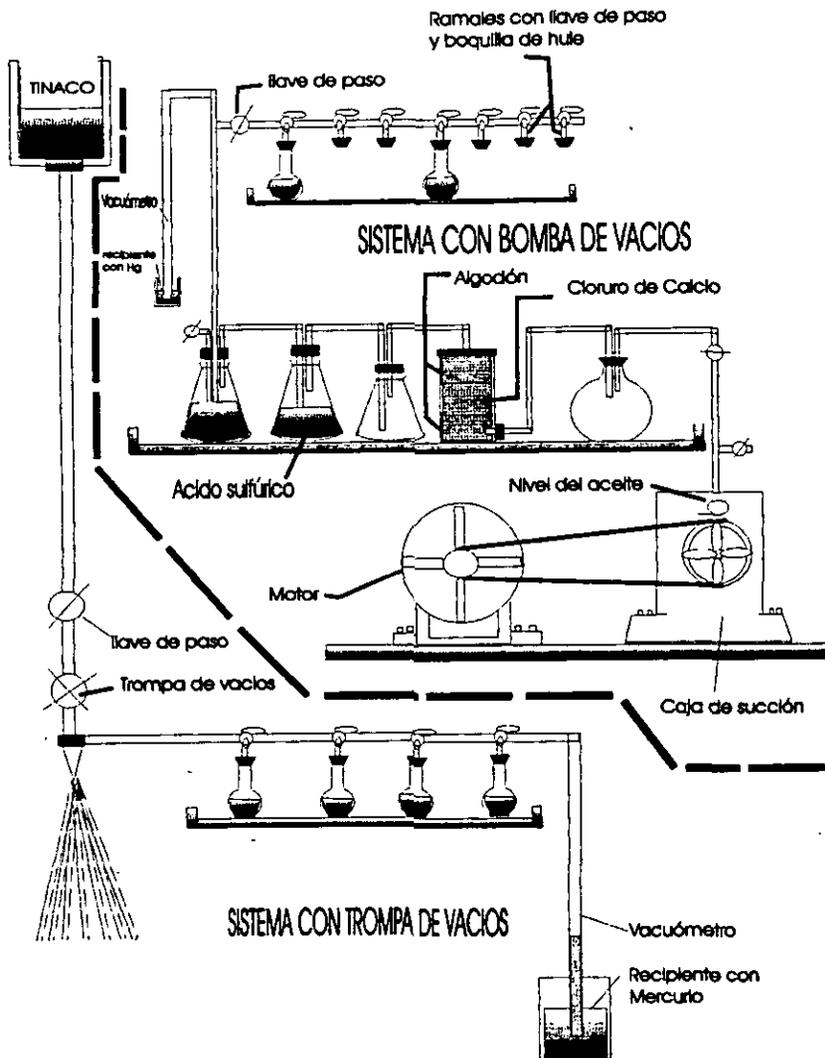
Se vuelve a pesar, anotando el peso en el renglón *Wms* del registro de cálculos. Después de haberse pesado el matraz se desprende el material que quedó adherido al interior del cuello de éste, utilizando para el caso una piseta con agua destilada.

4° Se pone el matraz en baño maría a fin de expulsar el aire contenido en el material. Tratándose de materiales arenosos, generalmente son suficientes 10 minutos de hervido en el baño maría; se necesitarán hasta 30 minutos, para materiales arcillosos.

El líquido que va a transmitir el calor puede ser cualquiera que tenga su punto de ebullición mayor a 100 °C; generalmente se usa la glicerina.



# ESQUEMA DE TROMPA Y BOMBA DE VACIOS



Con el dispositivo anterior de Trompa y Bomba de vacíos se deriva que con su uso mejora la operación pues la suspensión hierve a una

temperatura más baja al disminuir la presión.

5° Se saca el matraz del baño maría. Se lava exteriormente para eliminar la glicerina o grasas y se deja enfriar; una vez que adquiere la temperatura ambiente, se agrega agua destilada hasta llenarlo cerca de la marca de aforo, se deja que la temperatura sea uniforme y se mide al 0.1 °C, introduciendo el termómetro hasta el centro de la suspensión.



La temperatura obtenida se anota en le renglón temperatura del registro de cálculos.

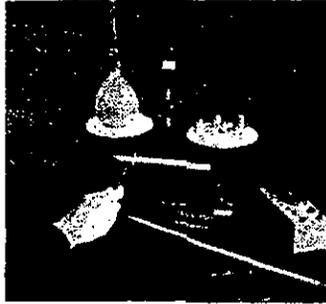
6° Después de tomar la temperatura y con la ayuda de una pipeta, debe agregarse agua destilada en calidad tal que la parte inferior del menisco del matraz.

7° Es necesario eliminar el agua que quede adherida al interior del cuello del matraz, arriba de la marca de aforo, para lo cual se introduce un rollito de papel secante o absorbente.

También debe secarse completamente el matraz por afuera.



8° Después de aforado y secado se pesa el matraz al 0.1 g., anotando el peso en el renglón  $W_{mws}$  del registro de cálculos. Las operaciones 6 y 7 deben realizarse rápidamente, para que haya correspondencia entre la temperatura media de la suspensión en el matraz y su peso  $W_{mws}$ .



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

10° De la tabla de calibración del matraz\* se obtiene el peso del mismo, con el agua destilada hasta la marca de aforo y a la temperatura  $t$  del ensayo  $W_{mw}$ . La expresión  $W_s + W_{mw} - W_{mws}$  representa el peso del volumen de agua desalojado por los sólidos a la temperatura de la prueba.

Por lo tanto, la densidad será igual a:

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

*\*Nota importante: La prueba de densidad debe de hacerse simultáneamente con dos matraces cuando menos, a fin de tener una comprobación. Si los valores no difieren en mas de 1%, promédiense; si la diferencia es mayor, repítase la prueba*

Es muy importante que antes de efectuar la prueba de densidad se limpie perfectamente el matraz con agua, jabón y un escobillón que queda introducirse en éste, enjuagándolo al final con agua destilada.

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

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

$W_{mws}$  = Peso del matraz + agua + muestra a  $t^\circ$

$W_{mw}$  = Peso del matraz + agua a  $t^\circ$  ( de la tabla de calibración)

$W_s$  = Peso del suelo seco.

Densidad de sólidos:

$$Ss = \frac{Ws}{Ws + Wmw - Wmws}$$

**DENSIDAD DE SÓLIDOS (MATRIZ ALMACENADORA DE DATOS)**

PROGRAMA 1

```
1 INPUT "DESEA INTRO/DAT/VERYCORR";RS
2 IF RS="D" THEN 200
3 IF RS="V" THEN 800
4 SET N
5 INPUT "# DE MATRACES";NM,"# DE TEMPERATURAS";NT
6 NS="MATRAZ"
7 DIM A(NM,NT)
8 DIM G(NT)
9 SET N
10 INPUT "TEMP";SAUL1
11 INPUT "INTERVALO";CONTROL1
12 GOSUB 1000
15 T=SAUL
30 FOR I=1 TO NM
35 FOR J=1 TO NT
37 T=T-CONTROL1
40 G(J)=T
41 PRINT "(";I;";";J;")=";G(J);
42 INPUT "LECTURA";A(I,J)
45 IF J=NT THEN PRINT "OTRO MATRAZ"
50 IF NT=J THEN T=SAUL
60 NEXT J: NEXT I
70 PRINT "FIN DE DATOS"
80 END
90 SET N
200 INPUT "# DE MATRAZ";I
210 INPUT "# DE TEMPERATURA";J
400 FOR I=1 TO NM
410 FOR J=J TO NT
430 PRINT "(";NS;I;";";J;")=";G(J);"" ;A(I,J)
440 INPUT "OTRO CALCULO S/N";RS
450 IF RS="S" THEN 200
455 IF RS="N" THEN 1
460 NEXT J:NEXT I
```

```

470 PRINT "FIN":END
800 SET N
805 FOR I=1 TO NM
810 FOR J=1 TO NT
820 PRINT "(";NSI;" ";J;")=";G(J);"º ";A(I,J)
825 IF J=NT THEN 850
826 IF I=NM AND J=NT THEN 835
829 IF J=NT THEN PRINT "SIG MATRAZ"
830 NEXT J:NEXT I
835 PRINT "FIN DE DATOS ALMACENADOS"
840 GOTO 1
850 INPUT "QUIERE CORREGIR S/N";RS
860 IF RS="N" THEN 829
900 PRINT "CORRECTOR"
910 INPUT "# DE TEMPERATURA";J
920 PRINT "(";NSI;" ";J;")=";
930 INPUT A(I,J)
940 INPUT "DESEA OTRA CORRECCION S/N";RS
950 IF RS="S" THEN 900
951 J=NT
952 GOTO 829
1000 IF CONTROL1=0.5 THEN SAUL=SAUL1+0.5
1100 IF INT (SAUL1) THEN SAUL=SAUL1+CONTROL1

```

## DENSIDAD DE SÓLIDOS

### PROGRAMA 2

```

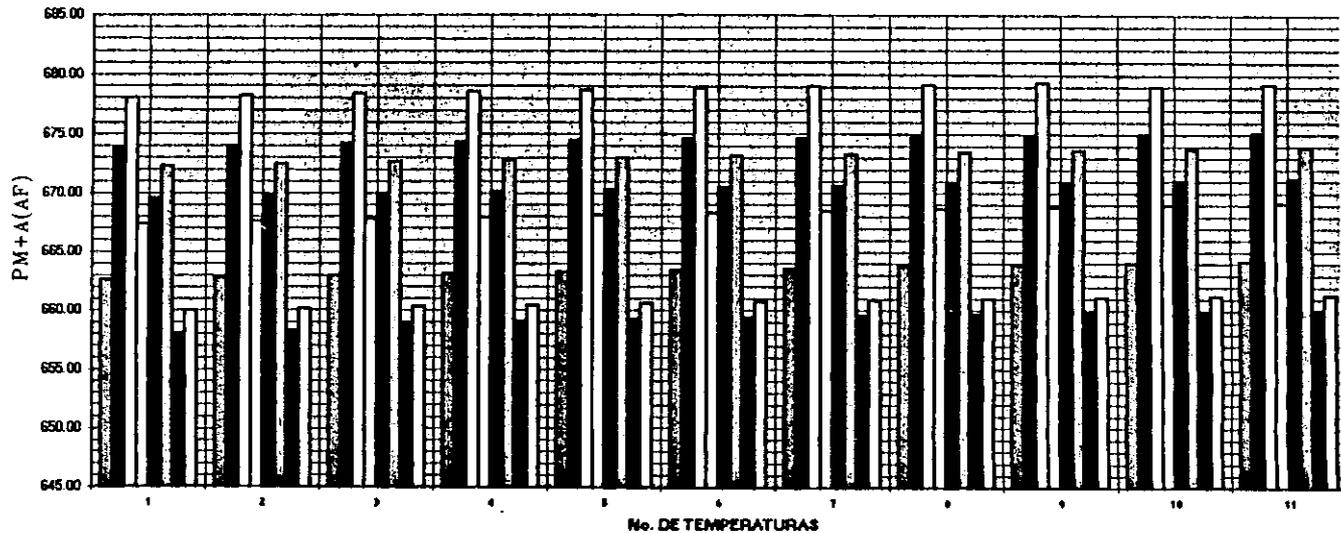
10 INPUT "PM+A+S";PMAS,"PM+A";PMA,"PM+A+S(AF)";PMASAFERV
15 INPUT "EN QUE MATRAZ BUSCA";I
20 INPUT "EN QUE TEMPERATURA(#)";J
30 FOR I=1 TO NM
40 FOR I=J TO NT
50 SET N
60 PRINT "(";NSI;" ";J;")=";G(J);"GRADOS";A(I,J)
70 GOTO 100
95 NEXT J:NEXT I
100 PMMAAF=A(I,J)
110 PS=PMAS-PMA:E=PMMAAF+PS:DENOM=E-PMASAFERV:DENSID=PS/DENOM
120 SET F2
130 "PRINT"PESOSUELO=";PS,"CALIB+SUELO";E,"DENOM=";DENOM,
"DENSID=";DENSID
135 GOTO 10

```

No. DE MATRAZ

No.	TEMPERATURA °C	1	2	3	4	5	6	7	8
1	40	662.64	673.88	678.00	687.40	669.61	672.30	658.08	660.00
2	39	662.81	674.04	678.17	687.58	669.82	672.50	658.27	660.13
3	38	662.97	674.20	678.35	687.76	670.01	672.70	658.93	660.32
4	37	663.14	674.35	678.52	687.94	670.18	672.88	659.08	660.46
5	36	663.30	674.47	678.70	688.12	670.35	673.05	659.24	660.62
6	35	663.45	674.60	678.87	688.30	670.52	673.22	659.40	660.77
7	34	663.60	674.70	679.08	688.48	670.65	673.37	659.57	660.90
8	33	663.78	674.80	679.20	688.65	670.80	673.51	659.72	661.03
9	32	663.90	674.90	679.37	688.82	670.95	673.66	659.85	661.13
10	31	664.04	675.01	679.04	688.98	671.09	673.80	659.96	661.24
11	30	664.19	675.13	679.20	689.16	671.22	673.92	660.11	661.33

CALIBRACION DE MATRACES



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**LABORATORIO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL**  
**MECANICA DE SUELOS**

**REGISTRO DE DENSIDAD RELATIVA**

Procedencia \_\_\_\_\_ Pozo \_\_\_\_\_ Identificacion de lab \_\_\_\_\_  
 Banco \_\_\_\_\_ Est. \_\_\_\_\_ Profundidad \_\_\_\_\_  
 Muestra \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

<b>Simbologia</b> PM= Peso muestra A= Agua S= Suelo PM + A(af) =de tablas de calibracion de matraz * Despues de hervir	ENSAYE No.	1	ENSAYE No.	2	ENSAYE No.	3	ENSAYE No.	4
	temperatura °C	31	temperatura °C	30	temperatura °C	34	temperatura °C	33
	No. De matraz	8	No. De matraz	1	No. De matraz	3	No. De matraz	6
	PM+A+S	375.12	PM+A+S	410.68	PM+A+S	398.34	PM+A+S	402.55
	PM+A	325.12	PM+A	360.64	PM+A	348.27	PM+A	352.49
	Peso suelo	50.00	Peso suelo	50.04	Peso suelo	50.07	Peso suelo	50.06
	PM+A(af)	661.24	PM+A(af)	675.13	PM+A(af)	679.06	PM+A(af)	673.51
	PM+A(af)+S	711.24	PM+A(af)+S	725.17	PM+A(af)+S	729.13	PM+A(af)+S	723.57
	PM+A+S(af) *	691.96	PM+A+S(af) *	705.93	PM+A+S(af) *	709.71	PM+A+S(af) *	704.11
	Denominador	19.28	Denominador	19.24	Denominador	19.42	Denominador	19.46
Densidad	2.69	Densidad	2.60	Densidad	2.68	Densidad	2.57	

ENSAYE No.	5	ENSAYE No.	6	ENSAYE No.	7	ENSAYE No.	8
temperatura °C	38	temperatura °C	32	temperatura °C	33	temperatura °C	34
No. De matraz	3	No. De matraz	8	No. De matraz	1	No. De matraz	4
PM+A+S	458.25	PM+A+S	370.25	PM+A+S	344.19	PM+A+S	392.05
PM+A	408.15	PM+A	320.26	PM+A	301.11	PM+A	342.00
Peso suelo	50.10	Peso suelo	49.99	Peso suelo	43.08	Peso suelo	50.05
PM+A(af)	678.70	PM+A(af)	661.13	PM+A(af)	663.76	PM+A(af)	668.49
PM+A(af)+S	728.80	PM+A(af)+S	711.12	PM+A(af)+S	706.84	PM+A(af)+S	718.54
PM+A+S(af) *	709.67	PM+A+S(af) *	692.40	PM+A+S(af) *	690.47	PM+A+S(af) *	699.24
Denominador	19.13	Denominador	18.72	Denominador	16.37	Denominador	19.30
Densidad	2.62	Densidad	2.67	Densidad	2.63	Densidad	2.59

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**LABORATORIO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL**  
**MECANICA DE SUELOS**

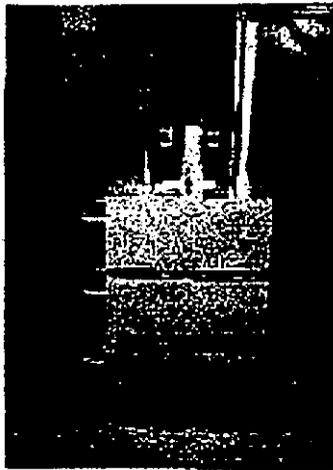
**REGISTRO DE DENSIDAD RELATIVA**

Procedencia \_\_\_\_\_ Pozo \_\_\_\_\_ Identificacion de lab \_\_\_\_\_  
 Banco \_\_\_\_\_ Est. \_\_\_\_\_ Profundidad \_\_\_\_\_  
 Muestra \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

<b>Simbologia</b> PM= Peso muestra A= Agua S= Suelo PM + A(af) =de tablas de calibracion de matraz * Despues de hervir	ENSAYE No.	ENSAYE No.	ENSAYE No.	ENSAYE No.
	temperatura °C	temperatura °C	temperatura °C	temperatura °C
	No. De matraz	No. De matraz	No. De matraz	No. De matraz
	PM+A+S	PM+A+S	PM+A+S	PM+A+S
	PM+A	PM+A	PM+A	PM+A
	Peso suelo	Peso suelo	Peso suelo	Peso suelo
	PM+A(af)	PM+A(af)	PM+A(af)	PM+A(af)
	PM+A(af)+S	PM+A(af)+S	PM+A(af)+S	PM+A(af)+S
	PM+A+S(af) *	PM+A+S(af) *	PM+A+S(af) *	PM+A+S(af) *
	Denominador	Denominador	Denominador	Denominador
Densidad	Densidad	Densidad	Densidad	

ENSAYE No.	ENSAYE No.	ENSAYE No.	ENSAYE No.
temperatura °C	temperatura °C	temperatura °C	temperatura °C
No. De matraz	No. De matraz	No. De matraz	No. De matraz
PM+A+S	PM+A+S	PM+A+S	PM+A+S
PM+A	PM+A	PM+A	PM+A
Peso suelo	Peso suelo	Peso suelo	Peso suelo
PM+A(af)	PM+A(af)	PM+A(af)	PM+A(af)
PM+A(af)+S	PM+A(af)+S	PM+A(af)+S	PM+A(af)+S
PM+A+S(af) *	PM+A+S(af) *	PM+A+S(af) *	PM+A+S(af) *
Denominador	Denominador	Denominador	Denominador
Densidad	Densidad	Densidad	Densidad

## COMPACTACION



## COMPACTACION.

**Generalidades.** Se entiende por compactación todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material granular, en general es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no sólo depende de las características del dispositivo que se usó para compactarlo, sino fundamentalmente de la humedad que tiene el material. Si las partículas están secas, la fricción intergranular opone una resistencia mayor al desplazamiento relativo entre ellas, que si se encuentran lubricadas por una película de agua; por el contrario, si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso. Esto último es cierto en suelos que tienen un alto porcentaje de finos y no en las arenas gruesas y gravas. Por lo tanto, dado un proceso de compactación, para cada material existe un contenido de agua con el que se obtiene el máximo peso volumétrico.

La prueba que se describe adelante es una de las aceptadas para determinar las condiciones óptimas de compactación de una tierra en el laboratorio; con el objeto de que esta prueba proporcione valores similares en cualquier sitio que se efectúe, se ha diseñado una base estándar que se muestra en la LAMINA C1, la cual, según las investigaciones hechas para tal efecto, ha demostrado gran similitud en los resultados obtenidos para cualquier tipo de piso donde se coloque; sin embargo se recomienda que está se apoye en un piso de cemento. La prueba nos proporciona valores que en general corresponden a los pesos volumétricos máximos que pueden obtenerse en el campo, trabajando con los equipos usuales (rodillos lisos y pata de cabra), siempre que, en cada caso, se ajuste empíricamente al espesor de la capa de material, el número de pasadas del equipo de compactación.

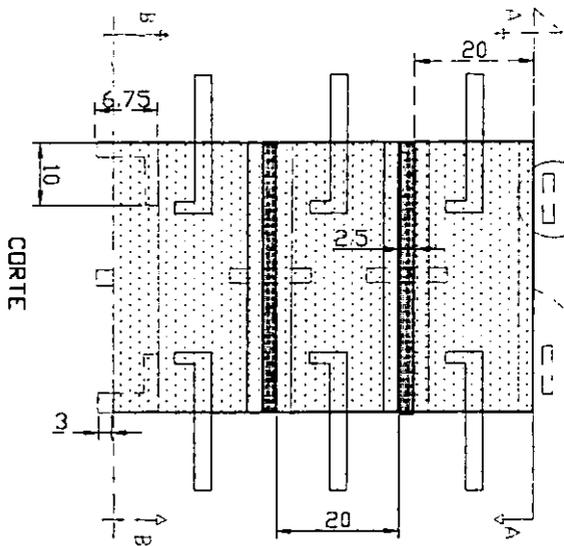
La bondad del proceso seguido en el campo se mide por el grado de compactación, o sea por la relación entre el peso volumétrico seco en el terraplén y el óptimo determinado en la Prueba Próctor.

### Equipo.

- Cilindro Próctor de compactación de 10.2 cm de diámetro interior y 12.3 cm de altura.
- Extensión del cilindro de igual diámetro interior y 6.5 cm de altura.
- Pisón cilíndrico, de 5 cm. de diámetro interior en la base y el peso de 2.75 Kg.

# BASE PARA LA PRUEBA PROCTOR

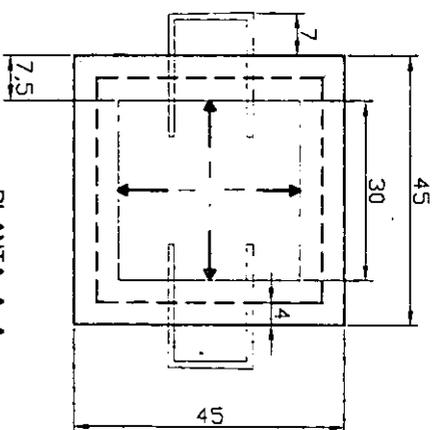
Fig. 6. modificado de 127 mm (1/2")



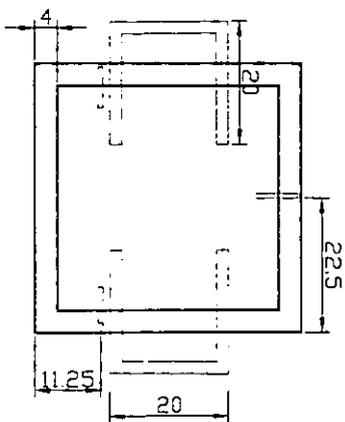
CORTE

ACRIACIÓNE S EN CEMENTIPUS

Peso de la base 325 kg apor.  
 Capacidad: 210 kg/cm<sup>2</sup>  
 apropiada para un q<sub>u</sub> 151mm



PLANTA A-A

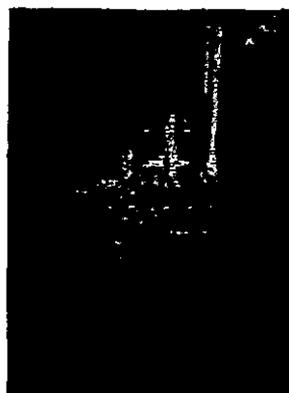
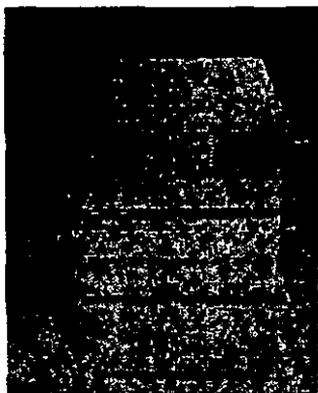


PLANTA B-B

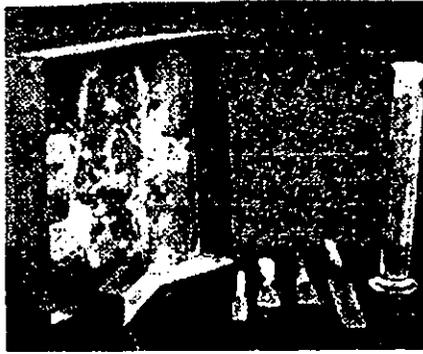
- Guía de lámina galvanizada, de 48 cm. de longitud, con un escalón a 45.7cm. (18") para dar la caída libre del martillo.



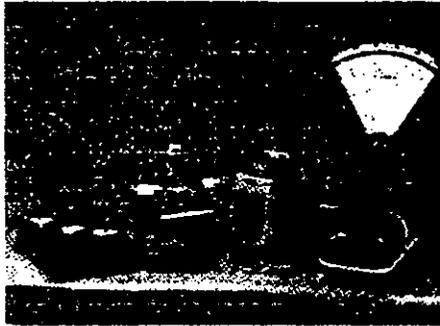
Base estándar de 325 Kg. de peso.



- Charola de lámina galvanizada de 50 x 50 x 10 cm.
- Juego de espátulas de acero y enrasador.
- Pieza prismática, de madera, de 20 x 5 x 5 cm., para desmoronar terrones.
- Probeta graduada de 500 cm<sup>3</sup>.



- Horno a temperatura constante de 110 ° C.
- Báscula Fairbanks, con capacidad de 120 Kg. en plataforma y 12 Kg. en el platillo; sensible a 5 g. (de preferencia báscula de 15 Kg. y sensible a 2 g. ).
- Balanza de torsión o balanza eléctrica, con capacidad de 1 Kg y sensibilidad de 0.1g.



- Cápsulas de porcelana o material refractario previamente numeradas y taradas.
- Cucharón de lámina galvanizada.

**Procedimiento.**

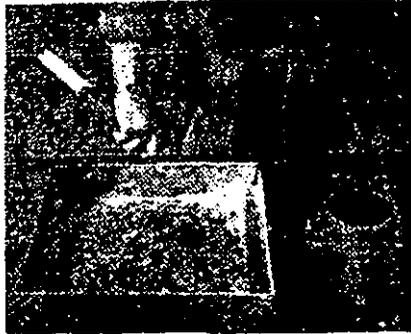
1° De la muestra previamente preparada que ha pasado por la malla No.4, se toman aproximadamente 2.5 kg; se ponen en la charola y se dejan secar al aire en caso de que esté muy húmeda.



2° Se desmoronan los terrenos de material, utilizando la pieza de madera de sección cuadrada.



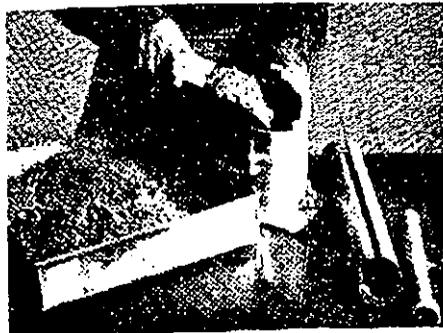
3° Se esparce agua en cantidad tal que la humedad resulte un poco menor de 10% y si el material es arenoso es conveniente ponerle una humedad menor. Esta operación puede efectuarse empleando un atomizador (bomba para insecticida).



4° Se revuelve perfectamente el material, tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.



5° Usando el cucharón se vacía el cilindro Próctor, previamente armado con su extensión, material suficiente para obtener una capa floja de unos 8 cm. de espesor.



6° Esta capa se compacta mediante 20 golpes de pisón, procurando repartirlos en toda su superficie y usando la guía metálica para que la altura de caída sea la misma. Los golpes de pisón se dan levantando esté hasta el nivel superior de la guía y dejándolo caer libremente.



7° Se vuelve a vaciar material en el cilindro para tener una segunda capa que, agregada a la primera, dé una altura total de unos 11 ó 12 cm., compactándola del mismo modo que la primera.

8° En idéntica forma, se procede con la tercera capa, procurando que una vez compactado el material, la superficie esté 1 ó 2 cm., arriba del ensamble de la extensión.

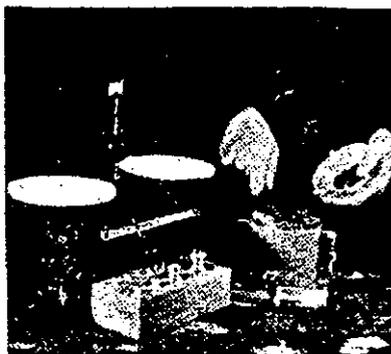
9° Al terminar la compactación de las 3 capas, con una espátula de cuchillo se recorre el perímetro interior de la extensión para despegar el material y se quita cuidadosamente el material, enrasando la muestra al nivel superior del cilindro y rebanando el material sobrante con una espátula de cuchillo o bien con un enrasador.



10° Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada en el platillo de la báscula, aproximando la lectura hasta 5 g. El peso obtenido se anota en el registro de cálculo en la columna *Peso cilindro + tierra*.

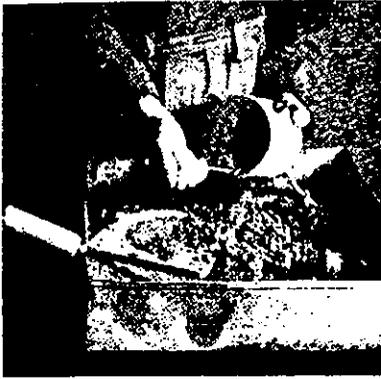


11° En una cápsula de porcelana o vidrio refractario, previamente numerada y tarada, se toma una porción de la muestra compactada, aproximadamente 100 g., y se pesa 0.1 g en la balanza de torsión anotando este valor en la columna *tara + muestra húmeda*.



12° Se desarma el cilindro Próctor con objeto de extraer fácilmente el material, devolviéndolo a la charola.

Puede emplearse un extractor como el que se muestra en la foto contigua:



13° El material se desmenuza, picándolo con una espátula de abanico y cuando está bien desmoronado se agrega agua en cantidad suficiente para aumentar el contenido de humedad de 2% a 5 % aproximadamente, dependiendo del tipo de material. Se repiten todos los pasos del 4° al 12° inclusive, obteniendo así un nuevo punto de gráfica humedad contra peso volumétrico seco.

Para poder definir las condiciones óptimas del material es necesario efectuar cuatro o cinco veces los pasos del 4° al 12° inclusive, incrementando en cada ensayo el contenido de agua.

14° Todas las cápsulas que contienen la muestra húmeda de cada ensayo se colocan dentro de un horno a 110 ° C durante 18 horas mínimo.

Transcurrido este lapso, se retiran del horno, dejándolas enfriar dentro de un desecador y se pesan, registrando el valor en la columna *tara + muestra seca*, del renglón correspondiente.

15° Siguiendo las instrucciones que aparecen en el registro de cálculo de la **TABLA C1** se encuentran los valores necesarios para construir la gráfica pesos volumétricos secos-contenidos de agua. Esta gráfica se dibuja en la forma que se muestra en la misma lámina.

De ella se definen los valores óptimos del material que corresponden al peso volumétrico seco óptimo y su humedad.

Es necesario obtener de antemano los siguientes datos: Peso del cilindro Proctor armado, pero sin su extensión; capacidad o volumen interior del mismo; peso de las cápsulas de porcelana o pyrex; peso del pisón y área de la base del mismo. Estos datos deben de verificarse con cierta frecuencia, pues el uso altera las dimensiones.

## PROGRAMA COMPACTACION PROCTOR

```
10 INPUT "Peso cilindro=";T
20 INPUT "Volumen=";v
25 INPUT "tara+muest humed";TMH
30 INPUT "# DE CAL";M
40 FOR I=1 TO M
42 PRINT "CAL #";I
45 INPUT "# TARA=";u
50 INPUT "Peso cilin+tierra=";W
60 INPUT "tierra hum comp=";WH
70 INPUT "Tara+muest seca=";TMS
75 INPUT "Peso Tara=";PT
80 W=T+WH:WH=W-T:Ww=TMH-TMS:Ws=TMS-PT:W1=100*(Ww/Ws)
:Ws2=WH/(1+W1/100):Ds=Ws2/v*1000
82 PRINT W,WH,u,PT,TMH,TMS,Ww,Ws,W1,Ws2,Ds
85 NEXT I
```

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

## COMPACTACION PROCTOR

Procedencia: Presidencia Miguel Alemán, Ver. Identificación de lab: IG-119  
BANCO Zona 5 Pozo: E-14 Profundidad: 1.00 a 2.00 m  
MUESTRA: No. 1 Est. A4 fecha: Enero 2007  
Equipo usado Címetro No. 1 Volumen V= 0.984 lit. Peso T= 3.659 kgs

Peso cilin + tierra	Densidad compactada	MUESTRA PARA OBTENCION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						W=100(Ww/Ws) contenido de agua en %	Ws=WH(1-(W/100)) Tierra seca compactada	Ds=Ws2/v Peso Vol. seco kg/m <sup>3</sup>
		Peso	tara+tuest	tara+muest	Ww	Ws	contenido de			
w=T-wt	WtH=w-T	tara	tara	humeda	seca	Peso agua	Peso seco	agua en %	compactada	seco kg/m <sup>3</sup>
5.410	1.755	50	54.9	160	149.1	10.9	94.2	11.6	1.573	1599
5.580	1.925	33	55.9	160	146.2	13.8	90.3	15.3	1.669	1696
5.660	2.005	53	56.3	160	143.4	16.6	87.1	19.1	1.683	1710
5.615	1.960	23	56.6	160	140.6	19.4	84.0	23.1	1.592	1618

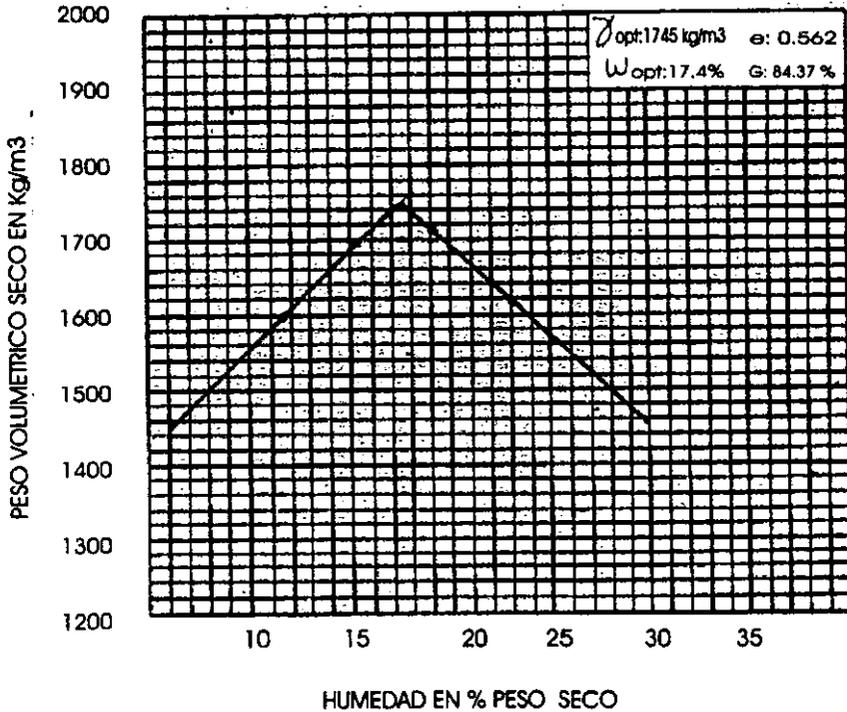


TABLA C1

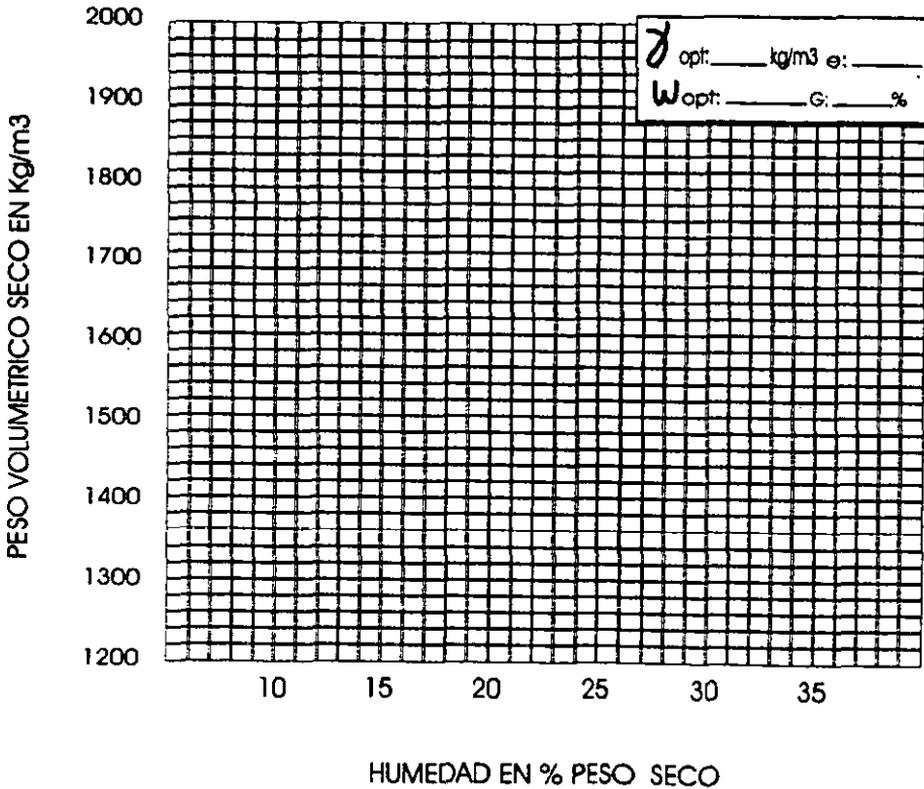
# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

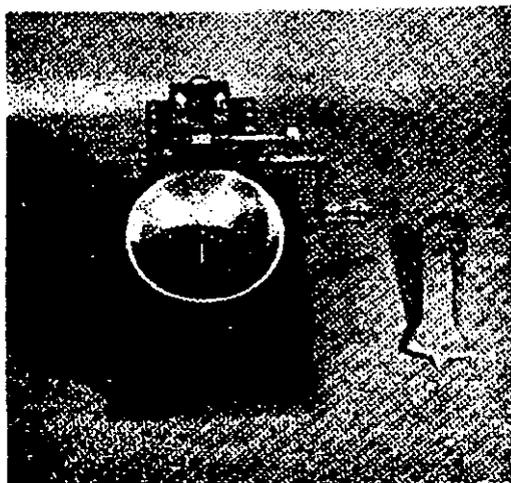
## COMPACTACION PROCTOR

Procedencia: \_\_\_\_\_ Identificación de lab: \_\_\_\_\_  
 BANCO \_\_\_\_\_ Pozo: \_\_\_\_\_ Profundidad: \_\_\_\_\_  
 MUESTRA: \_\_\_\_\_ Est: \_\_\_\_\_ fecha: \_\_\_\_\_  
 Equipo usado Cilindro No. Volumen V= \_\_\_\_\_ Peso T= \_\_\_\_\_

Peso cila	Tierra	MUESTRA PARA OBTENCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						W*100(Ww/Ws)	Wq=WH1+(W/100)	D <sub>s</sub> =W <sub>s</sub> /V
		+ tierra compactada		MUESTRA PARA OBTENCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		Ww	Ws			
W=T.WH	WH=W.T	tara	tara	humeda	seca	Peso agua	Peso seco	agua en %	compactada	seco kg/m <sup>3</sup>



## LIMITES DE CONSISTENCIA



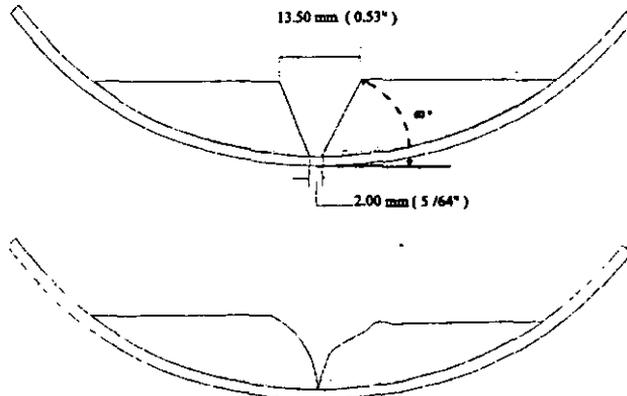
## DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

### a) Generalidades.

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, dependen en gran parte de la humedad; el agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante de comportamientos diferentes del material. Cuando el contenido de agua es muy elevado, en realidad se tiene una suspensión muy concentrada, sin resistencia estática al esfuerzo cortante; al perder agua, va aumentando esa resistencia hasta alcanzar un estado plástico en el que el material es fácilmente moldeable; si el secado continúa, el suelo llega a adquirir las características de un sólido, pudiendo resistir esfuerzos de compresión y tensión considerables.

Arbitrariamente A. Atterberg marcó las fronteras de los cuatro estados en que pueden presentarse los materiales granulares muy finos, fijando los límites siguientes: Líquido, plástico y de contracción; el segundo entre el estado plástico y el semisólido; y el tercero separa el estado semisólido del sólido. a estos límites se les llama *Límites de consistencia*.

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



El límite plástico LP lo fija el contenido de agua con el que comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo de aproximadamente 3.2 mm de diámetro, al rolarlo con la mano sobre una superficie lisa, no absorbente que puede ser una placa de vidrio.



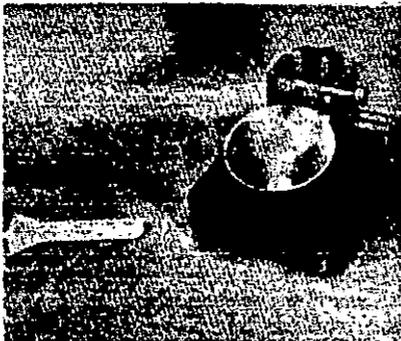
El límite de contracción  $L_c$  es el contenido de agua que saturaría a un suelo contraído por el secamiento de evaporación.

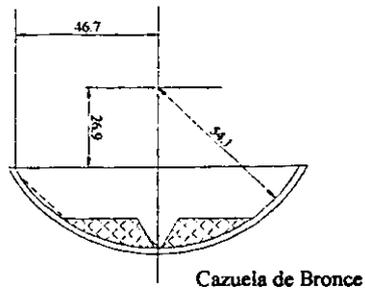
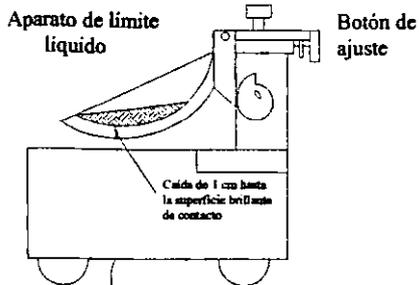
La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se llama índice de plasticidad, y es una medida de la plasticidad del suelo. Se define el índice de contracción por la diferencia entre los límites plástico y el de contracción.

En Mecánica de Suelos y en particular en los estudios de materiales para la construcción del terraplén de una cortina, los límites de consistencia son de gran ayuda para clasificar la fracción fina de un suelo; así como el manejo de la explotación de préstamos, cuando éstos están formados por materiales esencialmente arcillosos o limosos.

### Equipo

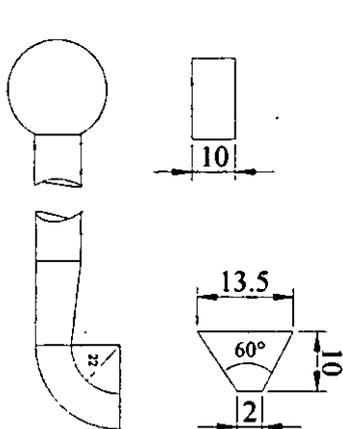
- Dispositivo de A. Casagrande para determinar el límite líquido, incluyendo la solera plana de un centímetro de espesor y el ranurador plano.



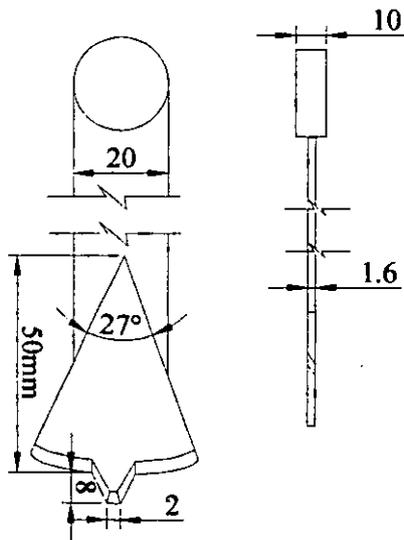


Tipo patrón: Base de caucho duro  
 Tipo Harvard: Base de micarta

( a ) Detalles de construcción y dimensiones del aparato de limite liquido



Herramienta tipo ASTM para hacer la ranura



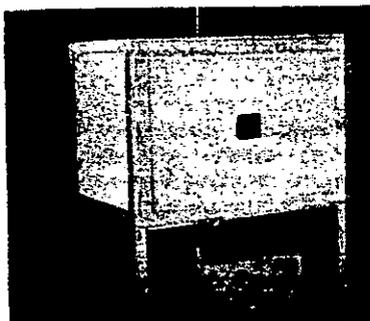
Herramienta tipo Casagrande para hacer ranura

( b ) Herramientas ranuradoras

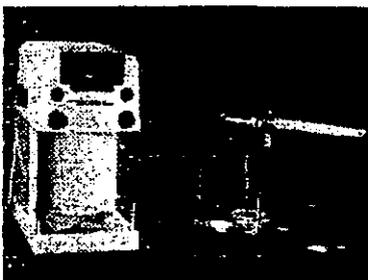
- Espátulas, cápsula de porcelana, malla No. 40 (0.420 mm), vidrios de reloj, mortero y piseta



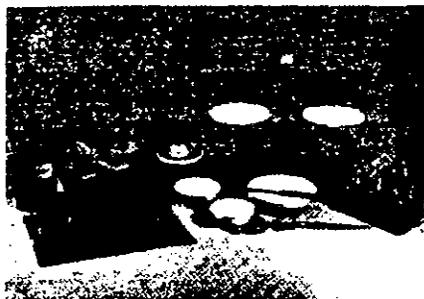
- Horno a temperatura constante de 105°C.



- Balanza Cenco de 3 brazos y aproximación de 0.01 g o balanza eléctrica de características similares.



- Mercurio, cápsulas de Petri, charola de plástico con recipiente para determinar volúmenes, balanza de torsión de 1 kg; con marco de pesas, piseta, cápsulas de porcelana, espátula y brocha.



- Frascos de vidrio de 100 a 200 cm<sup>3</sup>.

#### **b) Preparación de la muestra**

Las pruebas de consistencia se hacen solamente con la fracción de suelo que pasa por la malla No. 40 (0.420 mm).

A continuación se describen 2 procesos de preparación de la muestra.

Para determinar cuál proceso conviene, se seca al horno una muestra húmeda de material y se presiona con los dedos. Si se desmorona fácilmente, se usa el método de separación en seco (indica que el material es areno-limoso o limoso). En cambio, si la muestra ofrece considerable resistencia y los granos no pueden separarse, se requiere hacer la preparación con ayuda del agua (indica que el material es arcilloso).

**Método seco.**

1° del material que pasa por la malla No. 4 (4.69mm), se desmenuzan 150 g. en un mortero, teniendo cuidado de no llagar a romper los granos.



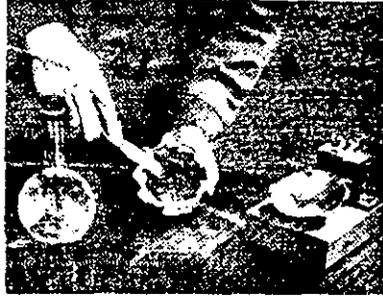
2° Se pasa el material a través de la malla No. 40 (0.420 mm), desechando el que quede retenido.



3° Se pone en una cápsula el material que ha pasado por dicha malla.



4° Se agrega agua y, con una espátula de cuchillo se mezcla perfectamente hasta obtener una pasta suave y espesa.



5° Se guarda la muestra humedecida en un frasco durante 24 hrs. mínimo para que la humedad se distribuya uniformemente en todos los granos del suelo.

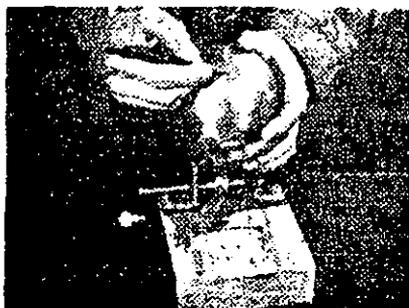


### **Método húmedo**

Cuando convenga aplicar este método, se sigue el mismo procedimiento que se usa en el análisis granulométrico por vía húmeda, con la diferencia que, en vez de utilizar la malla No. 200 (0.074 mm), se utiliza la No. 40 (0.420 m), y el material que se recoge no se introduce en el horno, sino que se deje evaporar hasta que tome la consistencia de una pasta suave y en la misma forma que se explico en el 5° paso del método seco, se guardan en frascos las muestras, incluyendo la porción que corresponden al límite plástico.

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

1° La Copa de Casagrande antes de usarse, debe ser ajustada para que ésta tenga una altura de caída de 1 cm; exactamente. Esta distancia se mide con una solera que tiene ese espesor. En la copa del aparato se marca el centro de la huella que se forma al golpear con la base.



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



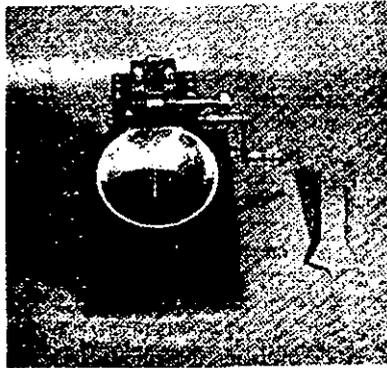
3° Del material que se preparó y guardó en frascos durante 24 hrs. se pone en la copa del aparato una cantidad de 50 g; aproximadamente; se vuelve a mezclar hasta que la muestra quede homogénea; con una espátula se dispone el material de modo que, siendo la superficie superior plana( evitese formar taludes), su espesor máximo sea del orden de 1 cm.



4° Se pone la punta del ranurador en la parte superior y al centro de la muestra, colocando la herramienta perpendicular a la superficie de la copa.

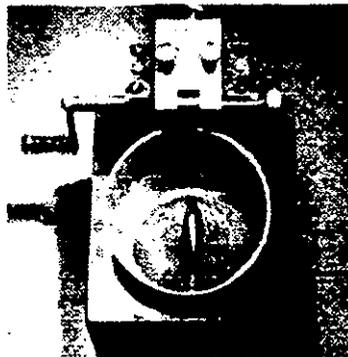


5° Se hace una ranura\* en el centro de la muestra, inclinando el ranurador o la cuchilla de manera que permanezca perpendicular a la superficie inferior de la copa.



Para arcillas arenosas, limos con poca plasticidad y algunos suelos orgánicos, el ranurador no puede correr a través de la pasta sin rasgar los bordes de la ranura. para estos suelos, se corta la ranura con una espátula y se verifican las dimensiones con el ranurador plano. Se limpia el ranurador con un trapo húmedo antes de que se seque el material.

6° Después de asegurarse de que la copa y la base están limpias y secas, se da vuelta al a manija uniformemente a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes requerido hasta que se cierre el fondo de la ranura en la distancia de 1 cm.



*\*Para arcillas con poco o ningún contenido de arena, hágase la ranura con un solo movimiento suave o continuo.*

7° con la espátula se mezcla el material y se repiten las operaciones indicadas en 3, 4, 5 y 6. Si el número de golpes coincide con la anterior determinación, o su diferencia es de 1 golpe, se anota el resultado en el registro respectivo promediando en el segundo caso. En el caso de que la diferencia sea mayor a un golpe, se repite el proceso hasta lograr la *coincidencia en dos intentos sucesivos*.

8° Se ponen aproximadamente 30 g. de la porción de la muestra que está próxima a la ranura, en un vidrio de reloj.



9° Se engrapan los vidrios como se ve en la foto:



10° Se pesa con una aproximación de 0.01 g; anotando el valor en la columna *tara + muestra húmeda* de la **TABLA DLC1** y en el mismo renglón se registra el número de la tara y su peso correspondiente.

11° Se repiten los pasos del 3° al 10° tomando muestras de los diferentes frascos, para ir variando la consistencia del material. Es recomendable contar con 4 determinaciones procurando que estén comprendidas entre 5 y 40 golpes.

12° Todos los vidrios de reloj conteniendo las muestras tomadas, se introducen en el horno a 110°C, durante 18 hrs. mínimo, para que se sequen. Una vez secas se sacan del horno y se ponen dentro de un desecador para que se enfrien; después se pesan y se anota el valor en el registro llevado en la columna *tara + muestra seca*.

13° se siguen los pasos necesarios para obtener la cantidad de agua en %, correspondiente a cada número de golpes y se construye la curva de número de golpes contra humedad en % y el rayado semilogaritmico.

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

Un método optativo para determinar el límite líquido con un solo punto dentro de cierto rango de número de golpes ( de 20 a 30 únicamente ) es el emplear la formula empírica siguiente:

$$LL = wN \left( \frac{N}{25} \right)^{0.12}$$

en donde

LL= Límite líquido.

wN= Humedad con N número de golpes en %.

N= Número de golpes.

Con el objeto de facilitar el empleo de esta fórmula tenemos este programa corto en BASIC, aquí se dan los valores correspondientes a  $(N/25)^{0.12}$  para cualquier número de golpes entre 20 y 30.

```
10 PRINT " FORMULA DE LIMITE LIQ"
15 FOR I=20 TO 30
20 SET N
40 G=(I/25)^(0.12)
45 SET F3
60 NEXT I
70 INPUT " PUNTO QUE SE QUIERE DENTRO (20-30) GOLPES CON
N=";I
80 PRINT "(N/25)^(0.12),";G
90 INPUT "wN(%)=";wN
100 LL=wN*G:PRINT "LIMITE LIQUIDO=";LL
110 GOTO 70
```

A continuación se da un ejemplo ilustrativo tomando de los datos obtenidos en la prueba de límite líquido que se muestra en la **TABLA DLC1**.

En dicha lamina se tiene que el punto comprendido dentro del rango antes mencionado es el anotado en el segundo renglón del cuadro de cálculo; por lo que:

$N = 27$

$wN = 68.46\%$

Del programa tenemos que

$N = 27; (27/25)^{(0.12)} = 1.009$

Por lo que se tiene que

$LL = 68.46 * 1.009 = 69.08\%$

Si comparamos el valor obtenido por la gráfica que es de 69.00%, vemos que la diferencia es despreciable por lo que se recomienda el empleo de esta fórmula *siempre y cuando* el operador sea muy cuidadoso de hacer la prueba.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL**  
**MECANICA DE SUELOS**

Procedencia: Presidente Miguel Alemán Ver.

Identificación de lab: Ing-416

Banco: Zona 6

Pozo: E14

Profundidad: 1.00 a 2.00 m

Muestra: .....Est

Fecha: ABRIL 2001

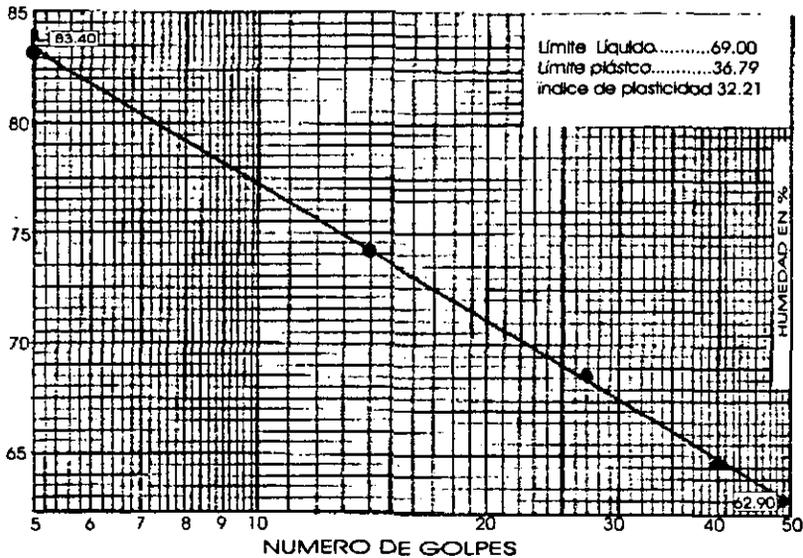
**LIMITE LIQUIDO**

**LIMITE PLASTICO**

LIMITE LIQUIDO							LIMITE PLASTICO							
TARA NO.	TARA + MUES HUMEDA	TARA + MUES SECA	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SECO.	CANTIDAD DE AGUA EN %	NUMERO DE GOLPES	TARA NO.	TARA + MUES HUMEDA	TARA + MUES SECA	PESO TARA	PESO AGUA	PESO SECO.	CANTIDAD DE AGUA EN %
16	36.8	29.14	17.93	7.24	11.21	64.58	40	45	35.66	33.49	27.70	2.17	5.79	37.48
17	37.30	29.42	17.91	7.88	11.51	68.46	27	46	36.52	37.00	32.79	1.52	4.21	36.10
18	42.04	31.88	18.39	10.16	13.69	74.21	14							
44	44.79	35.05	23.34	9.74	11.71	83.17	5							

Clasificación del material, Lc Limo Comprimible

85% con respecto al total, del material menor que la malla No. 40



**TABLA DLCT**

**c) determinación del límite Plástico.**

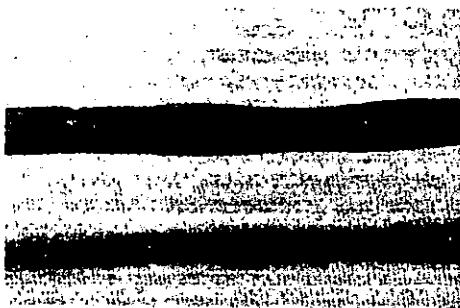
1º Se toma aproximadamente la mitad de la muestra separada en el frasco, según se indicó en la preparación de la muestra, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad óptima de la prueba Próctor; se rueda con la mano sobre una superficie limpia y lisa no absorbente como una placa de vidrio, hasta formar un cilindro de 3.2 mm. de diámetro y de 15 cm. aproximadamente de largo.



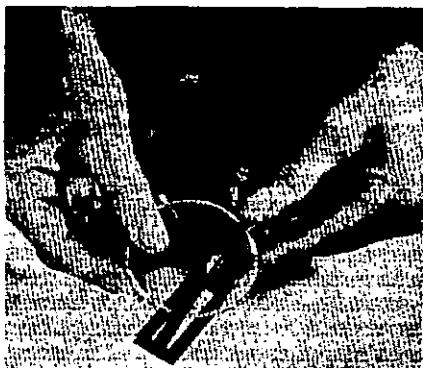
2º Se amasa la tira y se vuelve a rodar, repitiendo la operación tantas veces como se necesite, para reducir, gradualmente, la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empiece a endurecer.



3° El límite plástico se alcanza cuando el cilindro\* se agrieta al ser reducido aproximadamente a 3.2 mm. de diámetro.



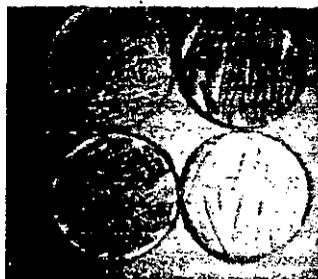
4° Inmediatamente se divide el cilindro y se ponen los pedazos de dos vidrios de reloj engrapándolos con su broche.



5° Se pesa en la balanza de 0.1 g; y se registra este valor en la columna *tara + muestra húmeda* del cuadro correspondiente al límite plástico, **TABLA DLC1**; asimismo se anota *el número de la tara y su peso* en sus columnas respectivas.

6° Con la otra mitad de la muestra se repiten los pasos del 1° al 5° para comprobar la determinación anterior.

7° Se introducen las muestras tomadas en el horno durante 18 hrs. mínimo para su evaporación, se sacan y se dejan enfriar dentro de un desecador, se pesan, anotando el valor en la columna *tara + muestra seca*.



8° Con los datos anteriores se calcula el contenido de agua en %. Si la diferencia de los % no es mayor a 2 se promedian, y en el caso contrario se repite la determinación.

El promedio es el valor en % del Límite Plástico. Lp.

## PERMEABILIDAD



## DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD

### a) Generalidades

En 1856, H. Darcy estableció la ley que rige el flujo del agua a través de los suelos, expresándola 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 : Área de la sección transversal de la muestra.

Esta expresión solo 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.

Con objeto de establecer una base comparativa es conveniente expresar el coeficiente de permeabilidad refiriéndolo a la temperatura de 20 ° C. Si se conoce el valor  $k$ , cualquier temperatura  $T$ , su valor a 20 ° C, será:

$$k_{20^{\circ}} = \frac{u_T}{u_{20^{\circ}}} k_t$$

Siendo  $u$  la viscosidad dinámica del agua. Los valores de  $u_T / u_{20^{\circ}}$  para diferentes temperaturas aparecen en forma de gráfica en la LÁMINA I, y tabulados en la TABLA I.

Enseguida se procede como sigue:

1° Se calienta el agua destilada dentro de un garrafón en "baño maria", hasta que tenga una temperatura aproximada de 35° C.

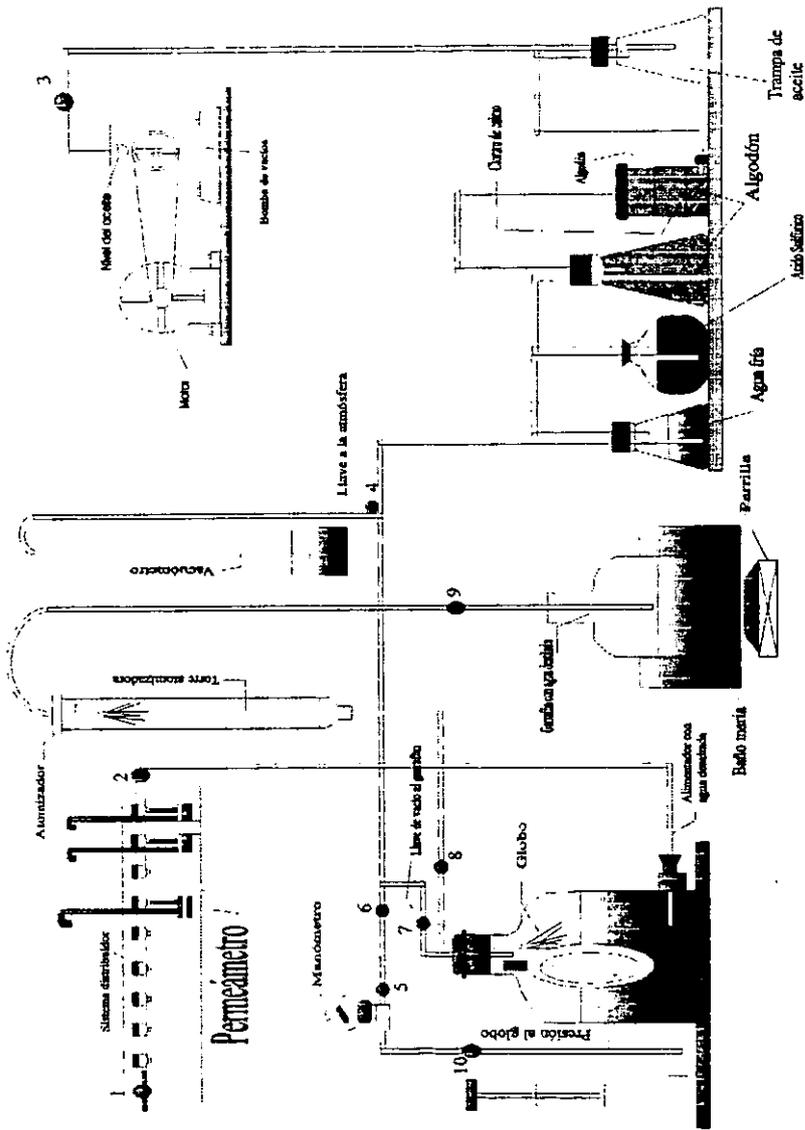
2° Se cierran todas las llaves y se pone en marcha la bomba de vacíos.

3° Se abren las llaves números 3, 6, 7 y 8, para hacer el vacío en el sistema.



El agua que sirve para hacer la determinación en el laboratorio debe ser desaireada, el dispositivo empleado para tenerla se muestra a continuación:

### ESQUEMA DE DISPOSITIVO PARA OBTENER AGUA DESAIREADA



4º Cuando el vacuómetro indique vacío total, se abre un poco la llave número 9, para permitir el paso limitado del agua a la torre atomizadora y trabaje en forma eficiente.

5º Una vez lleno el garrafón de agua **desaireada**, se cierran las llaves 9, 8, 7 y 6.

6º Para suspender el vacío, se cierra la llave 3, se para el motor, se abre lentamente la llave 4 y cuando el sistema quede a la presión atmosférica, se abre lentamente la llave 3.

Una vez **desaireada** el agua se distribuye en el sistema en la forma siguiente:

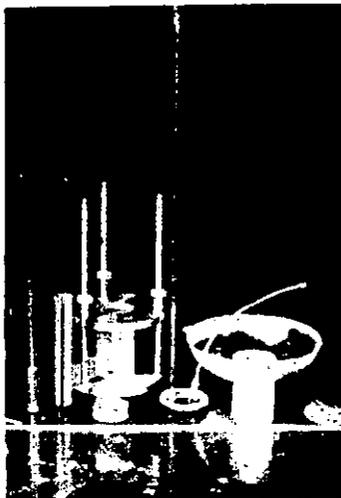
1º Se abren las llaves 5 y 10, se bombea el aire al globo, hasta que la presión sea suficiente para elevar el agua al sistema distribuidor.

2º Se cierra la llave 10, se abren las llaves 2 y 1 poco a poco hasta llenar de agua totalmente el sistema.

3º Una vez lleno el sistema se cierra la llave 1, y puede distribuirse a cada permeámetro por medio de su llave.

### Equipo

- Permeámetro de lucita o de latón: diámetro interior, 5cm, longitud, 10 cm.



- Tapa de lucita o de latón con piezómetro calibrado.
- Dispositivo de compactación.
- Tapón de madera para apoyo de la muestra al compactarla.
- Pisón metálico de 2.5 cm de diámetro y 500 g. de peso.
- Guía de lámina galvanizada de 20 cm.
- Cronómetro.
- Termómetro.
- Malla No. 100 (80.149 mm).

### Procedimiento

1º Se toma un permeámetro previamente numerado calibrado y pesado, anotando estos datos en los renglones respectivos de la tabla de llenado.

2º se sujeta el permeámetro en el dispositivo de compactación.

3º Se prepara el material procurando darle la humedad óptima con 24 horas de anticipación guardándolo en un frasco tapado, se compacta en 3 capas de 3 cm de espesor dándole el número necesario de golpes en cada capa para obtener una relación de vacíos uniforme y aproximada a la óptima Proctor.



Para determinar el número de golpes por cada capa se puede emplearla siguiente fórmula.

$$E = \frac{W_o H_o N}{V_c}$$

En donde:

E : Energía de compactación; en Kg.-cm/cm<sup>3</sup>

Wo : Peso del martillo, en Kg.

Ho : Altura de caída, en cm.

N : Número total de golpes

Vc : Volumen total de la probeta compactada, en cm<sup>3</sup>

teniendo en cuenta los datos del equipo anteriormente descrito,

E = 7.5 Kg.-cm/cm<sup>3</sup> usual de la prueba Proctor.

Wo = 0.500 kg

Ho = 20.0 cm

d probeta = 5.0 cm

h probeta = 3.0 cm

El volumen de la probeta es:

$$Vc = 3.0 \times (5.0)^2 \times 0.7854 = 58.9 \text{ cm}^3$$

Despejando de la fórmula de la energía el número de golpes.

$$N = \frac{E Vc}{WoHo}$$

Sustituyendo

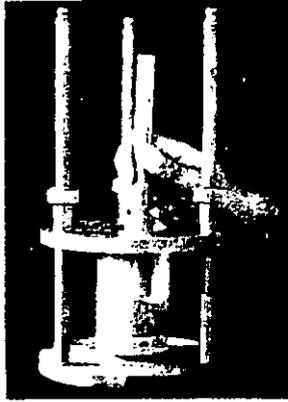
$$N = \frac{7.5 \times 58.9}{0.5 \times 20.} = \frac{441.75}{10} = 44.18$$

Teniendo en cuenta que se compacta en 3 capas, el número de golpes resulta:

$$\frac{44018}{3} = 14.73$$

Por lo que debe darle 15 golpes en cada capa.

4° Con el mismo pisón se nivela la superficie de la muestra, procurando que el espesor sea lo más uniforme posible, limpiándola perfectamente.



5° se mide la longitud inicial  $L_i$  y se anota en el registro respectivo, se pesa el permeámetro con la muestra húmeda anotando su valor en el renglón *peso muestra húmeda + tara*, del mismo registro.

6° Se coloca el permeámetro en el recipiente donde se va hacer la prueba, poniéndole la tapa con su piezómetro calibrado. Se procede a llenarlo con agua desaireada del sistema procurando sacar todas las burbujas de aire, por el tornillo de escape.



es conveniente tener un volumen grande de agua en el recipiente para que las variaciones de temperatura en el permeámetro sean pequeñas y no afecten a las lecturas.

7º Se carga el piezómetro y se hace fluir el agua a lo largo del tubo 2 o 3 veces, durante varios días para saturar el material y establecer el régimen teniendo cuidado de no dejar que el nivel baje tanto que pueda permitir la entrada de aire.

8º Se fijan tres marcas en el piezómetro y se miden cuidadosamente sus distancias al nivel libre del agua en el recipiente. Este nivel se mantiene constante con un vertedor. las distancias entre las marcas varía de 10 a 40 cm, dependiendo de la permeabilidad del material.



9º Para principiar a tomar las lecturas se llena el piezómetro un poco más arriba de la primera marca y cuando el nivel de agua pase por dicha marca  $h_1$ , se toma la hora  $t_1$  y la temperatura  $T$ , anotándolas, justamente con la flecha, en las respectivas columnas del registro.



10° Se espera un tiempo necesario para que el agua del piezómetro descienda y pase por la siguiente marca  $h_2$  y se toma nuevamente la hora  $t_2$ , la temperatura  $T_2$  y la flecha anotándolas en el mismo renglón y en las columnas respectivas.



11° Estas determinaciones se repiten tantas veces como sea necesario para obtener un valor más o menos constante de la permeabilidad.

12° Una vez terminada la prueba, se desconecta el permeámetro del sistema, se mide la altura final  $L_f$ , de la pastilla, se dibuja en el croquis su esquema y se anotan todas las observaciones hechas durante la prueba.

13° Se saca el material del permeámetro, se coloca en una cápsula tarada y numerada, se pesa y se anota *el peso muestra húmeda + tara*, y se introduce al horno para su secado.

## Cálculo

1° Se procede a calcular el contenido de humedad ( $w$ ), tanto de la muestra como del testigo, el peso volumétrico y las relaciones de vacíos inicial y final, para lo cual se sustituye en la fórmula

$$e = \frac{V * S_s - W_s}{W_s}$$

La  $V$  por  $V_i$  y  $V_f$  respectivamente.

2° Se calcula la columna  $\Delta T$ , que es el tiempo transcurrido de  $t_1$  a  $t_2$ , convertido a segundos.

3° La siguiente columna se obtiene dividiendo  $h_1/h_2$ .

4° la columna de  $\text{Log}_{10} h_1/h_2$ , es simplemente el logaritmo de base 10 del cociente anterior.

5° La columna  $P$  se calcula teniendo en cuenta la fórmula:

$$P = \frac{2.3 L * a}{A} \text{Log}_{10} \frac{h_1}{h_2} = k \Delta T$$

En donde:  $A$  = Área interior del piezómetro  
 $a$  = Área interior media del piezómetro

6° La columna  $KT$  se obtiene dividiendo el valor de  $P$ , entre  $\Delta T$  y expresando el cociente en  $10^{-4}$  cm/seg.

7° La columna  $K_{20}$ , se calcula en la forma anteriormente explicada.

$$K_{20} = K_T \frac{U_T}{U_{20}}$$

**VISCOSIDADES DEL AGUA DE 10° A 30 °  
Y RELACIONES UT/U20**

GRADO	UT	UT/U20
10.0	1.3077	1.30119
11.0	1.2713	1.26497
12.0	1.2363	1.23014
13.0	1.2028	1.19681
14.0	1.1709	1.16507
15.0	1.1404	1.13472
16.0	1.1111	1.10557
17.0	1.0828	1.07741
18.0	1.0559	1.05064
19.0	1.0299	1.02477
20.0	1.0050	1.00000
20.2	1.0000	0.99502
21.0	0.9810	0.97611
22.0	0.9579	0.95313
23.0	0.9358	0.93114
24.0	0.9142	0.90965
25.0	0.8937	0.88925
26.0	0.8737	0.86935
27.0	0.8545	0.85024
28.0	0.8360	0.83184
29.0	0.8180	0.81397
30.0	0.8007	0.79671

UT = Viscosidad del agua a T° C  
U20 = Viscosidad del agua a 20 ° C

**TABLA I**

## PROGRAMA DE PERMEABILIDAD

```
10 PRINT " PERMEAMETRO CARGA VARIABLE"
20 INPUT "L=";L:INPUT "a=";a:INPUT "A=";A
80 INPUT "# DE CAL";E
85 DIM KV(E),KT(E)
87 R=0
90 FOR I=1 TO E
92 SET N
95 PRINT "CALCULO # ";I
100 PRINT "Primera lect";
101 INPUT "HORA=";H
102 INPUT "minutos=";M
103 L1=DEG(H,M)
104 INPUT "DÍAS";D
107 Q=D*24-L1
108 SET N
110 PRINT "segunda lect";
111 INPUT "HORA=";h
112 INPUT "minutos=";m
113 L2=DEG(h,m)
130 C=DEG(Q)+DEG(L2)
140 PRINT DMS$(C)
145 DT*60*60
150 PRINT CHR$(239)"T=";DT;"seg"
160 INPUT "h1=";h1
170 INPUT "h2=";h2
175 SET F3
180 PRINT "h1/h2=";h1/h2
185 SET F4
190 PRINT "Log h1/h2=";LOG(h1/h2)
210 P=((2.3*L*a)/A)*LOG(h1/h2)
215 SET F5
220 PRINT "P=";P
230 KT(I)=P/DT
235 SET F6
240 PRINT "KT"=;KT(I)*10000
250 INPUT "UT/U20=";V
255 KV(I)=KT(I)*V*10000
260 PRINT "K20=";KV(I)
265 R=R+KV(I)
270 NEXT I
275 PRINT R
280 INPUT "TERMINA S/N";RS
285 IF RS="S" THEN 300
290 GOTO 87
300 END
```

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

**PERMEABILIDAD CON CARGA VARIABLE**

Procedencia: Miguel Alemán, Ver.  
 Banco: Zona 6      Pozo: e-14  
 Muestra                      Est:

Identificación de lab: Ig-416  
 Profundidad: 1.00 a 2.00 m  
 Fecha: Enero 2007

Clasificación  
**PERMEAMETRO No 3**  
 Area                      A = 20.03 cm<sup>2</sup>  
 Longitud inicial      l<sub>i</sub> = 3.1 cm  
 Longitud final        l<sub>f</sub> = 3.22 cm  
 Volumen inicial      V<sub>i</sub> = 62.09 cm<sup>3</sup>  
 Volumen final        V<sub>f</sub> = 64.50 cm<sup>3</sup>  
 Area Piezométrica   a = 0.114 cm<sup>2</sup>  
 cf = 0.855

Peso muestra húmeda + tara    W<sub>H</sub> + C = 242.3 gr  
 Peso muestra seca + tara      W<sub>s</sub> + C = 216.71 gr  
 Peso agua                        W<sub>w</sub> = 25.59 gr  
 Peso tara No.                    C = 122.00 gr  
 Peso muestra seca                W<sub>s</sub> = 94.71 gr  
 Contenido natural de agua      W = 27.02 %  
 Peso volumétrico seco        ρ<sub>s</sub> = 1539.60 kg/m<sup>3</sup>  
 Densidad                         ρ<sub>s</sub> = 2.725  
 e = 0.786                         e<sub>proctor</sub> = 0.713

h1	h2	T1	T2	11	12	ΔT	h1/h2	log(h1/h2)	P	KT 10E-4	K20 10E-4
40.05	36.40	17.5	19.0	31 de mayo 13-01	01 de junio 12-26	84300	1.100	0.0414	0.00171	0.000202	0.000211
40.50	36.80	18.0	19.0	01 de junio 12-29	02 de junio 11-58	84540	1.100	0.0414	0.00171	0.000202	0.000210
40.05	36.80	18.0	19.0	02 de junio 12-01	04 de junio 10-40	167940	1.088	0.0367	0.00152	0.000090	0.000093
40.00	36.35	18.0	18.5	04 de junio 13-54	05 de junio 11-00	75960	1.100	0.0414	0.00171	0.000225	0.000235
40.00	36.30	18.5	19.0	05 de junio 13-32	06 de junio 10-41	76140	1.102	0.0422	0.00175	0.000223	0.000237
40.00	36.40	19.0	21.0	06 de junio 12-10	07 de junio 8-37	73620	1.098	0.0411	0.00170	0.000231	0.000231
40.00	35.55	20.0	20.5	07 de junio 8-59	08 de junio 9-25	87960	1.125	0.0511	0.00211	0.000240	0.000239
40.00	35.70	20.0	20.0	08 de junio 9-50	09 de junio 8-41	82260	1.120	0.0492	0.00204	0.000248	0.000248
40.00	27.90	19.0	19.5	09 de junio 9-50	11 de junio 8-58	169680	1.434	0.1565	0.00648	0.000382	0.000389
40.00	35.30	18.5	19.0	11 de junio 10-41	12 de junio 10-00	83940	1.133	0.0542	0.00224	0.000267	0.000275

**FÓRMULAS**

$$K_T = \frac{2.3 L a}{A} \frac{l}{\Delta T} \log \frac{h1}{h2} = \frac{P}{\Delta T}$$

$$W_s = \frac{W_H}{1 + \frac{w}{100}}$$

$$e = \frac{V \cdot S_s - W_s}{W_s}$$

$$K_{20} = K_T \frac{U_T}{U_{20}}$$

**PERMEABILIDAD MEDIA**

$$K_{20} = 2.357 \cdot 10^{-8} \text{ cm/s}$$

**CONTENIDO DE AGUA  
TESTIGO**

$$W_H + C = 224.84 \text{ gr}$$

$$W_s + C = 196.74 \text{ gr}$$

$$O.No. 210 = 92.74 \text{ gr}$$

$$W_w = 28.10 \text{ gr}$$

$$W_s = 104.00 \text{ gr}$$

$$W = 27.02 \%$$

**CROQUIS**

Observaciones. durante la prueba se presentó un ligero hinchamiento en la pastilla (3.8%)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

**PERMEABILIDAD CON CARGA VARIABLE**

Procedencia: Miguel Alemán, Ver.  
 Banco: \_\_\_\_\_ Pozo: \_\_\_\_\_  
 Muestra: \_\_\_\_\_ Ess: \_\_\_\_\_

Identificación de lab: \_\_\_\_\_  
 Profundidad: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_

Clasificación  
 PERMEAMETRO No. \_\_\_\_\_  
 Area A = \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>  
 Longitud inicial Li = \_\_\_\_\_ cm  
 Longitud final Lf = \_\_\_\_\_ cm  
 Volumen inicial Vi = \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup>  
 Volumen final Vf = \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup>  
 Area Piezométrica a = \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>  
 cf = \_\_\_\_\_

Peso muestra húmeda + tara WH + C = \_\_\_\_\_  
 Peso muestra seca + tara Ws + C = \_\_\_\_\_  
 Peso agua Ww = \_\_\_\_\_  
 Peso tara No. C = \_\_\_\_\_  
 Peso muestra seca Ws = \_\_\_\_\_  
 Contenido natural de agua W = \_\_\_\_\_  
 Peso volumétrico seco  $\gamma_s$  = \_\_\_\_\_  
 Densidad  $\rho_s$  = \_\_\_\_\_  
 eI = \_\_\_\_\_ e proctor = \_\_\_\_\_

h1	h2	T1	T2	I1	I2	DT	h1/h2	log(h1/h2)	P	KT 10E-4	K20 10E-4

**FORMULAS**

$$K_T = \frac{2.3 L a}{A} \frac{l}{\Delta T} \log \frac{h1}{h2} = \frac{P}{\Delta T}$$

$$W_s = \frac{W_H}{1 + \frac{w}{100}}$$

$$e = \frac{V^* S_s - W_s}{W_s}$$

$$K_{20} = K_T \frac{U_T}{U_{20}}$$

Observaciones. \_\_\_\_\_

**PERMEABILIDAD MEDIA**

$K_{20} = \text{_____ cm/s}$

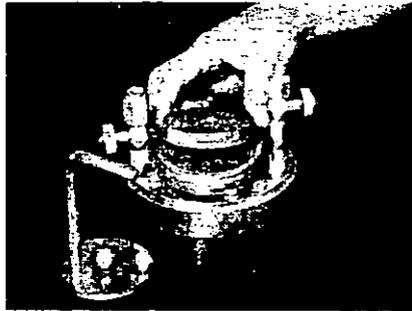
DT =  $\Delta T$   
**CONTENIDO DE AGUA**  
**TESTIGO**

WH + C = \_\_\_\_\_  
 Ws + C = \_\_\_\_\_  
 O.No. = \_\_\_\_\_ gr  
 Ww = \_\_\_\_\_ gr  
 Ws = \_\_\_\_\_ gr  
 W = \_\_\_\_\_ %

**CROQUIS**



# CONSOLIDACIÓN



## CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

### a) Generalidades.

Los materiales que se utilizan en la ingeniería, al aplicarles fuerzas exteriores, sufren deformaciones, de acuerdo con una determinada relación esfuerzo - deformación. A un suelo saturado al que se le aplican fuerzas exteriores se le provoca una deformación, pero ésta no es instantánea. En este caso, se produce un retraso de la deformación con respecto al esfuerzo, como se explica a continuación, y por lo tanto se tiene una relación *esfuerzo - deformación - tiempo*.

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 un 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). En las arcillas francas, que representan un caso límite, el proceso es muy lento, mientras que en una capa de arena limpia, que resulta ser el límite opuesto, el retardo hidrodinámico con que se transfieren los esfuerzos aplicados a la estructura sólida, es muy pequeño. Tratándose de grandes masas de arena y de cargas aplicadas rápidamente el fenómeno debe tomarse en consideración; es el caso de una presa construida con arena, saturada por filtración y sujeta a los efectos de un sismo.

La prueba de consolidación estándar consiste en comprimir verticalmente a 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, debida 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 exclusivamente. Según la teoría de Consolidación, solo es posible un fenómeno de consolidación cuando existe escape de agua hacia el exterior de la masa de suelo. En la práctica también se admite que se genera un proceso similar en masas de suelo que no están 100% saturadas. En estos casos se aplica también la teoría de la Consolidación, teniendo presente que se trata sólo de una interpretación aproximada.

Simultáneamente con el proceso de Consolidación se puede efectuar o no, según se juzgue conveniente, una prueba de permeabilidad de carga variable; o bien, reproducir una condición hidrodinámica adicional, como la que originaría una presión artesiana.

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 dibujada en rayado aritmético (tabla I).

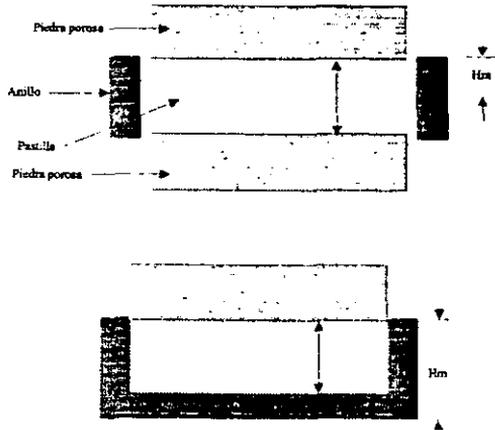
$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} = - \frac{e_2}{p_2} - \frac{e_1}{p_1} \text{ cm}^2/\text{Kg}$$

Donde  $e_1$ ,  $p_1$ , son la relación de vacíos y la presión en una etapa (1) y  $e_2$ ,  $p_2$ , en 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:

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

En donde  $H_m$ : Longitud de la trayectoria de dren más corta en cm, como se muestra en la siguiente figura.



t<sub>50</sub>. tiempo en segundos, correspondiente al 50 % de la consolidación primaria para el incremento de carga considerado.

3° El coeficiente de carga considerado de permeabilidad  $K_m$ . que es igual a;

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

En donde:

$a_v$  y  $C_v$  ya se definieron.

$\gamma_w$ : Peso volumétrico del agua

$e_m$  : 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. por lo tanto,

$$r = \frac{ds - d_{100}}{do - df}$$

En donde:

$ds$  : deformación en el 0% de consolidación primaria.

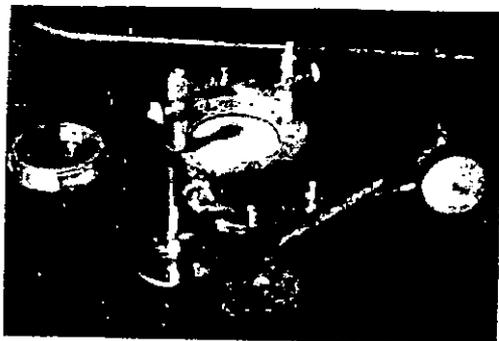
$d_{100}$ : deformación en el 100% de consolidación primaria.

$do$  : deformación final del espécimen. (tomada como la lectura inicial del micrómetro.)

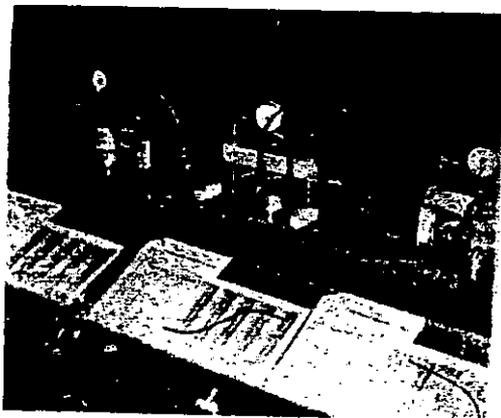
$df$  : deformación final del espécimen. ( Lámina XLIII ) Tomada como la deformación a las 24 horas de iniciada la prueba.

## Equipo

- Consolidómetro compuesto de: anillo, base con piedra porosa, piezómetro calibrado, placa con puente para apoyar micrómetro, balín, piedra porosa y micrómetro con soporte.



- 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 x 9 x 9 cm.



*Método del torno.* Este método requiere de una plataforma giratoria sobre la cual descansa la muestra, una cuchilla especial y una espátula.



1° Sobre el dispositivo se coloca el trozo de material; con el anillo presentado en la forma que se indica, 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.



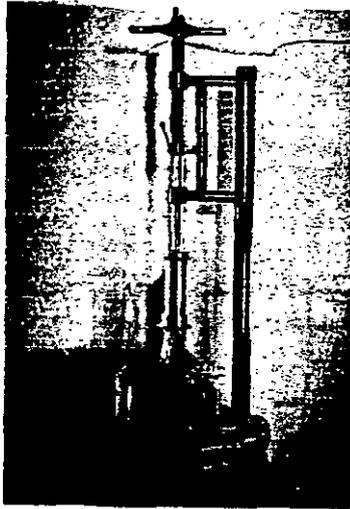
3° Se enrasan las caras de la probeta cortando el material sobrante con el alambre acerado montado en un arco.



4° Si con la operación anterior, las caras del espécimen han quedado desniveladas 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.



Método del cortador circular. se emplea cuando la dureza del material no permite utilizar el procedimiento anterior. el aparato consta de una plataforma que tiene un soporte, en el cual se fija una guía y una tuerca donde un vástago con un tramo roscado y maneral, sirve para hacer subir o bajar un cilindro hueco provisto de una cuchilla circular en el extremo opuesto a su unión con el vástago. En el interior del dispositivo, entre la cuchilla y el cilindro, se coloca el anillo que dará forma a la probeta. La cuchilla se va hincando sobre la muestra, previamente desbastada en forma tronco cónica, hasta obtener una pastilla de dimensiones poco mayores que el anillo.



Se repiten los pasos 2,3 y 4.

5º Para evitar pérdidas de humedad mientras se pesa la muestra y se anotan los datos en el registro lamina B

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL

### LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Procedencia: Presidente Miguel Alemán Ver.      Identificación de lab: Ing-416  
 Banco: Zona 6      Pozo: E14      Profundidad: 1.00 a 2.00 m  
 Muestra: Remoldeada ..... Est      Fecha: Mayo de 2000

### CONSOLIDACION DATOS GENERALES

Aparato No. 1

Prueba No. 1

#### DATOS INICIALES

Peso anillo No. 361.94 gr      Peso probeta + anillo = 503.20 gr.  
 Peso Probeta saturada + anillo = 503.20 gr.  
 Peso probeta + anillo después de consolidada = 503.81 gr.  
 Peso cápsula No. 210 229.63 gr      Peso probeta seca + capsula = 338.60 gr.  
 Espesor inicial = 1.50 cm      Diámetro = 7.97 cm      Area = 49.89 cm<sup>2</sup>

#### GENERALES

Li = 69.00	%If =	0.205	Ic =	14.490 %
Lp = 36.79	%It =	1.571	%Cs =	1.602 %
Ip = 32.21	%Lc =	22.300	%SS =	2.725

#### ANTES DE CONSOLIDACION

W<sub>H</sub> = 141.26      gr V<sub>t</sub> = 74.84      cm<sup>3</sup>      W = 29.63 %  
 W<sub>s</sub> = 108.97      gr. V<sub>s</sub> = 39.99      cm<sup>3</sup>      e = 0.871  
 W<sub>w</sub> = 32.29      gr. V<sub>v</sub> = 34.85      cm<sup>3</sup>      G = 92.65 %

#### DESPUES CONSOLIDACION

W<sub>H</sub> = 141.87      gr. Ef = 1.443      cm      W = 30.19 %  
 W<sub>s</sub> = 108.97      gr. V<sub>t</sub> = 71.99      cm<sup>3</sup>      e = 0.800  
 W<sub>w</sub> = 32.90      gr. V<sub>v</sub> = 31.99      cm<sup>3</sup>      G = 102.84 %

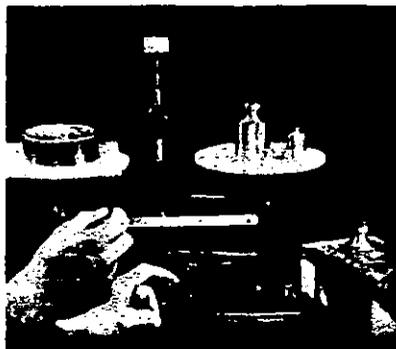
#### CONTENIDO DE AGUA TESTIGO

#### PERMEABILIDAD PIEDRA POROSA

W <sub>H</sub> + C = 257.50	gr.		inicial	final
W <sub>s</sub> + C = 224.00	gr.	W <sub>w</sub> = 33.50 gr.	Carga hidráulica en cm	40.00    20.00
C N° 294-109.78	gr.	W <sub>s</sub> = 114.22 %	Tiempo en segundos	0        2
W =	29.33	%	Permeabilidad en cm/seg	63 * 10 <sup>-4</sup>

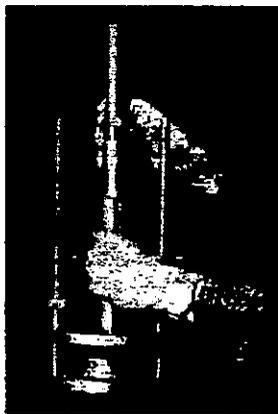
## LAMINA B

Se protegen sus dos caras con vidrios, previamente numerados y tarados, registrados en la misma lámina, se pesa el conjunto en una balanza de 0.1 g de aproximación y se anotan los datos en el registro respectivo.



*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.

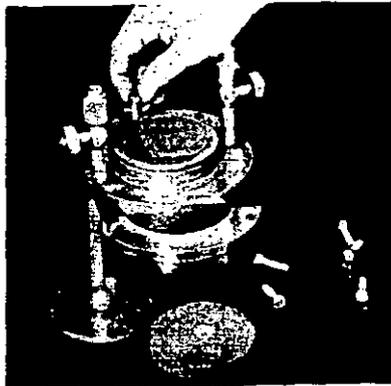


Se repiten los pasos 3 , 4 y 5.

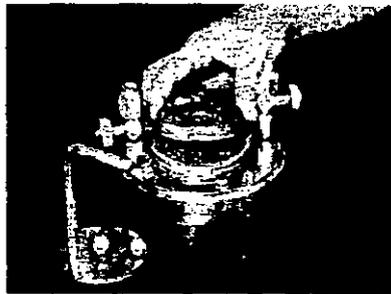
6° Se toma una muestra del mismo material para determinar su contenido de agua, anotando los datos en "contenido de agua testigo" del registro de la lamina B.

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 en "permeabilidad piedra porosa" del registro de la lamina B.

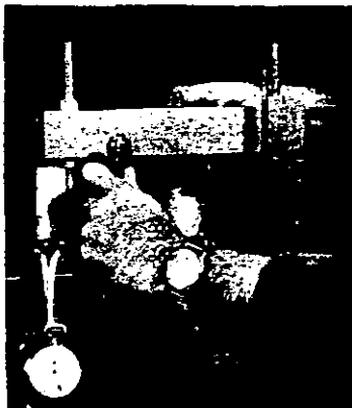
8° Se llenan los drenes de la base y se saturan las piedras porosas del consolidómetro, se retiran los vidrios del anillo con la muestra y se coloca éste en la base, sujetándolo firmemente con unas secciones adecuadas.



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 cavidad hecha para tal objeto tanto en la placa como en el marco. El conjunto debe de estar bien centrado para que coincida con el taladro del marco.



12° Se coloca el soporte del 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 la altura de la piedra porosa superior, procurando no mezclarle más aire del que ordinariamente pueda tener. después de 10 segundos de estar la muestra en contacto con el agua si la manecilla del micrómetro no se ha movido se hechará a andar el micrómetro. Si la manecilla ya se había empezado a mover antes se contará el tiempo a partir de cuando se inició el movimiento



15° Se tomará una serie de lecturas de tiempo y micrómetro, las suficientes para definir completamente la curva de tiempo-deformación. Se dará por terminada esta etapa y se pasará a la siguiente cuando a criterio del operador se considere saturada la muestra. Si el inchamiento, en caso de que lo haya, excede a 50 micras, se enrasará nuevamente el anillo ( Esto si la carga dentro de la saturación es nula), antes de aplicar cualquier carga.

Los datos se anotan en un registro similar al siguiente.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL**  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Procedencia: Presidente Miguel Alemán Ver.      Identificación de lab: Ing-416  
 Banco: Zona 6      Pozo: E14      Profundidad: 1.00 a 2.00 m  
 Muestra: Remoldeada Est      Fecha: Mayo de 2000

**CONSOLIDACION REGISTRO DE CARGA**

Aparato No.

Prueba No. 1

Presión sobre la pastilla  $p=0.500 \text{ kg/cm}^2$   
 Incremento de la presión  $Dp=0.500 \text{ kg/cm}^2$

Presión sobre la pastilla  $p=1.000 \text{ kg/cm}^2$   
 Incremento de la presión  $Dp=0.500 \text{ kg/cm}^2$

FECHA Y		HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	MICROWETRO	DEFORMACION	CORRECCION	
TEMP.	mm			mm	APARATO		
17.9°C	Junio/29/51	08:50	0	11.433	0.000		
			5 seg.	11.329	0.091	0.013	
			10	11.326	0.094	0.013	
			15	11.324	0.096	0.013	
			20	11.323	0.097	0.013	
			25	11.321	0.099	0.013	
			30	11.320	0.100	0.013	
			45	11.318	0.102	0.013	
			1 mn.	11.316	0.104	0.013	
			15	11.313	0.105	0.015	
			2	11.311	0.107	0.015	
			3	11.307	0.111	0.015	
			4	11.305	0.113	0.015	
			6	11.302	0.116	0.015	
			9	11.300	0.116	0.017	
			12	11.298	0.118	0.017	
			16	11.297	0.119	0.017	
			20	11.296	0.120	0.017	
			25	11.296	0.121	0.017	
			30	11.294	0.122	0.017	
			36	11.292	0.123	0.018	
			42	11.292	0.123	0.018	
			49	11.292	0.123	0.018	
			56	11.291	0.124	0.018	
			64	11.291	0.123	0.019	
			72	11.290	0.124	0.019	
			81	11.290	0.124	0.019	
			100	11.289	0.125	0.019	
			H m	120	11.288	0.126	0.019
	Junio/30/51	08:40	1430	11.279	0.132	0.022	
	Julio/1/51	08:19	4289	11.272	0.139	0.022	

FECHA Y		HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	MICROWETRO	DEFORMACION	CORRECCION	
TEMP.	mm			mm	APARATO		
18.2°	Julio/2/51	08:59	0	11.272	0		
			5 seg.	11.196	0.053	0.013	
			10	11.192	0.067	0.013	
			15	11.186	0.072	0.014	
			20	11.183	0.075	0.014	
			25	11.181	0.076	0.015	
			30	11.178	0.079	0.015	
			45	11.174	0.083	0.015	
			1 mn.	11.170	0.086	0.016	
			15	11.165	0.091	0.016	
			2	11.160	0.095	0.017	
			3	11.154	0.101	0.017	
			4	11.149	0.105	0.018	
			6	11.144	0.110	0.018	
			9	11.140	0.112	0.020	
			12	11.137	0.113	0.022	
			16	11.134	0.115	0.023	
			20	11.133	0.116	0.023	
			25	11.131	0.118	0.023	
			30	11.130	0.119	0.023	
			36	11.128	0.121	0.023	
			42	11.127	0.122	0.023	
			49	11.126	0.123	0.023	
			56	11.125	0.124	0.023	
			64	11.124	0.125	0.023	
			72	11.124	0.125	0.023	
			81	11.123	0.126	0.023	
			100	11.122	0.127	0.023	
			H m	120	11.121	0.128	0.023
	Julio/3/51	10:20	1531	11.107	0.140	0.025	

**LAMINA sB**



18° Se aplica el siguiente incremento de carga, que sumado al precedente, origina nueva presión sobre la pastilla. En el ejemplo el incremento de la presión es de  $0.500 \text{ kg/cm}^2$  y la nueva presión sobre la pastilla es de  $1.000 \text{ kg/cm}^2$  se anotan los datos correspondientes a esta etapa tal como se indicó para la anterior, en el paso 16°; un operador coloca en el dispositivo, la carga correspondiente y simultáneamente otro pone en marcha el cronómetro, registrando las lecturas tiempo-deformación de la lámina sB.

19° Se repite el paso 18°, incrementando la presión sobre la pastilla, hasta llegar a obtener una presión sobre la muestra similar a la del problema por resolver.

En el ejemplo la presión final fue de  $8.000 \text{ kg/cm}^2$  y los datos que proporcionó la observación de cada etapa quedaron registradas en las laminas siguientes:

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

Procedencia: Presidente Miguel Alemán Ver.

Identificación de lab: Ing-416

Banco: Zona 6

Pozo: E14

Profundidad: 1.00 a 2.00 m

Muestra: Remoldada.....Est

Fecha: Mayo de 2000

**CONSOLIDACION REGISTRO DE CARGA**

Aparato No.

Prueba No. 1

Presión sobre la pastilla  $p=0.500 \text{ kg/cm}^2$   
Incremento de la presión  $Dp=0.500 \text{ kg/cm}^2$

Presión sobre la pastilla  $p=1.000 \text{ kg/cm}^2$   
Incremento de la presión  $Dp=0.500 \text{ kg/cm}^2$

FECHA Y		HORA H m	TIEMPO TRANSCURRIDO	MICROWETRO mm	DEFORMACION mm	CORRECCION APARATO
TEMP.	TEMP.					
Junio/29/61	17.9°C	0850	0	11.433	0.000	
			5 seg.	11.329	0.091	0.013
			10	11.326	0.094	0.013
			15	11.324	0.096	0.013
			20	11.323	0.097	0.013
			25	11.321	0.099	0.013
			30	11.320	0.100	0.013
			45	11.318	0.102	0.013
			1 mn	11.316	0.104	0.013
			15	11.313	0.105	0.015
			2	11.311	0.107	0.015
			3	11.307	0.111	0.015
			4	11.305	0.113	0.015
			6	11.302	0.116	0.015
			9	11.300	0.116	0.017
			12	11.298	0.118	0.017
			16	11.297	0.119	0.017
			20	11.296	0.120	0.017
			25	11.295	0.121	0.017
			30	11.294	0.122	0.017
			36	11.292	0.123	0.018
			42	11.292	0.123	0.018
			49	11.292	0.123	0.018
			56	11.291	0.124	0.018
			64	11.291	0.123	0.019
			72	11.290	0.124	0.019
			81	11.290	0.124	0.019
			100	11.289	0.125	0.019
		H m	120	11.288	0.126	0.019
Junio/30/61		08:40	1430	11.279	0.132	0.022
Julio/1/61		08:19	4289	11.272	0.139	0.022

FECHA Y		HORA H m	TIEMPO TRANSCURRIDO	MICROWETRO mm	DEFORMACION mm	CORRECCION APARATO
TEMP.	TEMP.					
Junio/2/61	18.2°	0859	0	11.272	0	
			5 seg.	11.196	0.063	0.013
			10	11.192	0.067	0.013
			15	11.186	0.072	0.014
			20	11.183	0.075	0.014
			25	11.181	0.076	0.015
			30	11.178	0.079	0.015
			45	11.174	0.083	0.015
			1 mn	11.170	0.086	0.016
			15	11.165	0.091	0.016
			2	11.160	0.095	0.017
			3	11.154	0.101	0.017
			4	11.149	0.105	0.018
			6	11.144	0.110	0.018
			9	11.140	0.112	0.020
			12	11.137	0.113	0.022
			16	11.134	0.115	0.023
			20	11.133	0.116	0.023
			25	11.131	0.118	0.023
			30	11.130	0.119	0.023
			36	11.128	0.121	0.023
			42	11.127	0.122	0.023
			49	11.126	0.123	0.023
			56	11.125	0.124	0.023
			64	11.124	0.125	0.023
			72	11.124	0.125	0.023
			81	11.123	0.126	0.023
			100	11.122	0.127	0.023
		H m	120	11.121	0.128	0.023
Julio/3/61		10:20	1531	11.107	0.140	0.025

LAMINA sB

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Procedencia: Presidente Miguel Alemán Ver.

Identificación de lab: Ing-416

Banco: Zona 6

Pozo: E14

Profundidad: 1.00 a 2.00 m

Muestra: Remoldeada Est

Fecha: Mayo de 2000

### CONSOLIDACION REGISTRO DE CARGA

Aparato No. 1

Prueba No. 1

Presión sobre la pastilla  $p=2.000 \text{ kg/cm}^2$   
Incremento de la presión  $Dp=1.000 \text{ kg/cm}^2$

Presión sobre la pastilla  $p=4.000 \text{ kg/cm}^2$   
Incremento de la presión  $Dp=2.000 \text{ kg/cm}^2$

FECHA Y						
TEMP.	HORA	TIEMPO	MICROMETRO	DEFORMACION	CORRECCION	
17.8°C	H m	TRANSCURRIDO	mm	mm	APARATO	
		0	11.107	0.000		
		5 seg.	10.957	0.120	0.028	
		10	10.946	0.132	0.029	
		15	10.937	0.141	0.029	
		20	10.932	0.146	0.029	
		25	10.926	0.151	0.030	
		30	10.922	0.155	0.030	
		45	10.912	0.165	0.030	
		1 mn.	10.904	0.173	0.030	
		1.5	10.893	0.183	0.031	
		2	10.883	0.193	0.031	
		3	10.871	0.205	0.031	
		4	10.862	0.213	0.032	
		6	10.852	0.223	0.032	
		9	10.844	0.231	0.032	
		12	10.839	0.236	0.032	
		16	10.836	0.239	0.032	
		20	10.834	0.241	0.032	
		25	10.832	0.243	0.032	
		30	10.831	0.244	0.032	
		36	10.829	0.245	0.033	
		42	10.828	0.246	0.033	
		49	10.827	0.247	0.033	
		56	10.826	0.248	0.033	
		64	10.826	0.248	0.033	
		72	10.825	0.249	0.033	
		81	10.824	0.250	0.033	
		100	10.823	0.251	0.033	
		H m.	120	10.821	0.253	0.033
4-VI-51	08:15	1268	10.808	0.260	0.039	

FECHA Y					
TEMP.	HORA	TIEMPO	MICROMETRO	DEFORMACION	CORRECCION
18.6°C	H m	TRANSCURRIDO	mm	mm	APARATO
		0	10.808	0	
		5 seg.	10.626	0.143	0.039
		10	10.606	0.162	0.040
		15	10.594	0.174	0.040
		20	10.584	0.183	0.041
		25	10.575	0.192	0.041
		30	10.568	0.199	0.041
		45	10.551	0.216	0.041
		1 mn.	10.538	0.229	0.041
		1.5	10.518	0.248	0.042
		2	10.502	0.264	0.042
		3	10.483	0.282	0.043
		4	10.471	0.294	0.043
		6	10.457	0.307	0.044
		9	10.447	0.317	0.044
		12	10.442	0.322	0.044
		16	10.439	0.324	0.045
		20	10.436	0.327	0.045
		25	10.433	0.330	0.045
		30	10.431	0.332	0.045
		36	10.429	0.334	0.045
		42	10.427	0.336	0.045
		49	10.425	0.338	0.045
		56	10.424	0.339	0.045
		64	10.423	0.340	0.045
		72	10.420	0.343	0.045
		81	10.420	0.342	0.046
		100	10.418	0.344	0.046
		120	10.417	0.345	0.046
		1348	10.405	0.350	0.053

## LAMINA C

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Procedencia: Presidente Miguel Alemán Ver.      Identificación de lab: Ing-416  
 Banco: Zona 6      Pozo: E14      Profundidad: 1.00 a 2.00 m  
 Muestra: Remoldada Est      Fecha: Mayo de 2000

### CONSOLIDACION REGISTRO DE CARGA

Aparato No. 1

Prueba No. 1

Presión sobre la pastilla $p=0.500 \text{ kg/cm}^2$ Incremento de la presión $Dp=0.500 \text{ kg/cm}^2$	Presión sobre la pastilla $p=1.000 \text{ kg/cm}^2$ Incremento de la presión $Dp=0.500 \text{ kg/cm}^2$
--	--

FECHA Y		HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	MICROMETRO mm	DEFORMACION mm	CORRECCION APARATO
TEMP.	TEMP.					
5-VII-51	17.8°C	09:54	0	10.406	0.000	
			5 seg.	10.229	0.086	0.020
			10	10.288	0.097	0.020
			15	10.281	0.104	0.020
			20	10.275	0.109	0.021
			25	10.269	0.115	0.021
			30	10.266	0.119	0.021
			45	10.253	0.131	0.021
			1 mn.	10.243	0.141	0.021
			1.5	10.229	0.156	0.021
			2	10.217	0.167	0.021
			3	10.202	0.182	0.021
			4	10.192	0.192	0.021
			6	10.180	0.203	0.022
			9	10.169	0.214	0.022
			12	10.166	0.218	0.022
			16	10.161	0.222	0.022
			20	10.158	0.225	0.022
			25	10.156	0.227	0.022
			30	10.153	0.230	0.022
			36	10.151	0.232	0.022
			42	10.150	0.233	0.022
			49	10.148	0.235	0.022
			56	10.147	0.236	0.022
			64	10.145	0.238	0.022
			72	10.144	0.238	0.023
			81	10.143	0.239	0.023
			100	10.142	0.240	0.023
		H m	120	10.140	0.242	0.023
6-VII-1951	08:17		1343	10.124	0.256	0.025

FECHA Y		HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	MICROMETRO mm	DEFORMACION mm	CORRECCION APARATO
TEMP.	TEMP.					
6-VII-1951	17.8°C	09:58	0	10.124	0	
			5 seg.	10.070	0.034	0.020
			10	10.060	0.043	0.020
			15	10.056	0.048	0.020
			20	10.051	0.052	0.021
			25	10.047	0.056	0.021
			30	10.044	0.059	0.021
			45	10.035	0.068	0.021
			1 mn.	10.028	0.075	0.021
			1.5	10.018	0.085	0.021
			2	10.011	0.092	0.021
			3	9.998	0.105	0.021
			4	9.991	0.112	0.021
			6	9.982	0.120	0.022
			9	9.973	0.129	0.022
			12	9.968	0.134	0.022
			16	9.964	0.138	0.022
			20	9.960	0.142	0.022
			25	9.956	0.146	0.022
			30	9.954	0.148	0.022
			36	9.952	0.150	0.022
			42	9.950	0.152	0.022
			49	9.948	0.154	0.022
			56	9.946	0.156	0.022
			64	9.944	0.158	0.022
			72	9.943	0.159	0.023
			81	9.942	0.161	0.023
			100	9.940	0.164	0.023
		H m	120	9.937	0.164	0.023
7-VII-1951	08:08		1320	9.919	0.180	0.025

LAMINA D

## **20° Descarga.**

El proceso de descarga se efectúa, generalmente, en forma inversa al de la carga, o sea que la carga máxima aplicada se reduce a la mitad y así sucesivamente hasta obtener una presión nula sobre la pastilla. En ocasiones y de acuerdo con el problema que se estudia, la descarga se puede llevar a cabo en otra forma. Se anota en el registro de descarga, la presión, la fecha, hora y lectura inicial del micrómetro.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

Procedencia: Presidente Miguel Alemán Ver.

Identificación de lab: Ing-416

Banco: Zona 6

Pozo: E14

Profundidad: 1.00 a 2.00 m

Muestra.....Remoldeada.....Est

Fecha: Mayo de 2000

**CONSOLIDACION REGISTRO DE DESCARGA**

Aparato No. 1

Prueba No. 1

PRESION	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	MICROMETRO	DEFORMACION	CORRECCION	PRESION	HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO	MICROMETRO	DEFORMACION	CORRECCION		
			mm	mm	APARATO				mm	mm	APARATO		
P=8.000 kg/cm. <sup>2</sup> ▲p=4.000 kg/cm. <sup>2</sup>	7-VII-1951	0.369	0 seg	9.919	0.000	P=0.25 kg/cm. <sup>2</sup>	10-VII-51	0.399	0 seg	10.321	0.000		
			15	9.966	0.027				0.020	15.000	10.436	0.104	0.011
			60 mn	9.984	0.031				0.034	60 mn	10.474	0.137	0.011
			90	9.986	0.033				0.034	90	10.488	0.151	0.016
P=4.000 kg/cm. <sup>2</sup> ▲p=2.000 kg/cm. <sup>2</sup>	7-VII-1951	0.483	0 seg	9.986	0.000	P=0.125 kg/cm. <sup>2</sup>	11-VII-51	0.476	0 seg	10.488	0.000		
			15	10.071	0.055				0.030	15.000	10.599	0.102	0.009
			60 mn	10.090	0.062				0.042	60 mn	10.626	0.123	0.015
			90	10.097	0.069				0.042	90	10.666	0.163	0.015
P=2.000 kg/cm. <sup>2</sup> ▲p=1.000 kg/cm. <sup>2</sup>	8-VII-51	0.358	0 seg	10.097	0.000	P=0.0 kg/cm. <sup>2</sup>	12-VII-51	0.375	0 seg	10.666	0.000		
			15.000	10.149	0.029				0.023	15	10.715	0.039	0.010
			60 mn	10.174	0.045				0.032	60 mn	10.811	0.131	0.014
			90	10.194	0.065				0.032	90	10.857	0.164	0.027
P=1.000 kg/cm. <sup>2</sup> ▲p=0.500 kg/cm. <sup>2</sup>	9-VII-51	0.458	0 seg	10.194	0.000								
			15	10.234	0.023	0.017							
			60 mn	10.287	0.071	0.022							
			90	10.321	0.105	0.022							

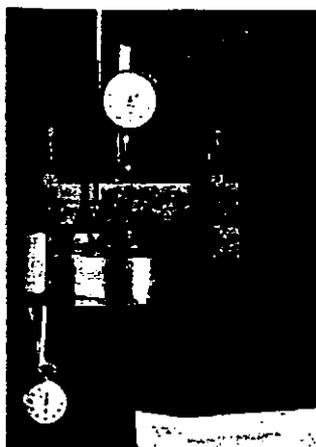
**LAMINA F**

Al tiempo que un operador quita la carga del dispositivo, otro pone en marcha el cronómetro principia a tomar lecturas simultáneas para tiempo y recuperación hasta definir la curva. Cuando se ha descargado totalmente, se deja que la pastilla se recupere hasta observar que la diferencia de lecturas del micrómetro sea pequeña.

21° Si se juzga conveniente, puede determinarse la permeabilidad de la muestra con diferentes relaciones de vacíos. Daremos un ejemplo, utilizando el método de carga variable.

Se determina la permeabilidad con la relación de vacíos inicial (antes de aplicar la carga, y después, al finalizar completamente la consolidación para cada presión, o bien al terminar la recuperación en cada descarga. Para ellos se inyecta agua destilada y desaireada, por la llave libre, hasta subir el nivel piezométrico; desconectando el abastecimiento de agua. Se dejará que el piezómetro baje y salga el agua por la llave libre, arrastrando el poco aire que ésta pudiera tener.

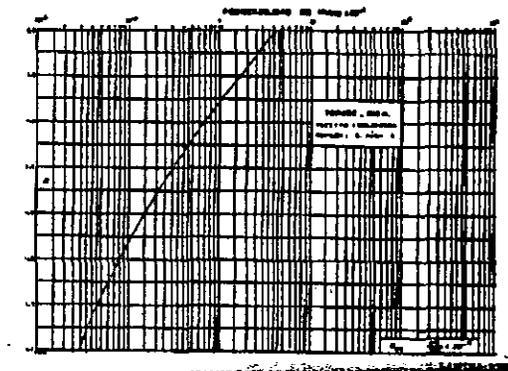
22° Seguros de que no existen burbujas de aire que alteran los resultados, se hará subir el nivel piezométrico a una altura de 10 a 40 cm; de acuerdo con el tipo de material de que se trate, para que no cause arrastre o canalizaciones en la pastilla.



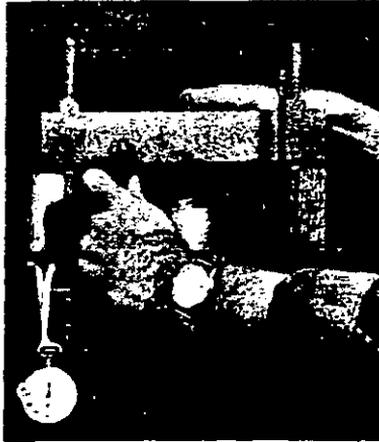
23° Establecida y marcada sobre el tubo la carga piezométrica adecuada, se seguirá el mismo procedimiento utilizado en una prueba de permeabilidad con carga variable.



24° Con los datos de permeabilidad obtenidos en las distintas etapas de consolidación, se construye una gráfica de relación de vacíos-permeabilidad.



25° Una vez hechas todas las determinaciones, se procede a desmontar la pastilla, quitando el piezómetro, el micrómetro, la placa con puente y balín, y finalmente se saca del banco de consolidación el anillo con la pastilla.



26° Se desarma el consolidómetro para sacar el anillo con la muestra consolidada; en caso de estar húmedo el anillo de bronce se seca y se pesa juntamente con la muestra húmeda, anotando el valor en Datos Generales de la lámina B en el renglón *Peso probeta + anillo* después de consolidada.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Procedencia: Presidente Miguel Alemán Ver.      Identificación de lab: Ing-416  
 Banco: Zona 6      Pozo: E14      Profundidad: 1.00 a 2.00 m  
 Muestra: Remoldeada ..... Est      Fecha: Mayo de 2000

### CONSOLIDACION DATOS GENERALES

Aparato No. 1      Prueba No. 1

#### DATOS INICIALES

Peso anillo No. 361.94 gr      Peso probeta + anillo = 503.20 gr.  
 Peso Probeta saturada + anillo = 503.20 gr.  
Peso probeta + anillo después de consolidada = 503.81 gr.  
 Peso cápsula No. 210 229.63 gr      Peso probeta seca + capsula = 338.60 gr.  
 Espesor inicial = 1.50 cm      Diámetro = 7.97 cm      Área = 49.89 cm<sup>2</sup>

#### GENERALES

LI = 69.00      %If = 0.205      Ic = 14.490 %  
 Lp = 36.79      %It = 1.571      %Cs = 1.602 %  
 Ip = 32.21      %Lc = 22.300      %SS = 2.725

#### ANTES DE CONSOLIDACION

$W_H = 141.26$  gr       $V_t = 74.84$  cm<sup>3</sup>       $W = 29.63$  %  
 $W_s = 108.97$  gr       $V_s = 39.99$  cm<sup>3</sup>       $e = 0.871$   
 $W_w = 32.29$  gr       $V_v = 34.85$  cm<sup>3</sup>       $G = 92.65$  %

#### DESPUES CONSOLIDACION

$W_H = 141.87$  gr       $E_f = 1.443$  cm       $W = 30.19$  %  
 $W_s = 108.97$  gr       $V_t = 71.99$  cm<sup>3</sup>       $e = 0.800$   
 $W_w = 32.90$  gr       $V_v = 31.99$  cm<sup>3</sup>       $G = 102.84$  %

#### CONTENIDO DE AGUA TESTIGO

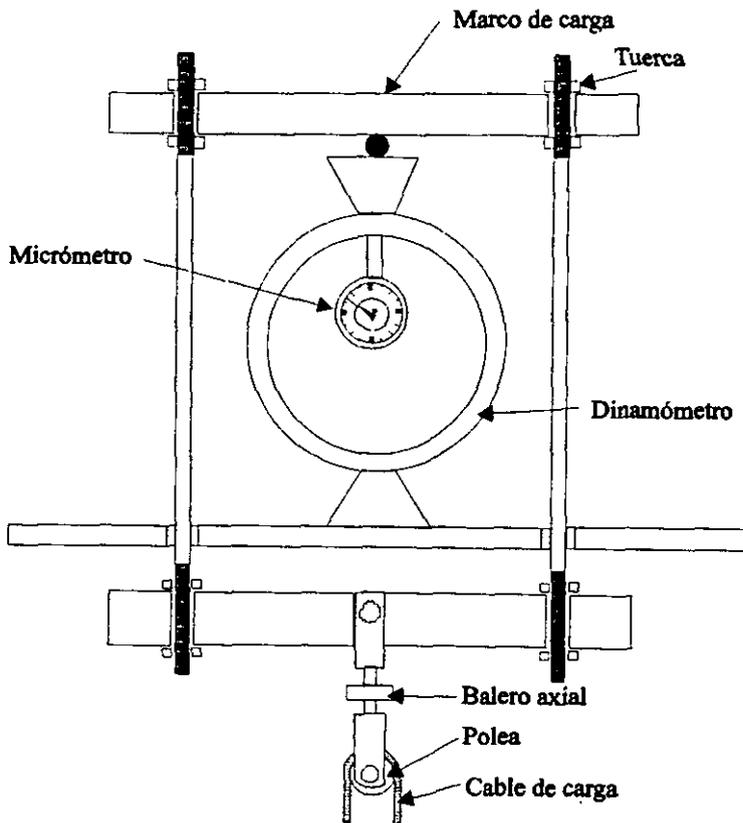
#### PERMEABILIDAD PIEDRA POROSA

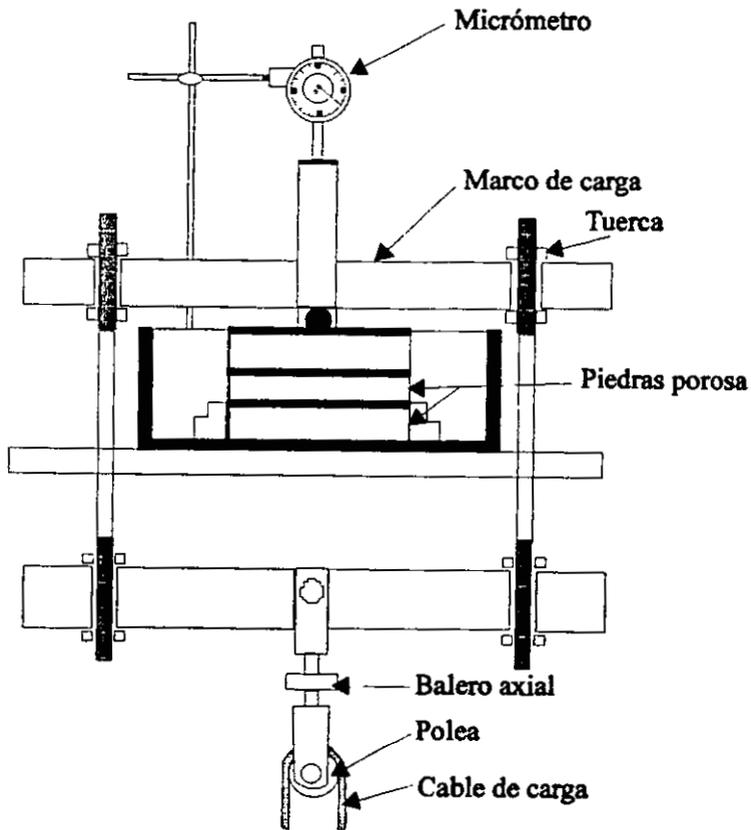
$W_H + C = 257.50$  gr.      inicial final  
 $W_s + C = 224.00$  gr.       $W_w = 33.50$  gr.      Carga hidráulica en cm      40.00      20.00  
 $C N^{\circ} 294-109.78$  gr.       $W_s = 114.22$  %      Tiempo en segundos      0      2  
 $W = 29.33$  %      Permeabilidad en cm/seg       $63 \times 10^{-4}$

## LAMINA B

27º Se pasa la probeta del anillo a una cápsula numerada y tarada, procurando no perder material y se introduce en el horno a 110° C durante 18 horas mínimo, para su secado. Finalmente se saca del horno, colocándola dentro de un desecador para que se enfríe y se vuelve a pesar, anotando este valor en *Peso probeta seca + cápsula* de la misma lámina.

### Banco de consolidación





**C) cálculo.**

1º en el registro de datos generales del ensayo (lámina B), se calcula la humedad, la relación de vacíos y el grado de saturación G, antes y después de la consolidación, de la siguiente manera:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde  $W_w$ , peso del agua, y  $W_s$ , peso de los sólidos.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Donde  $V_v$ , Volumen de vacíos, y  $V_s$ , Volumen de sólidos.  
por otra parte,

$$V_s = \frac{W_s}{S_s} \quad \text{y} \quad V_v = V_T - V_s$$

En donde  $S_s$  es la densidad de los sólidos, y  $V_T$ , el volumen total de la muestra.

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

2° La deformación (láminas **sB,C,D**), Se calcula restando de la lectura inicial del micrómetro, las subsecuentes lecturas y a cada diferencia se le resta la deformación del aparato. Ejemplo:

En la **LÁMINA sB**, primer incremento de carga, tenemos:

Lectura inicial del micrómetro	11.433 mm
Lectura subsecuente del micrómetro	<u>11.329 mm</u>
Diferencia	0.104 mm
Corrección del aparato	<u>0.013 mm</u>
Deformación	0.091 mm

\*Es conveniente tomar lecturas durante las 48 horas, en cada incremento.

3° La recuperación (Lámina **F**), se calcula haciendo la diferencia entre las lecturas del micrómetro en cada tiempo, y la lectura inicial y a este resultado se le resta su correspondiente corrección de aparato. Ejemplo:

En la lámina **F**, primer decremento tenemos.

Lectura del micrómetro a los 15 seg.	9.966 mm
Lectura inicial del micrómetro, 0 seg.	9.919 mm
Diferencia	<u>0.047 mm</u>
Corrección aparato	<u>0.020 mm</u>
Recuperación	0.027 mm

4° A cada etapa de carga le corresponde una serie de valores tiempo-deformación que permiten construir una curva sobre rayado semilogarítmico cuyas abscisas (escala logarítmica) representan el tiempo en minutos y cuyas ordenadas (escala aritmética), representan la

deformación en milímetros.

En ocasiones no es posible, mediante esta curva, definir las características del suelo en estudio y entonces se recurre con los mismos datos de la anterior al trazo de una curva  $\sqrt{\text{tiempo-deformación}}$ , en rayado aritmético.

5° La curva elegida es la dibujada en el rayado semilogarítmico, LÁMINA XLIII, en ella puede obtenerse el 0% teórico de consolidación como se explica enseguida: se escoge un punto sobre la curva, próximo al eje de las deformaciones, se observa el tiempo que, como abscisa, le corresponde y se busca sobre la curva el punto cuya abscisa sea cuatro veces la del punto originalmente elegido. La diferencia de ordenadas entre ambos puntos se duplica y este valor se lleva a partir del segundo punto mencionado, sobre una paralela al eje de las ordenadas, obteniéndose de este modo el tercer punto por el cual se hará pasar una paralela al eje de los tiempos que es la que define el 0% teórico de consolidación.

El 100% teórico de consolidación queda definido por la intersección de la tangente al tramo central de la curva con la asíntota del tramo final de la misma.

definidos el 0% y el 100% teóricos de consolidación, al punto medio del segmento entre ambos corresponderá el 50% teórico de consolidación. El tiempo correspondiente a este porcentaje de consolidación  $T_{50}$  quede determinado por la abscisa del punto de intersección entre la curva y la paralela. eje de los tiempos, trazada por el punto medio del segmento aludido.

6° Si la gráfica empleada es la de rayado aritmético, se definirá el tiempo que corresponda al 90% de consolidación  $T_{90}$ , siguiendo los pasos con respecto a la tabla de Permeabilidad con carga variable.

De la curva  $\sqrt{t - \text{deformación}}$  (Lámina XLIV) Se obtiene el  $T_{90}$  mediante el método que sigue; se traza una línea que comprenda la sección recta de la curva en cuestión. Tomando dos o más puntos de dicha línea recta, se multiplican sus abscisas correspondientes por la constante 1.15 x estos productos nos dan las abscisas de otros tantos puntos con los cuales trazaremos una segunda recta. La intersección de esta con la curva de nuestro trazo  $\sqrt{t - \text{deformación}}$ , nos define con su abscisa el tiempo que corresponde al 90% de consolidación  $T_{90}$ .

7° En el resumen general del cálculo de una prueba de consolidación se reúnen todos los datos de carga y descarga obtenidos durante el proceso. En la primera columna se registra la temperatura correspondiente a cada etapa.

8° En la columna "presión" se registran todos los incrementos de presión, a partir de cero y todos los decrementos de la descarga, hasta llegar nuevamente a cero.

9° La columna "Relación de consolidación primaria r" se calcula, para cada etapa de carga, con la fórmula dada ya en generalidades. Ejemplo para la presión de 4 Kg. de la lámina XLIII.

$$r = \frac{0.104 - 0.342}{0 - 0.348} = \frac{-0.238}{-0.348} = 0.648$$

10° La columna de "deformación lineal  $\delta$ , en mm.", se forma de la siguiente manera: a una presión nula le corresponde una deformación cero (primer renglón); al primer incremento de presión le corresponde una deformación dada que en nuestro ejemplo es de 0.139 mm.; al segundo incremento de carga le corresponde otra deformación en nuestro caso de 0.140 mm; que sumada a la deformación del primer incremento de presión nos da la deformación acumulativa correspondiente al siguiente incremento de presión y así sucesivamente, en la inteligencia de que al llegar a la etapa de descarga, dicha deformación en lugar de sumarse deberá restarse en cada caso por ser de signo contrario a la deformación obtenida en la etapa de carga.

11° La deformación unitaria ( $\epsilon$ ) en %, se calcula dividiendo la deformación lineal ( $\delta$ ) de cada renglón entre el espesor inicial (2H1) y multiplicando por 100. Ejemplo:

$$\epsilon = \frac{0.139}{15.00} \times 100 = 0.93\%$$

12° El espesor comprimido (2H) en mm; es, para cada renglón, igual al espesor inicial (2H1) menos la deformación lineal correspondiente. Ejemplo:

$$2H = 15.000 - 0.139 = 14.861$$

$$2H = 15.000 - 0.279 = 14.721$$

13° Para calcular la columna ( 2H - 2Ho ) en mm; previamente se obtiene el valor del espesor de los sólidos ( 2Ho ), que será constante si no hay pérdida de material durante el proceso:

$$2H_o = \frac{W_s * 10}{\gamma_w S_s A_c} \text{ (mm.)}$$

Donde  $W_s$  es el peso de los sólidos en g;  $\gamma_w$ , peso volumétrico del agua a la temperatura de prueba en  $g/cm^3$ ,  $S_s$  densidad de los sólidos y  $A_c$  área de la pastilla en  $cm^2$ . Ejemplo:

$$2H_o = \frac{108.97 \times 10}{0.9986 \times 2.725 \times 49.89} = \frac{1089.7}{135.76} = 8.027 \text{ mm.}$$

Y con este valor tenemos:

$$2H - 2H_o = 14.861 - 8.027 = 6.834 \text{ mm.}$$

14° La relación de vacíos ( e ) se calcula con la fórmula que aparece en la columna correspondiente. Ejemplo:

$$e = \frac{6.834}{8.027} = 0.851$$

15° La columna "Hm. en cm." se calcula teniendo en cuenta las condiciones de drenes que se hayan utilizado. En este caso se utilizaron dos drenes y la forma de calcularla es sumar los espesores comprimidos en cada dos incrementos y dividir entre cuatro. Ejemplos:

$$H_m = \frac{15.000 + 14.861}{4} = 0.746 \text{ cm}$$

$$H_m = \frac{14.861 + 14.721}{4} = 0.739 \text{ cm}$$

16° Se elevan al cuadrado los valores de  $H_m$  y se obtiene  $H_m^2$  en  $cm^2$ . Ejemplo:

$$H_m^2 = 0.746 \times 0.746 = 0.557 \text{ cm}^2$$

17° En la siguiente columna se anotan los valores de  $T_{50}$  en seg.; obtenidos de las gráficas tiempo - deformación y haciendo la conversión a segundos.

18° El coeficiente de compresibilidad  $a_v$  en  $\text{cm}^2/\text{Kg}$ ; se calcula con la fórmula ya establecida:

$$a_v = \frac{e_2 - e_1}{P_2 - P_1}$$

Ejemplo:

$$a_v = \frac{0.851 - 0.869}{0.500 - 0} = \frac{-0.018}{0.500} = 0.36 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

19° La columna del coeficiente de consolidación  $C_v$  en  $\text{cm}^2/\text{seg}$ ; se calcula con la fórmula siguiente:

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

Ejemplo:

$$C_v = \frac{0.197 \times 0.546}{50} = 0.00215 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

Para  $H_m = 0.739 \text{ cm}$ , y  $T_{50} = 50 \text{ seg}$ ; expresándolo en  $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{seg}$  queda:

$$C_v = 21.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{seg}$$

Si la curva tiempo - deformación se hizo en rayado aritmético, el coeficiente de consolidación  $C_v$  se calcula con la siguiente expresión:

$$C_v = \frac{0.848 H_m^2}{T_{90}} \text{ cm}^2/\text{seg}$$

Ejemplo: de la lámina XLIV ( presión de  $4.00 \text{ kg/cm}^2$  ), tenemos:

$$C_v = \frac{0.848 \times 0.510}{2.16 \times 60} = 0.003337 \text{ cm}^2 / \text{seg}$$

20° La siguiente columna , se calcula efectuando el promedio de las relaciones de vacíos de dos etapas consecutivas.

Ejemplo:

$$e_m = \frac{0.869 + 0.851}{2} = 0.860$$

21° El valor del coeficiente de permeabilidad media deducida , se obtiene con la formula siguiente:

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

Ejemplo:

$$K_m = \frac{0.00215 \times 0.034 \times 0.9986}{(1 + 0.843) 1000} = \frac{0.000 072 998}{1 843}$$

$$K_m = 0.0000000396 = 0.000396 \times 10^{-4} \text{ cm/seg}$$

22° La columna  $P_m$  en  $\text{Kg/cm}^2$  , es el promedio de las presiones de dos incrementos consecutivos.

Ejemplo:

$$P_m = \frac{0 + 500}{2} = 0.250 \text{ kg / cm}^2$$

23° Las curvas deformación unitaria - tiempo que se muestran en la lámina XLIV se obtienen colocando los puntos deformación unitaria acumulativa - tiempo para cada etapa de carga. La deformación unitaria acumulativa, se calcula con la fórmula.

$$\epsilon = \frac{\delta}{2 H_1} \times 100$$

en donde  $\delta$  en mm, es la deformación lineal acumulativa y  $2H_1$ , el espesor inicial de los sólidos, lámina XLVI.

24° En la lámina XLVIII, de rayado semilogarítmico, se dibujan las curvas: relaciones de vacíos - presiones ( en carga y descarga), coeficientes de consolidación primaria - presiones medias, con los datos registrados en la lamina XLV.

De la gráfica relación de vacíos - presiones, se obtiene la carga de preconsolidación  $P_1$  en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  de la manera siguiente:

Se toma el punto de máxima curvatura de la rama de carga, por dicho punto se dibuja una línea tangente y otra paralela al eje de las presiones, se traza la bisectriz del ángulo que forman estas dos rectas.

En la parte final de la rama de carga se traza una asíntota y la abscisa del punto de intersección de esta recta con la bisectriz, define la carga de preconsolidación.

En esta misma gráfica, se obtienen los índices de compresión  $C_c$  y de expansión  $C_e$  con las siguientes expresiones:

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log P_3 - \log P_2} \quad , \quad C_e = \frac{e_3 - e_2}{\log P_3 - \log P_2}$$

El valor del índice de compresión, se sustituye en la siguiente ecuación empírica que es la ecuación de la parte recta de la curva.

Dicha recta se denomina la curva virgen de la consolidación.

$$e = e_c - C_c \log_{10} \frac{P}{P_o}$$

Donde  $e_c$  es la relación de vacíos correspondiente a  $P_0$  en la etapa de carga (consolidación) y el valor arbitrario para  $P_0$  es de  $1 \text{ Kg. /cm}^2$ , e y P son variables para un punto cualquiera.

Para la expansión la recta puede expresarse de este modo:

$$e = e_c - C_c \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

Donde  $e_c$  es la relación de vacíos correspondiente a  $P_0$  en la etapa de descarga (recuperación).

Los ejemplos numéricos pueden verse en la lámina XLVIII.

25° Con los datos relación de vacíos - presiones, registrados en la lamina XLV Columnas 2a y 8a se dibujan los puntos en la gráfica de rayado aritmético XLIX.

Esta curva tiene por objeto determinar gráficamente el coeficiente de compresibilidad  $\alpha_v$ , para cualquier intervalo de presión, empleando la fórmula:

$$e = \frac{6.834}{8.027} 0.851$$

26° En la lámina L se dibuja la curva deformación unitaria - esfuerzo (presión en nuestro caso), con los datos registrados en la lámina XLV columnas 2a y 5a.

27° finalmente en la lámina LI, se muestra en rayado semilogarítmico la relación  $K_{20} - e_f$ .

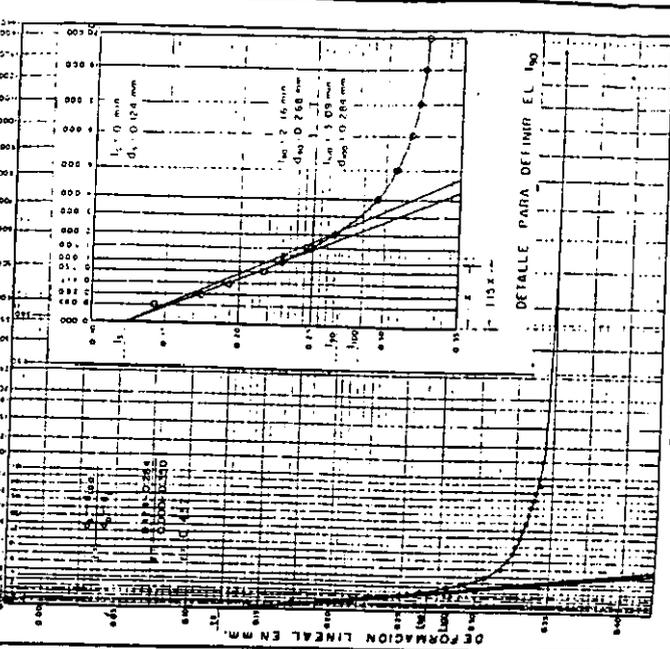




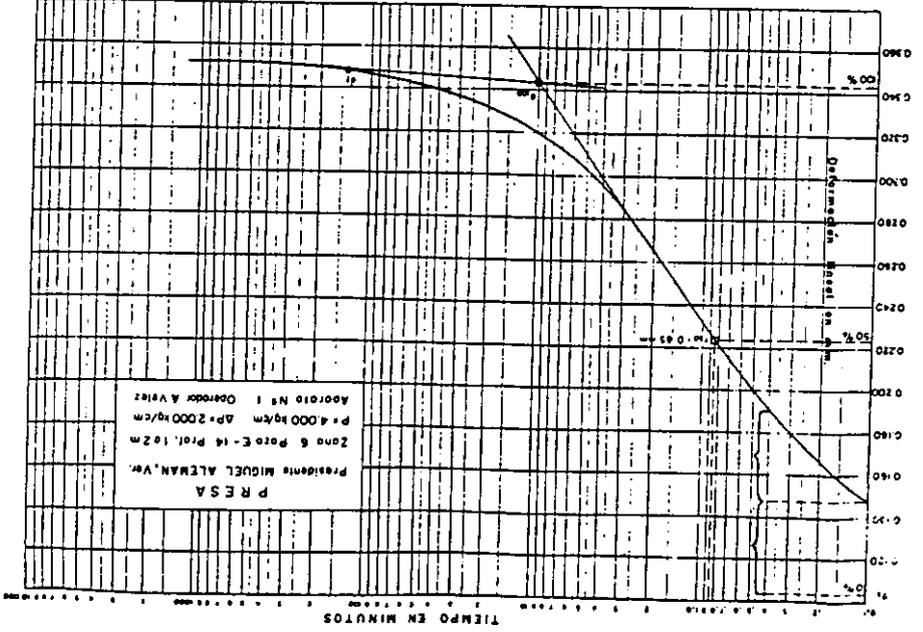
**CONSOLIDACION GRAFICA VT VS DEFORMACION**

Procedencia: Presidente Miguel Alemán, Vnc.  
Banco: Zona 6  
Muestra: Remoldeada  
Aparato N.º: ESI  
Incremento de presión  $\Delta P$ : ..... 2,000  
Presión: ..... 4,000  
Kg/cm<sup>2</sup>  
Kg/cm<sup>2</sup>

Identificación: Lub 1a-416  
Profundidad: 1.00 a 2.00 m  
Fecha: Junio de 2001



Observaciones:  
Operador: Efraim Leal G. .... Coloidal: Geopon, Merceder N. Fecha: Junio de 2001.



PRESA  
Presidente MIGUEL ALTMAN, Vnc.  
Zona 6 Peto E-14 Prof. 1.02 m  
P = 4,000 kg/cm  $\Delta P = 2,000$  kg/cm  
Aparato N.º 1 Operador: Avelaz



DIRECCION DE PROYECTOS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
MECANICA DE SUELOS

CONSOLIDACION - REGISTRO

Procedencia: Presidente Miguel Alemán, Ver. Identificación de Lab: 16-416  
Banco: Zona 6. Pazo: E-14 Profundidad: 1.00 a 3.00 m  
Muestra: Remoldeada. Est. Fecha: Junio de 2000

h cm	PRESION p kg/cm <sup>2</sup>	RELACION DE CONSOLIDACION		DEFORMACION LINEAL δ mm	DEFORMACION UNITARIA E %	ESPESOR COMPRIMIDO		e <sub>1</sub> 2H-2h <sub>1</sub> 2h <sub>1</sub>	h <sub>m</sub> cm	h <sub>m</sub> <sup>2</sup> cm <sup>2</sup>	t <sub>90</sub> seg	C <sub>c</sub> cm <sup>2</sup> /seg	C <sub>c</sub> 10 <sup>3</sup> cm <sup>2</sup> /seg	h <sub>m</sub> 10 <sup>3</sup> cm <sup>2</sup> /seg	C <sub>v</sub> cm <sup>2</sup> /seg	e <sub>2</sub>	e <sub>m</sub> kg/cm <sup>2</sup>
		PRIMARIA r	SECUNDARIA r'			2H-2h <sub>2</sub> 2h <sub>2</sub>	2H-2h <sub>3</sub> 2h <sub>3</sub>										
17.9	0.000		0.000	0.00	13.000	6.373	0.889		0.748	0.557	-	0.036	-		0.080	0.250	
17.9	0.300		0.139	0.93	14.861	6.834	0.831		0.739	0.546	30	0.034	27.5	0.000370	0.843	0.730	
17.8	1.000	0.300	0.279	1.88	14.761	6.834	0.834		0.729	0.531	32	0.038	20.1	0.000337	0.818	1.300	
17.6	2.000	0.587	0.539	3.39	14.461	6.434	0.802		0.714	0.510	31	0.022	19.7	0.000247	0.780	3.000	
17.6	4.000	0.889	0.889	5.93	14.111	6.084	0.738		0.699	0.489	66	0.016	14.7	0.000150	0.742	5.000	
17.8	8.000	0.889	1.145	7.63	13.853	5.828	0.736		0.688	0.473	79	0.011	11.8	0.000107	0.713	7.000	
17.8	8.000	0.818	1.325	8.83	13.675	5.648	0.704										
4.000			1.292	8.61	13.708	5.681	0.707										
2.000			1.283	8.15	13.777	5.750	0.716										
1.000			1.138	7.72	13.848	5.813	0.724										
0.300			1.033	7.02	13.947	5.920	0.738										
0.230			0.902	6.01	14.098	6.071	0.756										
0.175			0.739	4.92	14.261	6.234	0.777										
0.000			0.373	3.83	14.485	6.328	0.797										

Aparato N.º: 7 Prueba N.º: 1

Peso de los sólidos: W<sub>s</sub> = 106.97 gr  
Densidad de los sólidos: S<sub>s</sub> = 2.725  
Área de la probeta: A<sub>c</sub> = 49.89 cm<sup>2</sup>  
Espesor de los sólidos, 2H<sub>1</sub> =  $\frac{W_{10}}{\rho \cdot A_c} = 8.027$  mm  
Espesor Inicial: 2H<sub>1</sub> = 15.00 mm

Relación de consolidación primaria, r =  $\frac{e_1 - e_{90}}{e_1 - e_2}$   
Coef. de consolidación, C<sub>v</sub> =  $\frac{0.197 \text{ h m}^2}{190}$  cm<sup>2</sup>/seg.  
Coef. de compresibilidad, a<sub>v</sub> =  $\frac{\Delta e}{\Delta p}$  =  $\frac{e_1 - e_2}{p_1 - p_2}$  cm<sup>2</sup>/seg.  
Coef. de permeabilidad, K<sub>v</sub> =  $\frac{C_v \cdot \rho \cdot S_s}{(1 - e_1) \cdot 1000}$  cm/seg.

LAMINA XLV



DIRECCION DE PROYECTOS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
MECANICA DE SUELOS

CONSOLIDACION - CALCULO DEFORMACION UNITARIA

Procedencia: Presidente Miguel Alemán, Ver. Identificación de Lab: 16-416  
Banco: Zona 6. Pazo: E-14 Profundidad: 1.00 a 2.00 m  
Muestra: Remoldeada. Est. Fecha: Junio de 2000  
Aparato No: 7. Espesor inicial: 15.00 mm. Prueba No: 7

Tiempo en segundos	p=0.300 kg/cm <sup>2</sup>		p=1.000 kg/cm <sup>2</sup>		p=2.000 kg/cm <sup>2</sup>		p=4.000 kg/cm <sup>2</sup>		p=8.000 kg/cm <sup>2</sup>		p=16.000 kg/cm <sup>2</sup>		p <sub>1</sub> kg/cm <sup>2</sup>	p <sub>2</sub> kg/cm <sup>2</sup>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>m</sub>
	Def. unit. %	Def. unit. Acum. %	Def. unit. %	Def. unit. Acum. %													
3	-0.61	-0.61	-0.42	-1.13	-0.80	-2.66	-0.93	-4.54	-0.37	-6.49	-0.23	-7.86					
10	-0.63	-0.63	-0.43	-1.38	-0.88	-2.74	-1.03	-4.67	-0.63	-6.37	-0.29	-7.93					
20	-0.65	-0.63	-0.50	-1.63	-0.97	-2.83	-1.22	-4.81	-0.73	-6.63	-0.35	-7.98					
40	-0.67	-0.67	-0.54	-1.67	-1.07	-2.93	-1.39	-4.98	-0.84	-6.78	-0.43	-8.08					
80	-0.70	-0.70	-0.59	-1.58	-1.21	-3.07	-1.68	-5.21	-1.00	-6.92	-0.54	-8.17					
200	-0.75	-0.75	-0.68	-1.81	-1.39	-3.25	-1.91	-5.50	-1.23	-7.15	-0.71	-8.34					
400	-0.77	-0.77	-0.73	-1.88	-1.50	-3.38	-2.06	-5.65	-1.37	-7.29	-0.81	-8.44					
50	-0.79	-0.79	-0.75	-1.88	-1.58	-3.44	-2.15	-5.74	-1.48	-7.38	-0.90	-8.53					
1000	-0.82	-0.82	-0.81	-1.74	-1.63	-3.49	-2.22	-5.81	-1.54	-7.48	-0.99	-8.62					
4000	-0.83	-0.83	-0.83	-1.78	-1.65	-3.51	-2.27	-5.86	-1.59	-7.51	-1.05	-8.68					
7200	-0.84	-0.84	-0.85	-1.78	-1.69	-3.55	-2.30	-5.89	-1.61	-7.53	-1.09	-8.72					
237,340 seg				21,240 seg		74,080 seg		60,880 seg		80,380 seg		79,000 seg					
-0.84	-0.84	-0.85	-1.88	-1.73	-1.59	-3.32	-5.92	-1.71	-7.53	-1.20	-8.63						

Observaciones: Deseador: Efraim León S. Cálculo: Javier León G. Fecha: Junio de 2000.

LAMINA XLVI

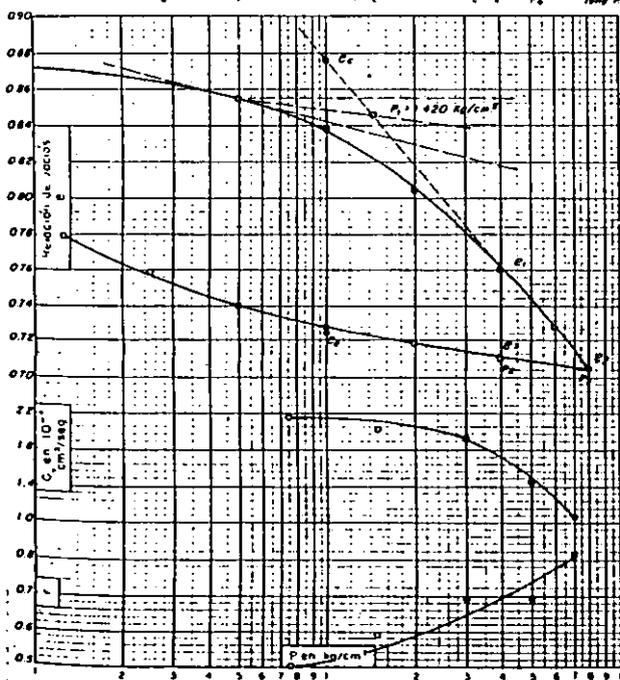


DIRECCION DE PROYECTOS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
MECANICA DE SUELOS

CONSOLIDACION - GRAFICAS

Procedencia Presidente Miguel Alemán, Ver. Identificación de Lab 18-416  
Banco Zona 6 Pozo E-14 Profundidad 1.00 a 2.00 m  
Muestra Remoldeada Est Fecha Julio de 2000

Prueba N.º 1  $P_u = 11 \text{ kg/cm}^2$ ,  $P_c = 1.420 \text{ kg/cm}^2$ ,  $C_c = 0.1855$  e.e.- $C_c = 100$ ,  $P_{100} = 0.076-0.1855$ ,  $1000 P$



Observaciones:  
Operador: Elena Leal G. Cálculo: Vidomar Hernández M. Fecha: Julio de 2000.

LAMINA XLVIII

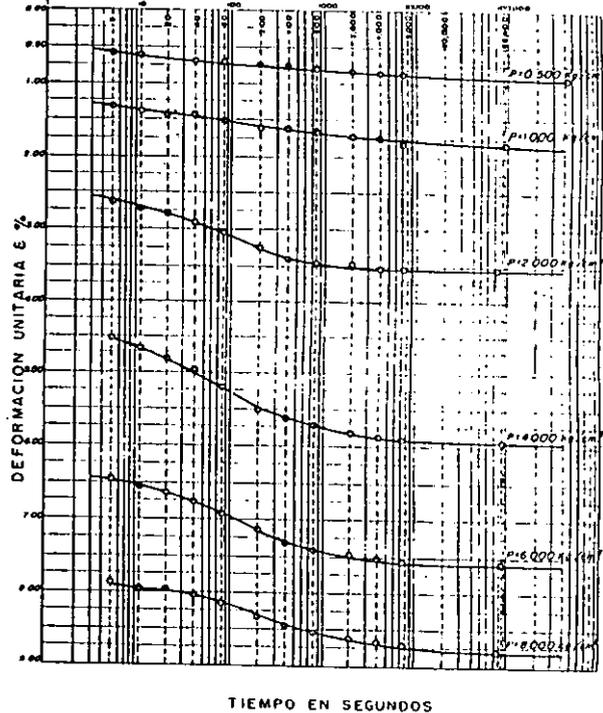


DIRECCION DE PROYECTOS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
MECANICA DE SUELOS

CONSOLIDACION GRAFICA E % VS. TIEMPO

Procedencia Presidente Miguel Alemán, Ver. Identificación de Lab 18-416  
Banco Zona 6 Pozo E-14 Profundidad 1.00 a 2.00 m  
Muestra Remoldeada Est Fecha Julio de 2000

Prueba N.º 1  $P_u = 11 \text{ kg/cm}^2$ ,  $P_c = 1.420 \text{ kg/cm}^2$ ,  $C_c = 0.1855$  e.e.- $C_c = 100$ ,  $P_{100} = 0.076-0.1855$ ,  $1000 P$



Observaciones:  
Operador: Elena Leal G. Cálculo: Javier León G. Fecha: Julio de 2000

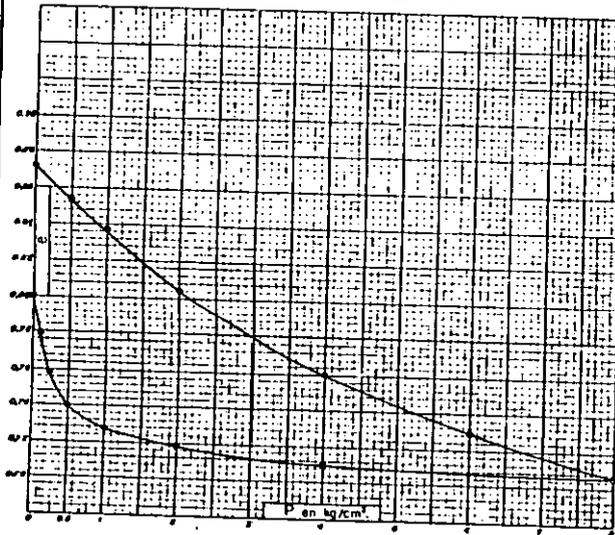
LAMINA XLVII

UNAM

DIRECCION DE PROYECTOS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
MECANICA DE SUELOS  
**CONSOLIDACION GRAFICA e s P**

Procedencia *Presidente Miguel Alemán, Ver*Banco *Tono 6*Muestra *Remoldeada*Pozo *E-14*

Est

Identificación de Lab *Ip-416*Profundidad *100 a 200 m.*Fecha *Julio de 2000*Aparato No. *1*Prueba No. *1*

P, kg/cm <sup>2</sup>	e <sub>1</sub>	P <sub>0</sub> , kg/cm <sup>2</sup>	e <sub>2</sub>	C <sub>c</sub> , cm <sup>2</sup> /kg
0.000	0.871	0.500	0.854	0.036
0.500	0.854	1.000	0.837	0.032
1.000	0.837	2.000	0.804	0.032
2.000	0.804	4.000	0.760	0.052
4.000	0.760	6.000	0.747	0.018
6.000	0.729	8.000	0.706	0.018

Determinación gráfica del  
coeficiente de compresibilidad, C<sub>c</sub>.

Observaciones.

Operador *Eliano Loal G.* Cálculo *Mario Zamora N.* Fecha *Julio de 2000*

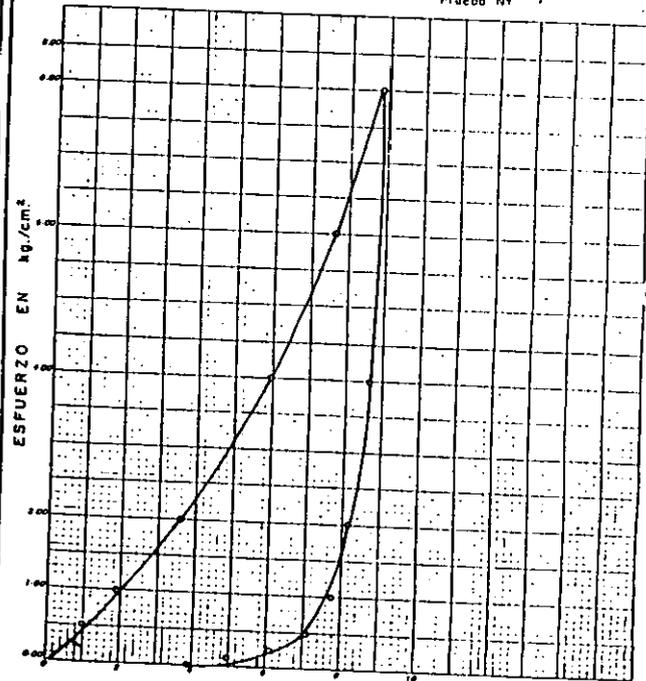
LAMINA XLIX

UNAM

DIRECCION DE PROYECTOS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EXPERIMENTAL  
MECANICA DE SUELOS

Procedencia *Presidente Miguel Alemán Ver*Banco *Tono 6*Muestra *Remoldeada*Pozo *E-14*

Est

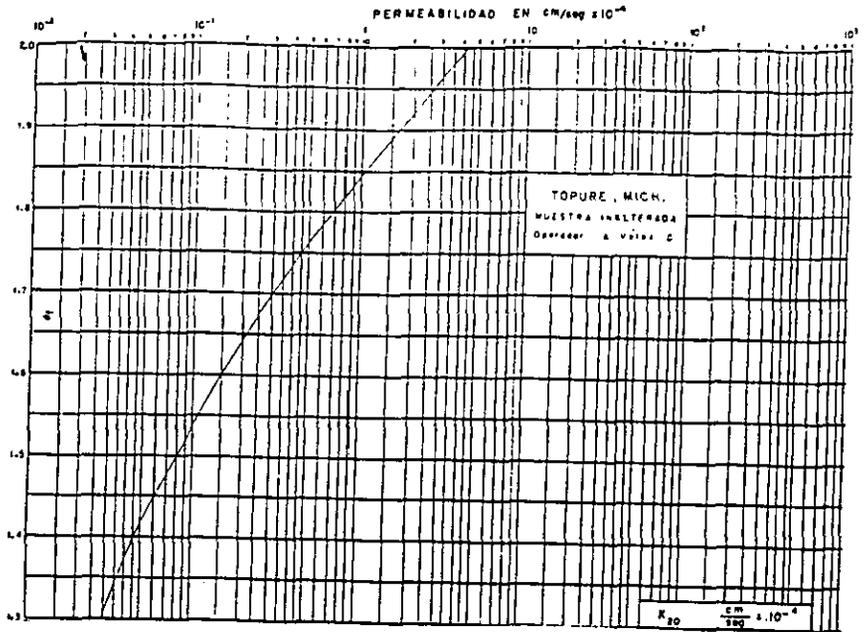
Identificación de Lab *Ip-416*Profundidad *100 a 200 m.*Fecha *Julio de 2000*Aparato No. *1*Prueba No. *1*

DEFORMACION UNITARIA EN %

Observaciones.

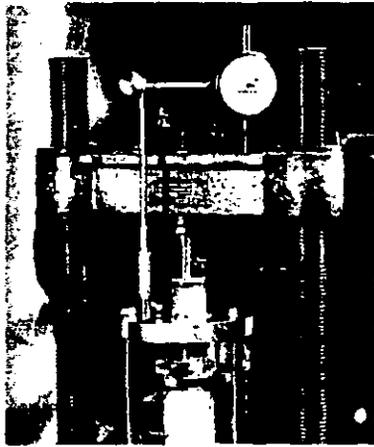
Operador *Eliano Loal G.* Cálculo *Valdemar Hernández M.* Fecha *Julio de 2000*

LAMINA L



LAMINA LI

# COMPRESIÓN TRIAxIAL



## COMPRESION TRIAXIAL

### 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:

$$S = c + N \tan \Phi$$

En donde:

S: resistencia al esfuerzo cortante,

c: Cohesión,

N: esfuerzo normal,

$\Phi$ : ángulo de fricción interna.

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  $\Phi$  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 de 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 mediante dicha prueba se consigue reducir el problema tridimensional a un problema plano en el que se aplican dos esfuerzos normales en direcciones respectivamente perpendiculares, sin producir concentraciones de esfuerzos en la zona de ruptura.

Esta prueba se lleva a efecto en la cámara de compresión triaxial en la que se 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.

A continuación se describe la preparación de muestras y los procesos de ensaye para la prueba triaxial en especímenes de 3.6 cm de diámetro, designada T - 3.6 que es la prueba de laboratorio más común.

### **Equipo**

- Balanza de torsión de 0.01 g de aproximación y capacidad de 500 g.
- Placa piralina.
- Cápsulas.
- Calibrador.
- Cronómetro.
- Molde para compactar probetas, de 3.6 cm de diámetro interior y 12 cm de longitud, con separadores de metal y dispositivo para recibir la
  - Probetas.
  - Punzón.
  
- Dispositivo hidráulico y herramienta para compactar probetas de 3.6 cm diámetro.
  
- Cámara triaxial sin drenaje, para ensayar probetas de 3.6 cm de diámetro y 9.3 cm de altura.
  - Micrómetro con soporte.
  - Cronómetro.
  - Tijeras.
  - Llave de tuercas(perico).
  - Bandas de hule (ligas).
  - Fundas de hule Dispositivo para compresión triaxial.
  - Dispositivo de compresión triaxial.

### **Preparación de las probetas.**

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

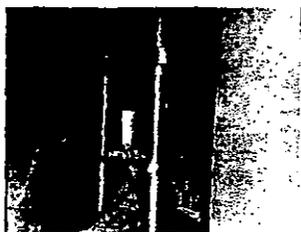
De las muestra inalterada obtenida en el campo, se cortan prismas del tamaño para obtener probetas cilíndricas de 3.6 cm de diámetro y 9.3 cm de altura; esto se logra utilizando el torno y cortador de arco con alambre.

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

1º 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 desliza apoyando en las solerás del torno, se efectúan los cortes necesarios para ir formando la probeta cilíndrica como se muestra en la siguiente secuencia de fotos:



Se tiene una muestra clasificada



Se saca la muestra del aro



Se saca cuidadosamente



El aro se queda sin muestra



La muestra lista para ser cortada  
En cuatro partes, para cuatro  
4 muestras cilíndricas



Se mide la muestra con el  
vernier, para que el cilindro  
contenga las medidas estándar



Se hacen los cortes

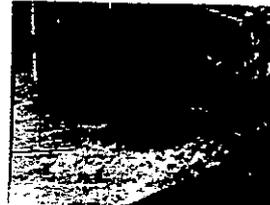


Queda una figura  
geométrica de esta forma

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



3º 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 2 a 3 kilogramos de material el cual ya se ha preparado, desmoronándolo y pasándolo por la malla No. 4 (4.69 mm); y se colocan en una charola de lámina, con su respectiva identificación.

2° Se vuelve a desmoronar los grumos del material que pasaron por la malla No. 4(4.69 mm) con un trozo de madera, evitando romper los granos de arena.



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



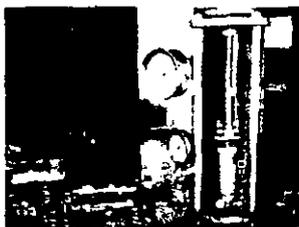
4° Se le da al material generalmente la humedad de saturación  $W_G$ , considerando el 95% del peso volumétrico obtenido en la prueba Proctor. La expresión matemática es:

$$W_G = \frac{1000 - \frac{0.95 \gamma_m}{S_s}}{0.95 \gamma_m}$$

5º una vez que el material tiene humedad uniforme y poco mayor que la óptima de la Próctor, se introduce en un recipiente de vidrio (vitriolero) 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.

Los requisitos que debe satisfacerse para la manufactura de probetas remoldeadas son: que el peso volumétrico fluctúe del 95% al 100% y del valor obtenido en la prueba Proctor, que sea igual y uniforme la compactación en cada una de las 5 capas que forman la probeta (relación de vacíos constante) y que la saturación sea 100%. (Hay materiales que no pueden saturarse completamente y en dicho caso deberá darse la máxima saturación posible.)

6º 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 el molde,



se separan 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 las correspondientes columnas del registro de

compresión triaxial volumétrica de la lámina **LIII**.

Del material guardado en el vitrioleo, se toma una muestra para determinar su contenido inicial de humedad.

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 enfríen; ya frías se pesan, anotando los datos en los correspondientes renglones de la columna *peso seco más tara (Ws + tara)*.

8° Se efectúan todos los cálculos indicados en la lámina **LIII**. Si la compactación de la probeta no cumple los requisitos prefijados, se repiten los tanteos hasta lograrlo.

En el ejemplo de la lámina **LIII**, el segundo tanteo da una idea de la variación de la presión y del tiempo que se usaron en ese material y que resultaron adecuados a las condiciones antes dichas.

9° Una vez encontrada 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.

Debe tenerse la precaución de ir haciendo las probetas a medida que se ensayan para evitar alteraciones como pérdidas de humedad, hinchamiento, etc.



## PROGRAMA COMPRESIÓN TRIAXIAL – VOLUMÉTRICO

```
10 PRINT "LLENADO DE TABLA COMPRESIÓN TRIAXIAL-VOLUMETRICO"
11 INPUT "# DE DATOS";V
12 INPUT "DENSIDAD=";D
13 DIM WW(V)
14 DIM WS(V)
16 DIM VS(V)
17 DIM VV(V)
18 DIM WP(V)
19 DIM e(V)
20 DIM Ge(V)
21 DIM Y(V)
22 DIM Z(V)
23 DIM W(V)
25 DIM X(V)
26 SET F2
27 FOR I=1 TO V
29 PRINT "VOLUMEN";I
30 INPUT X(I)
35 PRINT "WH + TARA";I
40 INPUT Y(I)
41 PRINT "Ws + TARA";I
42 INPUT Z(I)
43 PRINT " PESO TARA";I
44 INPUT W(I)
70 WW(I)=Y(I) - Z(I)
80 WS(I)=Z(I) - W(I)
90 VS(I)=WS(I)/D
100 VV(I)=X(I) - VS(I)
110 WP(I)=WW(I)/WS(I)*100
120 e(I)=VV(I)/VS(I)
130 Ge(I)=WW(I)/VV(I)*100
140 NEXT I
150 FOR J=1 TO V
160 PRINT "Ww=";WW(J)
170 PRINT "Ws=";WS(J)
180 PRINT "Vs=";VS(J)
190 PRINT "Vv=";VV(J)
200 PRINT "W%=";WP(J)
210 PRINT "e=";e(J)
220 PRINT "G%=";Ge(J)
222 IF J=V THEN GOTO 240
225 PRINT " RESULTADO SIG"
230 NEXT J
240 PRINT " FINALIZA CALCULO":END
```



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EXPERIMENTAL  
Mecánica de Suelos

**COMPRESION TRIAXIAL - VOLUMETRICO**

Procedencia Pueblito Oro Identificación de laboratorio: Ig-205 Fecha Mayo de 2001

Diámetro 3.58 cm Área 10.07 cm<sup>2</sup> Densidad 2.622 Pozo 4

DATOS PROCTOR		
W%	e	G%
22.48	0.589	89.5

CAPA	CARGA	TIEMPO	CAPSULA		ALTURA	VOLUMEN	PESO			W <sub>w</sub>	W <sub>s</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>v</sub>	W%	e	G%	OBSERVACIONES
			No.	TARA			W <sub>n</sub> + TARA	W <sub>s</sub> + TARA	TARA								
1	100	30	1		1.99	20.04	61.52	54.24	21.18	7.28	33.06	12.61	7.43	22.02	0.59	97.96	
2	125	40	2		2.00	20.14	59.97	52.67	19.35	7.30	33.32	12.71	7.43	21.91	0.58	98.22	
3	150	50	3		1.95	19.64	62.78	55.66	23.00	7.12	32.66	12.46	7.18	21.80	0.58	99.11	
4	175	60	4		1.99	20.04	62.18	54.96	21.78	7.22	33.18	12.65	7.39	21.76	0.58	97.76	
5	200	70	5		2.01	20.24	60.88	53.62	20.76	7.26	32.86	12.53	7.71	22.09	0.62	94.19	
HUMEDAD INICIAL			60				102.82	91.70	40.09	11.12	51.61			21.55			

Procedencia Pueblito Oro Identificación de laboratorio: Ig-205 Fecha Mayo de 2001

Diámetro 3.58 cm Área 10.07 cm<sup>2</sup> Densidad 2.622 Pozo 4

DATOS PROCTOR		
W%	e	G%
22.48	0.589	89.5

CAPA	CARGA	TIEMPO	CAPSULA		ALTURA	VOLUMEN	PESO			W <sub>w</sub>	W <sub>s</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>v</sub>	W%	e	G%	OBSERVACIONES
			No.	TARA			W <sub>n</sub> + TARA	W <sub>s</sub> + TARA	TARA								
1	100	30	79		2.00	20.14	61.59	54.24	21.02	7.35	33.22	12.67	7.47	22.13	0.59	98.39	
2	125	40	80		2.01	20.24	60.90	53.50	20.07	7.40	33.43	12.75	7.49	22.14	0.59	98.80	
3	140	50	81		2.00	20.14	58.77	51.37	18.18	7.40	33.19	12.66	7.48	22.30	0.59	98.91	
4	160	60	82		2.00	20.14	61.25	53.88	20.69	7.37	33.19	12.66	7.48	22.21	0.59	98.51	
5	215	70	83		2.01	20.24	58.86	51.43	18.03	7.43	33.40	12.74	7.50	22.25	0.59	99.05	
HUMEDAD INICIAL			84				59.07	51.44	17.38	7.63	34.06			22.41			

OPERADOR: P.M. Martinez

Cálculo: Saúl Mendiola Hernández

Fecha: 27 de Mayo del 2001

**LAMINA LIII**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EXPERIMENTAL  
 Mecánica de Suelos

**COMPRESION TRIAIXIAL - VOLUMETRICO**

Procedencia \_\_\_\_\_  
 Diámetro \_\_\_\_\_ cm

Identificación de laboratorio: \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Área \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup> Densidad \_\_\_\_\_ Pozo \_\_\_\_\_

DATOS PROCTOR		
W%	c	G%

CAPA	CARGA	TIEMPO	CAPSULA		ALTURA	VOLUMEN	PESO			W <sub>w</sub>	W <sub>s</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>v</sub>	W%	c	G%	OBSERVACIONES
			No.				W <sub>H</sub> + TARA	W <sub>s</sub> + TARA	TARA								
HUMEDAD INICIAL																	

Procedencia \_\_\_\_\_  
 Diámetro \_\_\_\_\_ cm

Identificación de laboratorio: \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Área \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup> Densidad \_\_\_\_\_ Pozo \_\_\_\_\_

DATOS PROCTOR		
W%	c	G%

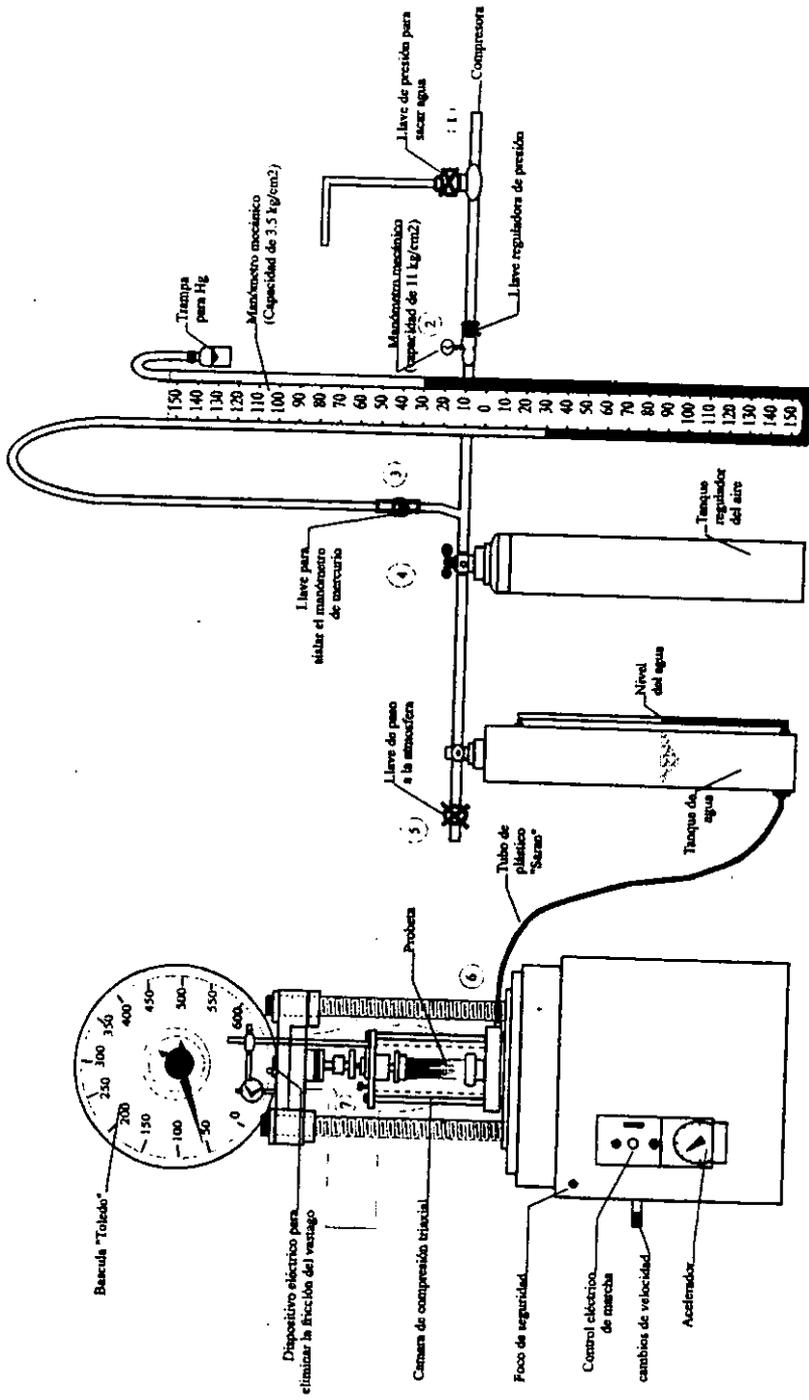
CAPA	CARGA	TIEMPO	CAPSULA		ALTURA	VOLUMEN	PESO			W <sub>w</sub>	W <sub>s</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>v</sub>	W%	c	G%	OBSERVACIONES
			No.				W <sub>H</sub> + TARA	W <sub>s</sub> + TARA	TARA								
HUMEDAD INICIAL																	

OPERADOR: \_\_\_\_\_

Cálculo: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

# ESQUEMA DEL DISPOSITIVO PARA COMPRESION TRIAXIAL



lamina LII

## CONCLUSIONES

- La historia de la computación se desarrolla lentamente en sus inicios debido a la falta de tecnología sofisticada, pero al ingresar en el siglo XIX, esta se acelera de manera vertiginosa, a tal grado de que ha sido la causante de que el capitalismo se preservara. Ahora bien se ha demostrado que la computación es algo con lo que se tiene que lidiar hoy en día, siendo esencial en todas las actividades.
- La Mecánica de Suelos surge como necesidad esencial para lograr un estudio que permita sentar bases a y lastrar a su vez apoyos estándares para un estudio educado, participativo e interactivo.
- Se incluyen formatos según el caso para su uso posterior, permitiendo al alumno, ventilar que hacer en cada cuestión en particular, por lo que, podemos afirmar que esta proposición convierte a una manera más sencilla de entender los temas comunes de Mecánica de Suelos.
- La matriz almacenadora de datos puede ser utilizada para otras áreas en que requiera, como lo sería si se persigue un dato en particular y se obtiene de inmediato dando su localización en la matriz para ser extraído de manera exacta con su posterior empleo. La matriz puede ser ampliada según las peticiones que tenga el capturista de datos.
- No se exige ser muy diestro en el manejo de los programas de computación ya que fueron elaborados para solo introducirle datos; aunque si se requiere de los conocimientos necesarios y obligatorios del campo que se pisa, en este caso de pruebas de laboratorio de Mecánica de Suelos.
- Esta tesis fue elaborada usando paquetes tales como: Corel Draw, Auto Cad, Photo Paint, Word y Excel para una mejor presentación. Todo lo cual significa que este material no debe ser visto solo como una tesis sobre el tema que abarca, sino además, al mismo tiempo como un ejemplo de lo que la edición por computadora puede ofrecer a cualquier usuario y, por tanto, de la conveniencia de manejar el mayor número de programas posible; en el afán de que se logre una interpretación mejor de los dibujos y formatos a realizados.
- Por último al terminar esta tesis se ha logrado cumplir con los objetivos trazados; se pudo intuir que hay diferentes formas de abordar un llenado de tablas( mediante la elaboración directa de un programa en BASIC) y que la resolución esta íntimamente ligada a las necesidades de cada formato. Algunas veces se hizo muy complicado el razonamiento de los bucles anidados, pero una vez comprendidos lo demás fue de trámite. Por lo demás adquirí mucha experiencia en la elaboración correcta de formatos, esquemas y dibujos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Mecánica de Suelos**(instructivo para ensaye de suelos)

1990, colección breviaros del agua serie educativa

COMISION NACIONAL DEL AGUA

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA *IMTA*

**PROGRAMACIÓN DE FORMULAS MATEMÁTICAS**

Segundo curso internacional de Capacitación en Ingeniería Hidráulica Portuaria

PUERTOS MEXICANOS Y JICA(Cooperación técnica por el gobierno del Japón)

**PROGRAMA PARA GENERAR Y ANALIZAR SEÑALES DE OLEAJE IRREGULAR**

Texto para el proyecto del centro hidráulico portuario Vol. 3

MÉXICO OFFICE

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY(JICA)

**DICCIONARIO DEL BASIC**

Enciclopedia del Lenguaje BASIC

David A. Lien

Edit. ÉLISA s.a.

**MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA CIVIL**

Joseph E. Baules

Edit. Mc. Graw Hill

**CURSO PRACTICO DE MECÁNICA DE SUELOS**

Canales Gayo

Edit. OMEGA

**COMPUTADORA PERSONAL**

SCIENTIFIC LIBRARY 116

FX-850/FX-880P

CASIO

MANUAL DEL PROPIETARIO

**INTRODUCCIÓN A LA COMPUTACIÓN Y MANEJO MS - DOS**

Laura Elena Villalobos

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Economía

**CONCEPTOS DE COMPUTACIÓN**

Libro Visual

International Thomson Editores

**GUIAS INMEDIATAS DE COMPUTACIÓN**

Corel Draw!

Luis M. González N.

Librería y distribuciones *gema*

**AUTOCAD 2000**

Burchard y Pitzer

Edit. Pearson Educación