

17  
24



# Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

" A R A G O N "



## CONTROL DE TERRACERIAS Y CONCRETOS IN'SITU

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL  
P r e s e n t a  
GONZALO EDUARDO MONDRAGON GUZMAN

México, D. F.

1989

**FALLA DE ORIGEN**



## **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 está 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.

# I N D I C E .

INTRODUCCION.....	1
TERRACERÍAS.....	3
GRANULOMETRIA.....	4
PRUEBA DE COMPACIDAD RELATIVA.....	9
PRUEBA PROCTOR.....	13
PRUEBA PORTER.....	17
TERRAPLENES DE PRUEBA.....	20
DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO SECO EN SUELOS COHESIVOS 'IN SITU'.....	26
DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO 'IN SITU' CON MEDIDOR DE VOLUMEN.....	27
DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO 'IN SITU' CON ARENA.....	29
PRUEBA DE PERMEABILIDAD NASBERG.....	32
PRUEBA DE PLACA.....	34
CONCRETOS.....	39
GRANULOMETRIA.....	40
PRUEBAS EN CONCRETO FRESCO.....	44
REVENIMIENTO.....	45
FLUIDEZ.....	47
AIRE INCLUIDO.....	49
TEMPERATURA.....	53
PESO VOLUMETRICO Y RENDIMIENTO.....	54
RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	56
DETERMINACION DE LA RESISTENCIA MEDIANTE EL ESCLEROMETRO.....	61
EXTRACCION DE NUCLEOS DE CONCRETO.....	66
CARACTERISTICAS QUE SE DEBEN SUPERVISAR 'IN SITU'.....	71
ANALISIS.....	72
DISTRIBUCION NORMAL DE FRECUENCIAS.....	75
GRAFICAS DE CONTROL.....	86
COMENTARIOS A LOS RESULTADOS.....	90
CONCLUSIONES.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	95

## INTRODUCCION

La palabra "control" se refiere al hecho de otorgar responsabilidades y autoridad en determinada actividad personal, con la capacidad necesaria para lograr resultados satisfactorios.

El término "calidad" no tiene un significado de lo mejor en el sentido absoluto, no es práctico ni económico buscar la perfección, sino que se deben de establecer ciertas tolerancias, buscando un equilibrio entre el costo de la obra y el servicio que se va a dar.

Definiremos control de calidad como el conjunto de actividades de diferentes grupos de una organización para la integración del desarrollo, el mantenimiento y la superación de la calidad de un producto, con el fin de hacer posible la fabricación y el servicio a satisfacción completa del consumidor y a un nivel económico.

Objetivos fundamentales del control de calidad "in situ".

- Controlar la calidad a los niveles deseados.
- Predecir variaciones de calidad durante la producción.
- Descubrir las causas de desviación del comportamiento del material fuera de las normas especificadas con objeto de eliminar las causas y obtener control de calidad económico.

Objetivos secundarios.

- Comparar características relativas de dos o más materiales para un uso en particular.
- Comparar características relativas de dos o más métodos de ensaye.
- Obtener posibles relaciones entre dos o más propiedades de el material.

La forma de llevar el análisis del control de calidad "in situ" es con la utilización de métodos estadísticos para la cual es factible condensar la información obtenida de un grupo de observaciones y representarla en forma consisa y de fácil interpretación.

Con la coleccion, condensación, análisis e interpretación de resultados cuantitativos es posible obtener nuevos conocimientos relativos al comportamiento de los materiales y poder seleccionar normas de calidad y procedimientos de ensaye satisfactorios y económicos.

La finalidad principal del muestreo consiste en obtener información aleatoria que permita definir el nivel de calidad de toda la obra elaborada en un cierto lapso.

Si, como coincidencia, un resultado pone de manifiesto que existe una porción de obra de calidad inferior a la requerida, su utilidad se duplica, pues permite corregir también una situación aislada que puede ser inconveniente.

La variación en la calidad de un material se debe a un gran número de causas. Aquellas que son posibles identificar se llaman causas asignables. La falta de control de calidad indica la presencia de una o más causas asignables.

Las causas de variación que no pueden identificarse se llaman causas fortuitas.

Para justificar el empleo de conceptos estadísticos comunes, debe prevalecer como condición que las variaciones sean imputables a errores casuales, esto es, que se eliminen las de carácter sistemático siendo estos los que se producen en un solo sentido, tal como el error de calibración en un aparato de medición.

## TERRACERIAS

La importancia especial de la terraceria compactada, se fundamenta por ser la estructura más común para almacenar agua, formando la cortina de una presa o los bordos de un lago artificial, y necesaria en la construcción de caminos.

La terraceria compactada es muy económica por los adelantos en los equipos de excavación, acarreo y compactación de material.

Las variables más importantes que afectan la construcción de terracerias son la distribución de los suelos, su colocación, la humedad y su uniformidad en el material extendido, humedad natural del material de préstamo, métodos para corregir la humedad del material si está muy mojado o muy seco, las características de los rodillos de compactación, el número de pasadas con los rodillos, espesor de las capas, tamaño máximo y granulometría de los materiales gruesos, la condición de la superficie de las capas después de compactadas con los rodillos, y la eficacia de la compactación mecánica en los lugares inaccesibles o desfavorables para la operación de los rodillos.

En general, cualquier suelo natural es aprovechable para terraceria; excepto los suelos muy orgánicos o aquellos que tengan deformaciones excesivas. Además se debe vigilar que el material que va a formar el terraplén este libre de troncos, ramas, piedras y cualquier otra impureza que impida la compactación.

Cuando el material de la terraceria es de mala calidad puede hacerse necesario el empleo de un tratamiento constructivo que lo mejore, sobre todo en los referente a compactación.

## GRANULOMETRIA

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen.

Según su composición, la granulometria puede determinarse por medio de mallas, por el método del hidrómetro, o combinando ambos.

El análisis mecánico se concreta a segregar el suelo por medio de una serie de mallas, que definen el tamaño de la partícula.

El método del hidrómetro se basa en la aplicación de la ley de Stokes a una esfera que cae libremente en un líquido.

A partir de la distribución de los granos en un suelo, es posible formarse una idea aproximada de otras propiedades del mismo.

### Análisis por mallas.

El análisis se realiza con una muestra de 10 kg aproximadamente. En caso de que el material contenga grava, en un porcentaje mayor al 40%, deberá realizarse la prueba con 20 kg.

Material mayor que la malla núm 4 (4.69 mm).

### Equipo

Charola de fierro  
Juego de mallas  
Báscula de 120 kg  
Balanza con aproximación de 0.1 gr

### Procedimiento

1- El material retenido en la malla núm 4 (4.69 mm), se pasa a través de las mallas de 3" (76.2 mm), 2" (50.8 mm), 1½" (38.1 mm), 1" (25.4 mm), ¾" (19.1 mm), ½" (12.7 mm) y ⅜" (9.5 mm), colocándolas en este orden y agitando el juego con movimientos horizontales y verticales combinados.

2- Se pesa la fracción retenida en cada malla y se anota en la hoja de registro.

Material menor que la malla núm 4 (4.69 mm)

#### Equipo

Mallas números: 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  
Balanza con aproximación de 0.1 gr  
Cápsulas de 25 cm de diámetro  
Horno a temperatura constante de 105 °C  
Brocha y piseta

#### Procedimiento

##### Análisis sin lavado (Vía 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 cuadrado de madera para no romper los granos.

3- Se colocan las mallas en orden progresivo de la mayor a la menor, y al final la charola, vaciando el material, previamente pesado, en la malla núm 8. Se coloca la tapa.

4- Se agita todo el juego de mallas, horizontal, verticalmente y movimientos de rotación, el tiempo de agitado depende de la cantidad de finos de la muestra, pero no debe ser menor de 15 minutos.

5- Se quita la tapa y se separa la malla núm 8, vaciando la porción de suelo que ha sido retenida en ella, sobre un papel. A las partículas que se detienen entre los hilos de la malla, no se deben forzar a pasar a través de ella, se invierte ésta y con ayuda de un cepillo de alambre, despréndanse las partículas y agregense a lo depositado en el papel.

6- Se procede en forma semejante con las demás mallas.

7- Se pesan las porciones retenidas en cada malla y en la charola del fondo, anotando las cantidades en el registro de cálculo.

### Análisis con lavado (Via húmeda).

1- Se repiten los dos primeros pasos del procedimiento anterior. Después se pone la muestra en una cápsula de 35 cm de diámetro, se le agrega agua y se deja remojar hasta que se puedan deshacer los grumos.

2- Se vacía el contenido de la cápsula sobre la malla núm 200 y con ayuda de agua, lávese lo mejor posible la muestra, para que todos los finos pasen por ella. El material que pasa por la malla núm 200, se analizará por otros métodos en caso de ser necesario.

3- El material retenido en la malla núm 200 se coloca en una cápsula lavando la malla con agua.

4- Se seca el contenido de la cápsula en el horno y se pesa.

5- Con el material seco del paso anterior, se repiten los pasos 3, 4, 5, 6 y 7 del análisis sin lavado. Se obtienen así los pesos de las fracciones retenidas en cada una de las mallas y se anotan en el registro.

### Cálculo

1- Se suman los pesos retenidos en cada malla y se verifica ese total con el peso inicial de la muestra. Si el error excede el 0.5%, vuélvase a pesar cada fracción, si el error es menor, se le atribuye al 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 anota en el registro, columna, "% parcial retenido".

3- Se determinan los porcentajes acumulados del material que ha pasado por cada malla, restando de 100%, el porcentaje parcial retenido en la segunda malla y así sucesivamente.

4- Al efectuar el análisis con mallas grandes, se conoce el porcentaje del material que pasa por la malla núm 4, respecto del total. Multiplicando este valor por cada uno de los porcentajes parciales, acumulativos menores que la malla núm 4, se obtienen los porcentajes acumulados con respecto a la muestra total.

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

# SARH

## COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO

### DIRECCION DE GEOTECNIA

#### SUBDIRECCION DE MEC. DE SUELOS Y CONTROL DE CALIDAD

#### LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

# ANALISIS GRANULOMETRICO

Procedencia TEPEXPAN Identificación de Lab. \_\_\_\_\_  
 Sitio TEPEXPAN Paso \_\_\_\_\_ Profundidad \_\_\_\_\_  
 Muestra TEPETATE Est. \_\_\_\_\_ Fecha 15-Septiembre-1988

MALLA	ABERTURA En mm.	PESO RETENIDO g.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA		OBSERVACIONES
				100.00 %		
5"	76.2					Análisis efectuado con la muestra total de _____ Kg. Humedad real: _____ % Grava W = _____ % Tierra W = _____ %
7 1/2"	50.8					
10"	25.4					
12 1/2"	12.5					
15"	6.3					
17 1/2"	3.2					
20"	1.6					
NR4	4.75					
Suma:						% MATERIAL MENOR QUE MRA % DE GRAVA

MALLA	ABERTURA En mm.	PESO RETENIDO g.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA		OBSERVACIONES
				100.00 %	MUESTRA A MUESTRA TOTAL	
5	2.38	0.70	0.14	99.86		Análisis efectuado con muestra de _____ gr. de material menor que la malla NR4
14	1.18	0.20	0.04	99.82		
20	0.85	1.94	0.39	99.43		
40	0.425	18.51	3.70	95.73		
100	0.150	37.35	7.47	88.26		
200	0.075	22.88	4.58	83.68		
Suma		81.58	16.32			
Gravés		418.42				
Suma:		500	100.00	Chequea una muestra seca		% MATERIAL MENOR QUE 200 CHANGOLA NR

### HIDROMETRO NR \_\_\_\_\_

Análisis efectuado con \_\_\_\_\_ gr. masa, de material lavado y pesado por malla N° 200, S<sub>200</sub> = \_\_\_\_\_

HORA	TIEMPO	LECTURA HIDR.	LECTURA CORR.	TEMP.	R	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	W % ACUMULATIVO PASADO P/ A & TOTAL	ALTURA DE CAIDA cm.	DIAMETRO EN mm.
15 min.	60 =									
20 min.	80 =									
30 min.	100 =									
1 hora.	120 =									
1 1/2 hrs.	180 =									
2 hrs.	240 =									
3 hrs.	300 =									
4 hrs.	360 =									

Observaciones CANTIDAD DE FINOS 83.68%, arena 16.32%  
 Operador EDUARDO MONDRAGON Fecha 15 de Septiembre de 1988

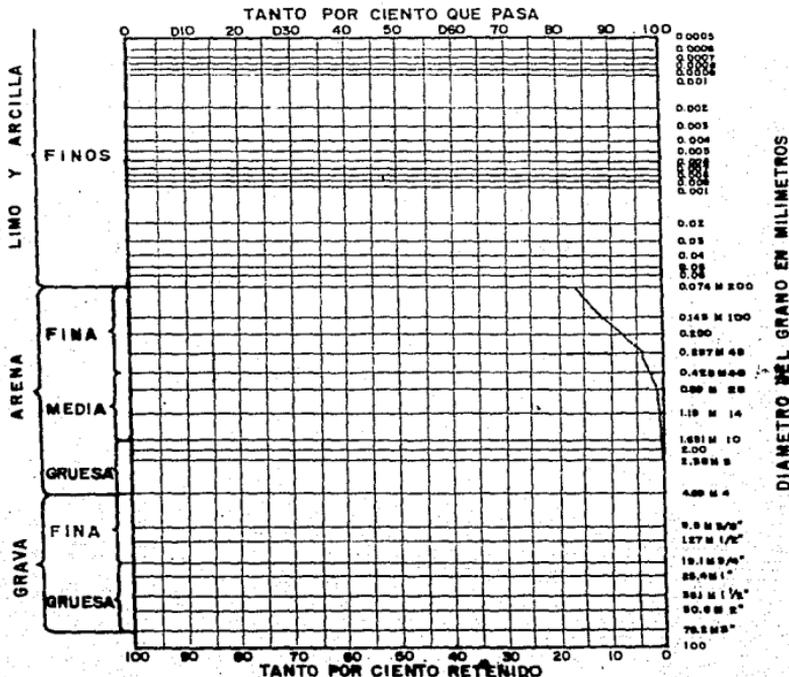
# SARH

## COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO

DIRECCION DE GEOTECNIA  
SUBDIRECCION DE MEC. DE SUELOS Y CONTROL DE CALIDAD  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### GRAFICA GRANULOMETRICA

Procedencia TEPEXPAH Identificación de Lab. \_\_\_\_\_  
 Banco TEPEXPAH Pozo \_\_\_\_\_ Profundidad \_\_\_\_\_  
 Muestra TEPETATE Est. \_\_\_\_\_ Fecha 5 de Septiembre de 1988



TOTAL, % Grava \_\_\_\_\_ % Arena \_\_\_\_\_ % Fines \_\_\_\_\_  $C_u = D_{60} / D_{10} =$  \_\_\_\_\_  
 PASA 4, % Arena 16.32 % Fines 83.68  
 $D_{60} =$  \_\_\_\_\_  $D_{30} =$  \_\_\_\_\_  $D_{10} =$  \_\_\_\_\_  $C_c = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}} =$  \_\_\_\_\_

Observaciones Tamaño máximo 4.69 mm

Operador EDUARDO MONDRAGON G. Colaborador EDUARDO MONDRAGON Fecha 15 de Septiembre de 1988

## PRUEBA DE COMPACIDAD RELATIVA

La prueba de compacidad relativa es la más usada para controlar la compactación de los suelos granulares. La compacidad relativa de un suelo, en un estado determinado se define como:

$$Cr (\%) = \frac{e_{\text{máx}} - e}{e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}} \times 100$$

Donde:

- $e_{\text{máx}}$  = relación de vacíos del material en su estado más suelto
- $e_{\text{mín}}$  = relación de vacíos del material en su estado más compacto
- $e$  = relación de vacíos del material en el estado de compactación considerado

En términos de pesos volumétricos secos (no se requiere secado en horno; basta con secado al aire. Cuando existe exceso de humedad en el ambiente, se toma una muestra para determinar el contenido de agua), la compacidad relativa se expresa como:

$$Cr (\%) = \frac{Y_d \text{ máx} (Y_d - Y_d \text{ mín})}{Y_d (Y_d \text{ máx} - Y_d \text{ mín})} \times 100$$

Donde:

- $Y_d \text{ máx}$  = Peso volumétrico seco del material en su estado más compacto
- $Y_d \text{ mín}$  = Peso volumétrico seco del material en su estado más suelto
- $Y_d$  = Peso volumétrico seco del material en su estado de compactación considerado

Conviene observar que los valores que se obtienen con el siguiente procedimiento, deben considerarse como referencias y no como mínimo y máximo absolutos obtenibles para el material considerado. El empleo de equipo de compactación de gran eficiencia puede llevar a valores del peso volumétrico 'in situ' mayores que el obtenido en el procedimiento siguiente. Esto significa llegar a compacidades relativas mayores de 100%, lo que no le resta validez ni utilidad a la prueba, la cual proporciona una referencia que permita juzgar la calidad de la compactación.

En esta prueba, el peso volumétrico en su estado más denso se obtiene por impacto, utilizando el martinete de la figura 3.

#### Equipo

Cucharon de lámina galvanizada de base plana  
Cajón de madera de 28.22 lt (un pie cúbico) de capacidad semejante al que se usó en el laboratorio de concreto para determinar los pesos unitarios de los agregados

Charolas de lámina galvanizada  
Pala  
Enraseado  
Escuela de 100 kg de capacidad  
Martinete  
Escala metálica de 10 cm

#### Procedimiento

1- Esta prueba se efectúa con material menor que la malla de 3" (76.2 mm). El material debe secarse al aire antes de realizar la prueba.

2- Para determinar el peso volumétrico en su estado más suelto ( $\gamma_{dm}$ ), se coloca el material en una charola, procurando que estén bien distribuidos todos los tamaños de partículas.

3- Con el cucharón de base plana se llena cuidadosamente el cajón de 28.22 lt con una altura de caída constante de 3 cm de la superficie de avance, hasta un nivel mayor que el de enrase.

4- Se enrase cuidadosamente con la regla procurando no presionar el material.

5- Se pesa el recipiente y se destapa. Los pesos anteriores se repiten por lo menos cuatro veces hasta obtener resultados consistentes.

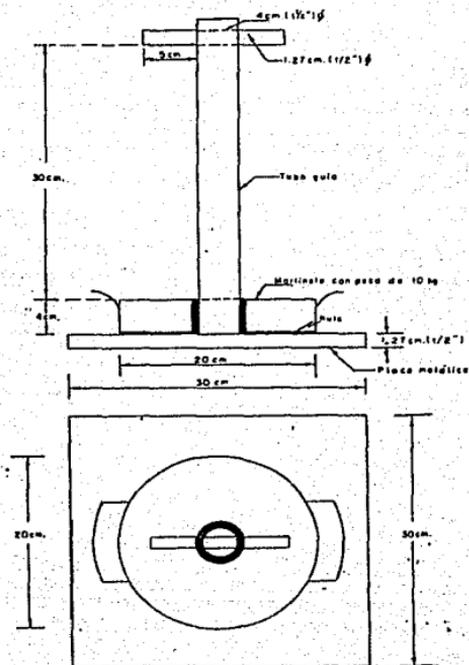
6- Para determinar el peso volumétrico seco del material en su estado más denso ( $\gamma_{dmx}$ ), se vuelve a llenar el cajón de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Se estima, en forma aproximada, el peso del material que va a llenar el cajón, y se divide en cuatro partes iguales, pesando cada una de ellas con la charola. Se coloca la primera parte y se dan 20 golpes con el martinete, procurando hacerla sobre una base firme que pueda ser un piso de concreto.

Se repite esta operación con las tres partes siguientes hasta llenar el cajón.

Se quita la extensión del cajón y, sin mover el martinete, se corrige el volumen del material compactado, ya sea restando o sumando el producto del área de la sección transversal del cajón por el promedio de la altura con respecto a la de enrase, según haya quedado abajo o arriba la superficie del material compactado en la última capa. Para facilitar esta operación, a partir de la base del martinete y con una escala metélica, deben tomarse por lo menos cuatro lecturas, una en cada lado, obteniéndose así la altura media de corrección.

Se quita el martinete, se pesa el cajón y se destara. Estas operaciones deben repetirse por lo menos cuatro veces hasta obtener resultados consistentes.



MARTINETE PARA LA PRUEBA DE COMPACIDAD RELATIVA

Fig. 3

## PRUEBA PROCTOR ESTANDAR

La prueba Proctor Estándar consisten en compactar, en un molde rígido metálico, un cierto número de capas sucesivas de suelo con un determinado número de golpes, uniformemente distribuidos, de un martillo con peso, dimensiones y caída libre dados.

Las pruebas por impactos son, generalmente, aceptables para especificar y verificar la compactación de campo, en vista de que las diferencias entre los óptimos obtenidos con esta prueba y los de campo no son muy grandes y, generalmente, no dan lugar a errores mayores que los inevitables en complejas condiciones de campo.

La Prueba Proctor tiene dos variantes: la Estándar y la Modificada, cada una de ellas presenta cuatro alternativas.

Prueba Proctor Estándar (Se aplica una energía de 6 gr.cm/cm<sup>3</sup>): La alternativa A tiene un molde de 10.16 cm. de diámetro y altura de 11.7 cm, se usa el suelo que pasa por la malla núm 4, se llena el molde en tres capas y se compacta cada capa con 25 golpes. La alternativa B se realiza con un molde de 15.24 cm, y pasando el suelo por la malla núm 4, se coloca el suelo en tres capas iguales y cada capa se compactará con 56 golpes. La C tiene un molde de 10.16 cm de diámetro, pero el suelo pasa, previamente, por la malla de 3/4", se compacta el material en tres capas iguales dando a cada capa 25 golpes. Y la D se realiza con un molde de 15.24 cm de diámetro, utilizando el suelo que pasa por la malla de 3/4", se compactará en tres capas y dando 56 golpes por capa.

Prueba Proctor Modificada: La diferencia entre las dos pruebas es la variación de energía específica, siendo para esta prueba de 27.2 kg.cm/cm<sup>3</sup>. La alternativa A coloca el suelo en 5 capas y se dan 25 golpes por capa. En la B se coloca el suelo también en 5 capas y se dan 56 golpes por capa. En la C, el número de capas es de 5 y el de golpes por capa es de 25. En la D se usan 5 capas con 56 golpes por capa.

En México se utilizan, principalmente dos tipos que son la Prueba Proctor SCT con una energía específica igual a la de la Proctor Estándar, y la Proctor SRH que tiene una energía específica igual a 7.5 kg.cm/cm<sup>3</sup>.

La energía de compactación aplicada en la Prueba Proctor Estándar resulta, en muchos casos, insuficiente si se consideran las condiciones de compactación de campo logrados con los equipos modernos; puede ser conveniente ajustarla a las condiciones de campo.

El procedimiento descrito corresponde a la Prueba Proctor SRH (1967).

#### Equipo

Molde de 10.2 cm de diámetro y 12.3 cm de altura, con extensión de 5 cm de altura  
Base estándar de 325 kg de peso  
Balanza, con capacidad mínima de 10 kg y precisión mínima de 5 gr  
Martillo de compactación manual de 2.75 kg  
Regla metálica para enrasar  
Malla núm 4 (4.76 mm)  
Mortero y mano de mortero cubierta de hule  
Cucharón  
Horno de secado  
Desecador  
Recipientes para determinar el contenido de agua  
Charola y Espátulas

#### Procedimiento

Esta prueba se realiza con la fracción de material que pasa la malla núm 4.

1- De la muestra ya preparada, que ha pasado por la malla núm 4, se seca al aire una cantidad de suelo suficientemente grande para obtener 2.5 kg de suelo para la determinación de cada uno de los 5 puntos de la curva de compactación. Se requiere un mínimo de 5 determinaciones, dos con contenidos de agua inferiores al óptimo y dos con contenidos de agua superiores.

2- Se disgrega el suelo, con una mano de mortero cubierta de hule, cuidando de no romper granos individuales.

3- Se mezcla cada fracción de suelo (peso aproximado de 2.5 kg) con suficiente agua para obtener el contenido de agua deseado; debe tomarse en cuenta el contenido de agua del material secado al aire. Esta operación puede hacerse con atomizador.

4- Se almacena cada una de las mezclas en un recipiente de vidrio de tapa hermética para permitir que el contenido de agua sea uniforme en toda la mezcla. Si el material tiene baja plasticidad, deberá almacenarse durante 12 horas y si la plasticidad es alta, uno o dos días.

5- Se pesa el molde Proctor con su placa base.

6- Se acomoda el collarín de extensión sobre el molde.

7- Se coloca en el molde la tercera parte de una de las fracciones de suelo, aproximadamente. Se empareja la superficie con los dedos.

8- Se compacta cada capa con 31 golpes del martillo de 2.75 kg de peso, con una altura de caída libre de 30 cm. Los golpes deberán distribuirse uniformemente sobre la superficie de la capa.

9- Se repiten los pasos 7 y 8, con una segunda y tercera capa. La superficie de la tercera capa compactada deberá sobresalir de 6 a 13 mm del borde del molde, dentro del collarín de extensión.

10- Se quita con cuidado, el collarín de extensión y se enrasa el suelo con la regla metálica. En caso de materiales plásticos, es conveniente aflojar el material en contacto con el collarín, antes de quitar éste, para evitar que se desprendan trozos de suelo.

11- Después de limpiar el cilindro exteriormente, se pesan el molde (incluyendo placa base) y el suelo, con una precisión de 5 gr. El valor obtenido se anota en el registro (peso del cilindro más tara).

12- Se desarma el molde para extraer fácilmente el material. Se determina el contenido de agua con una muestra representativa tomada del centro de la muestra.

13- Se repiten los pasos 6 al 12 para las cuatro fracciones restantes de suelo, preparados como se indicó en los pasos 3 y 4.

14- Se dibuja la gráfica de peso volumétrico seco contra contenido de agua de compactación.

Es conveniente dibujar la curva de saturación completa, cuya ecuación es:

$$Y_d = \frac{S_s}{1+wS_s}$$

Donde:

w = Contenido de agua

S<sub>s</sub> = Densidad de sólidos del material

Es recomendable, obtener de cada equipo de compactación sus dimensiones y el número de golpes necesarios para obtener la energía específica de compactación.

# SARH COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

COMPACTACION :  PROCTOR estándar  
 HARVARD  
 PORTER

Procedencia BORDO PONIENTE

Identificación de Lab \_\_\_\_\_

Banco RANCHERIAS

Pozo \_\_\_\_\_

Profundidad \_\_\_\_\_

Muestra 3era. CAPA

Est. 3+680-3+859

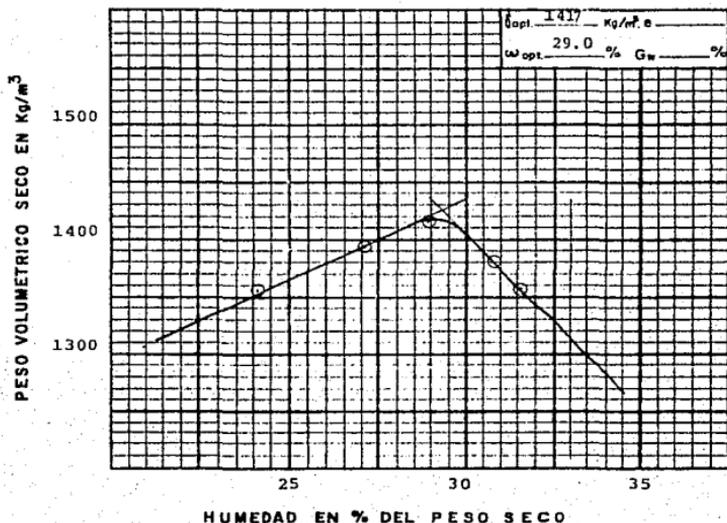
Fecha 16 III 88

Equipo usado Cilindro N° 3

Volumen: V = 1.009

Ile. \_\_\_\_\_ Peso T = 3.185 Kgs.

PESO CILIN + TIERRA W + T / W <sub>s</sub>	T. NUMERA COMPACTAD W <sub>s</sub> = W - T	MUESTRA PARA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA						W <sub>1</sub> / W <sub>2</sub> CONTENIDO DE AGUA EN %	W <sub>1</sub> / W <sub>2</sub> TIERRA SECA COMPLETA	G <sub>s</sub> - W <sub>1</sub> / V PESO VOL. SECO g/cm <sup>3</sup>
		TARA	PESO TARA	TARA + MUEST. HUMEDA	TARA + MUEST. SECA	W <sub>w</sub> PESO AGUA	W <sub>d</sub> PESO SECO			
4.885	1.700					19.8	80.5	24.2	1368	1356
4.971	1.786					21.3	78.7	27.0	1406	1393
5.026	1.841					22.4	77.6	28.8	1429	1416
5.008	1.823					23.6	76.4	30.8	1393	1380
4.990	1.805					24.1	75.9	31.7	1370	1358



Observaciones MATERIAL TOMADO DE CALAS

Operador EDUARDO MONDRAGON Calculó EDUARDO MONDRAGON Fecha 16 III 88

## PRUEBA PORTER

El tipo de compactación de carga estática que se aplica en la prueba, puede compararse con la forma hasta cierto punto relativa con el tipo de compactación que se obtiene con los rodillos lisos o neumáticos y en general con la de cualquier equipo que compacte el suelo de arriba hacia abajo.

Esta prueba está limitada a los suelos que pesan totalmente por la regla de 1". Deberá efectuarse también en arenas de río o de mina, arenas producto de trituración, tazontles francamente arenosas y en general en todos los materiales que carecen de cementación.

La humedad óptima de compactación es la humedad requerida por el suelo para alcanzar su peso volumétrico seco máximo, cuando es compactado con una carga unitaria de 140.6 kg/cm<sup>2</sup>.

### Equipo

Molde cilíndrico de compactación de 15.25 cm (6") de diámetro interior y 20.32 cm (8") de altura, provisto de una base con dispositivos para sujetar el cilindro.

Una máquina de compresión con capacidad mínima de 40 ton y 100 kg de aproximación.

Una varilla metálica de 1.9 cm de diámetro (3/4") y 30 cm de longitud con punta de bala, para el picado del material en el molde.

Una placa circular para transmitir la carga, con un diámetro de 15 cm, ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, que pueda adaptarse al vástago que transmite la carga del material.

Malla de 25.4 mm (1")

Balanza de 10 kg de capacidad mínima y sensibilidad de 1 gr

Balanza de sensibilidad de 0.01 gr

Cápsulas para determinación de humedad

Horno con temperatura constante de 105 °C

Charolas de lámina galvanizada

Probeta graduada de 500 cm<sup>3</sup>

Probeta graduada de 1000 cm<sup>3</sup>

Regla metálica de 15 cm graduada o vernier

### Procedimiento

1- La muestra para efectuar la prueba deberá pesar aproximadamente 16 kg y se secará puesta al sol o en charolas de lámina en un horno a temperatura de 40 a 50 °C.

Si la muestra tiene una humedad que permita su disgregación, no será necesario someterla a secado.

2- Después del secado, cuando lo requiere el material, se procede a la disgregación de la muestra.

3- Una vez lograda la disgregación de los grumos, la muestra se tamiza por la malla de 1". Se toman porciones representativas de 4 kg del material que pase por la malla de 1" para las determinaciones que se indican a continuación.

4- Se incorpora cierta cantidad de agua, cuyo volumen se anota, a los 4 kg de material preparado y una vez lograda la distribución homogénea de la humedad, se coloca en tres capas dentro del molde de prueba y a cada una de ellas se le dan 25 golpes con la varilla metálica.

5- Al terminar la colocación de la última capa se compacta el material aplicando carga uniforme y lentamente hasta alcanzar la presión de 140.2 kg/cm<sup>2</sup> (25650 kg debe marcar la carátula de la máquina de compresión), en un tiempo de 5 minutos, la que debe mantenerse durante un minuto e inmediatamente hacer la descarga lentamente en el siguiente minuto. Si al llegar a la carga máxima no se humedecen la base del molde, la humedad del espécimen es inferior a la óptima.

6- A otra porción de 4 kg de material se le adiciona una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior más 80 cm<sup>3</sup> y se repite el proceso descrito. Si al aplicar la carga máxima se observa que se humedece la base del molde por haberse iniciado la expulsión de agua, el material se encuentra con una humedad ligeramente mayor que la óptima de compactación, en caso contrario, a otra porción de 4 kg del material se le adiciona una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior más 80 cm<sup>3</sup>.

Para fines prácticos se considera que el espécimen se encuentra con su humedad óptima cuando se inició el humedecimiento de la base de molde, siendo esta humedad la adecuada para efectuar la compactación.

#### Cálculo

Se determina la altura del espécimen, restando la altura entre la cara superior de éste y el borde del molde, de la altura total del molde y con este dato se calcula el volumen del espécimen.

Se pesa el espécimen con el molde de compactación y se calcula el peso volumétrico húmedo con la siguiente fórmula.

$$w = \frac{P_1 - P_2}{V}$$

Donde:

$w$  = Peso volumétrico húmedo, en  $\text{kg}/\text{m}^3$

$P_i$  = Peso del espécimen húmedo + peso del molde, en gr

$P_t$  = Peso del molde, en gr

$V$  = Volumen del espécimen, en  $\text{lt}$

Se extrae una porción de material para determinar la humedad.

Para determinar el peso volumétrico seco del material véase la Prueba Proctor Estándar.

## TERRAPLENES DE PRUEBA

El objeto de los terraplenes es determinar la eficiencia del equipo de compactación de campo y verificar la validez de las especificaciones y procedimientos de construcción.

Los resultados obtenidos en los terraplenes permitirán determinar el espesor de las capas y el número de pasadas del equipo más conveniente; puede presentarse el caso de que se estime necesario efectuar algún cambio en el equipo o procedimiento de construcción previstos, si se observa que éstos no son adecuados.

### Equipo

El equipo de que se debe disponer, es el necesario para efectuar las siguientes operaciones:

- a) Excavación del préstamo.
  - b) Acarreo del material del préstamo a la obra.
  - c) Tendido del material en la obra para formar la capa requerida.
  - d) Riego hasta obtener el contenido de agua adecuado.
  - e) Compactación.
  - f) Escarificación para asegurar la liga entre capa y capa.
- a) Excavación del préstamo.

El laboratorio indicará si la explotación del préstamo debe hacerse en forma integral o por capas y, de acuerdo con la especificación, se escogerá el equipo para excavación más adecuado.

Cuando la explotación es integral, debe utilizarse un equipo que ataque todo el corte, como puede ser: una pala mecánica, una cortadora elevadora, trascavo, etc.

La draga de arrastre en ciertas condiciones, puede usarse para este trabajo.

Si la explotación es por capas, se puede utilizar la trailla (escrapa) ventajosamente.

- b) Acarreo del material del préstamo a la obra.

La clase de equipo que se usa para el acarreo del material, del préstamo a la obra, se determinará únicamente por razones económicas y de construcción.

Por regla general, se utilizan camiones de volteo de diferentes capacidades o bien traillas.

c) Tendido del material.

Para extender el material en el terraplén y dar a éste el espesor adecuado, lo más conveniente es usar una motzconformadora.

También puede emplearse un empujador de cuchilla o bulldozer.

d) Riego del material para obtener la humedad adecuada.

Si en el préstamo, el material no adquirió la humedad necesaria de compactación, en el terraplén debe dársele. Para ello se utilizan pipa, mangueras, aspersores, etc.

e) Compactación del material.

Para compactar materiales impermeables o semimpermeables, lo más usual es emplear rodillos pata de cabra o neumáticos.

Los materiales permeables se compactan por vibración, o por medio de tractores o de rodillos neumáticos o vibratorios.

En lugares que no sean accesibles a los rodillos, se utilizan los pisones neumáticos manuales.

f) Escarificación para asegurar la liga entre capa y capa.

La operación de escarificar una capa rodillada deberá hacerse antes de tender el material para la siguiente, en los casos en que se forma una costra dura sobre la superficie de la capa, ya sea por el mismo rodillado, el tránsito de camiones, la acción de la lluvia, o cualquier otra causa. Para evitar que exista una liga defectuosa entre las capas, es necesario romper la costra, lo cual se logra generalmente con un rodillo pata de cabra o con un arado, sin profundizar.

La escarificación, se puede hacer con una rastra adaptada a un tractor, o bien con un arado de discos montado sobre ruedas, las cuales limitan su penetración.

## Procedimiento:

A partir de los resultados obtenidos en los terraplenes de prueba, se obtendrán los procedimientos y especificaciones para la construcción. Por ello, al construir los terraplenes de prueba, se debe operar con el equipo, personal, materiales, etc., que vayan a ser empleados en la obra.

1- Se determina la localización de los préstamos de donde se vayan a extraer los materiales para los terraplenes de prueba. En general, si la zona de préstamo estudiada está dividida en bancos bien definidos, cuyos materiales tengan características distintas, por ejemplo, bancos de material arenoso o arcilloso, deben construirse un terraplén para cada uno, porque, de los materiales, depende el equipo y forma de operar.

2- Se escoge el lugar para construir los terraplenes de prueba. Deberá elegirse un sitio próximo a la obra, para que las condiciones del material, originadas por el acarreo, sean las mismas que presentarán durante la construcción. La longitud disponible para el terraplén deberá ser de 30 m, aproximadamente, y el ancho un poco mayor que el del equipo por usarse. La altura debe ser tal que el terraplén quede formado de 6 a 8 capas, lo que da un espesor de 90 a 130 cm, aproximadamente. Al ir levantando el terraplén, se forman taludes a los lados y rampas en los extremos para que el equipo pueda entrar y salir fácilmente.

3- El lugar de desplante de los terraplenes debe limpiarse y nivelarse lo mejor posible; se puede utilizar para tal fin el empujador de cuchilla (topadora).

4- Se procede a la extracción de material con que se vaya a construir el terraplén.

5- El material es acarreado y vaciado en montículos espaciados de tal manera que, al extenderlos, la capa floja de material tenga aproximadamente 20 cm de espesor.

Obtenido el volumen para lograr una capa de 20 cm, se cubican las unidades de transporte que van a hacer el acarreo. Dividiendo el volumen necesario para formar la capa entre el volumen promedio por camión, se tiene el número de montículos que deben formarse. Conociendo este número y el área en que se van a tender, se puede determinar en la que cubrirá cada uno, y la forma de espaciarlos convenientemente.

6- Una vez colocados todos los montículos, se extiende el material con un empujador de cuchilla o motoconformadora hasta obtener una capa de 20 cm en toda la superficie del terraplén.

7- Aunque el material se haya humedecido en el préstamo puede ser necesario regar el terraplén para ajustarse la humedad especificada, o bien para dejar secar el material cuando la humedad sea mayor que la requerida.

Deben tomarse constantemente, tanto en el terraplén de prueba como en la obra, muestras de aproximadamente 200 gr del material, para determinar el contenido de agua y decidir si es necesario humedecerlo o dejar que se seque antes de que se compacte.

Para determinar el contenido de agua de trabajo adecuado y lograr un peso volumétrico igual o casi igual al obtenido en la prueba de compactación de referencia en el laboratorio, es necesario efectuar ensayos de compactación con el equipo que se tenga en la obra.

8- Una vez tendida la capa floja de 20 cm, con un contenido de agua cercano al óptimo de la prueba de laboratorio, se compacta pasando el equipo de acuerdo con la secuela siguiente:

Se marcan zonas a lo largo del terraplén de tal manera que, además de la zona por compactar, queden dos fajas, una al principio y otra al final, en las que el equipo pueda detenerse.

La zona central se divide en cuatro partes o más que se compactarán con distintos números de pasadas.

Para que cada parte quede compactada con diferente número de pasadas, el equipo dará primero seis a todo lo largo de la zona, tres en cada sentido. Para las dos pasadas siguientes, el equipo no llegará hasta el extremo de la zona, sino que se detendrá 5 m antes, quedando los 5 m finales con seis pasadas únicamente, y el resto con ocho. Para las dos siguientes (una en cada sentido) se reduce en la misma forma la zona compactada. Las últimas dos se dan en los 5 m restantes. En esta forma quedan al final 4 fajas con seis, ocho, diez y doce pasadas.



Fig. 5

Con esto terminan las operaciones necesarias para dejar compactada la primera etapa del terraplén de prueba.

El proceso para colocar, tender regar y compactar la siguiente capa es idéntico al descrito para la primera.

Así continua hasta tener un terraplén formado por seis u ocho capas en cuatro zonas con distinto número de pasadas.

9- Una vez que se ha construido el terraplén de prueba, se hacen cinco o más pruebas de cala volumétrica en cada zona correspondiente a un determinado número de pasadas del rodillo, se determina el peso volumétrico seco y el contenido de agua, así como el grado de compactación del material, y se construye una gráfica grado de compactación-número de pasadas.

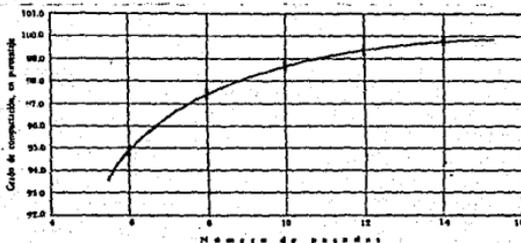


Fig. 6

Si el equipo de que se dispone es pesado, se puede repetir todo lo anterior, con un contenido de agua menor al óptimo de la prueba de laboratorio, reduciendo el número de tramos con distintas pasadas de rodillo. Esto equivale a efectuar una prueba de compactación con el equipo.

Se reúnen en una sola gráfica las curvas de grado de compactación-número de pasadas correspondientes a cada contenido de agua, y se elige éste, así como el número de pasadas más conveniente.

Una ventaja de utilizar equipo pesado, es poder obtener el peso volumétrico máximo de la prueba de laboratorio, con un contenido de agua menor que el óptimo, esto resulta favorable, porque disminuye las presiones de poro en la estructura durante su construcción.

Para unos materiales es desfavorable la compactación con contenido de agua más bajo que el óptimo, porque, al llegar a la etapa de saturación, se presenta un asentamiento súbito (reventamiento) que pueden poner en peligro la obra. Haciendo una prueba especial de consolidación, se puede prever este caso. Si no puede hacerse esta prueba, es conveniente verificar que el material no tenga un contenido de agua menor que el correspondiente al límite de contracción.

Cuando se compactan materiales arcillosos y limosos con un contenido de agua mayor que el óptimo de la prueba de laboratorio, se recomienda efectuar la construcción lentamente para permitir que las presiones de poro se disipen.

## DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO SECO EN SUELOS COHESIVOS 'IN SITU'

Se llama peso volumétrico seco el peso de las partículas sólidas y secas por unidad de volumen.

El criterio a seguir para determinar el número y colocación de las pruebas de campo, deberá tomar en cuenta los siguientes casos:

- En las zonas en que el grado de compactación sea dudoso.
- En las zonas de compactación especial.
- En las zonas en que haya concentración de operaciones, o cada vez que las condiciones de trabajo (suelo, equipo, procedimiento) cambien.

Por cada 1500 m<sup>3</sup> de terracería colocada, cuando no se localicen zonas de baja compactación.

En los lugares en que se coloquen aparatos deberán efectuarse pruebas que representen las condiciones del material en la vecindad de tales instrumentos.

Deberá efectuarse, por lo menos, una prueba por turno.

La prueba consiste en excavar una cala (pozo) en el terraplén y obtener el peso de los sólidos secos contenidos en ella, determinándose al mismo tiempo el contenido de agua del material.

El peso volumétrico seco, se calcula dividiendo el de los sólidos secos contenidos en la cala entre el volumen de la misma.

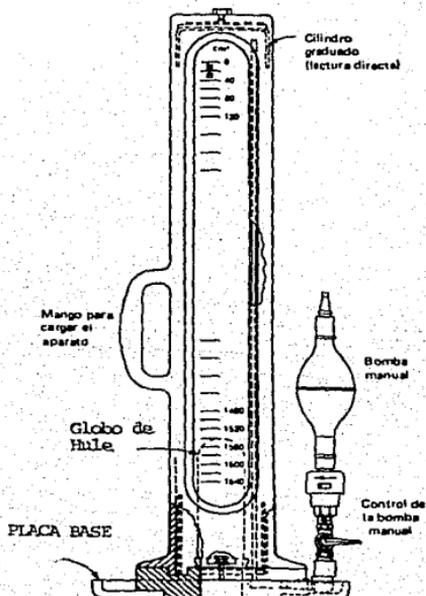
El volumen de la cala puede determinarse con agua o con arena.

## DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO 'IN SITU' CON MEDIDOR DE VOLUMEN

Este método permite determinar, directamente, el volumen de la cala por medio de un recipiente de vidrio graduado y de un globo de hule que se adhiere a las paredes de la cala.

### Equipo

Medidor de volumen  
Placa base perforada  
Báscula de 120 kg de capacidad con 5 gr de aproximación  
Charola de lámina de 40 X 40 X 8 cm  
Pico  
Pala  
Bote de lámina galvanizada o bolsas de polietileno  
Frasco de vidrio  
Brocha  
Espátula  
Barretas



### Procedimiento

1- Se escoge dentro de la zona en que se está trabajando, un lugar para la cala y con un cuadrado de 60 cm de lado se excavan 20 cm de profundidad como mínimo, nivelando lo mejor posible la superficie descubierta.

2- Se coloca la placa del dispositivo especial para determinar el volumen sobre el terreno ya nivelado e inmediatamente después se pone encima el medidor de volúmenes previamente lleno de agua al cual se le hace funcionar la perilla, para hacer bajar el globo de hule, hasta que no acuse ningún cambio en la lectura del cilindro graduado, anotando ésta como lectura inicial.

3- Se quita el dispositivo y se procede a extraer el material de la cala guardándolo en el bote para evitar pérdida de humedad.

4- Una vez que se ha extraído el material de la cala se procede con la brocha de cerda a limpiar perfectamente la placa metálica.

5- Se coloca nuevamente el medidor de volúmenes sobre la placa y se hace funcionar la perilla.

6- Una vez que la lectura en el cilindro graduado no cambia al hacer funcionar la perilla, se vuelve a tomar la lectura.

La diferencia de lecturas obtenidas con los pasos del 2 al 6 nos determina el volumen de la cala.

## DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO 'IN SITU' CON ARENA

El volumen de la cala se obtiene dividiendo el peso de la arena necesaria para llenarla entre el peso volumétrico de la misma, determinado en el laboratorio para idénticas condiciones de colocación.

### Equipo

Arena estándar de Ottawa 20-30 (que pasa por la malla núm 20 (0.84 mm) y es retenida en la malla núm 30 (0.59 mm)) o cualquier arena uniforme de granos redondeados, cuya granulometría sea parecida a la de arena de Ottawa

Cono

Molde cilíndrico

Recipiente, con capacidad aproximada de 4 lt, al que se adapta el cono

Placa base perforada

Recipiente de 3 lt de capacidad, con tapa hermética

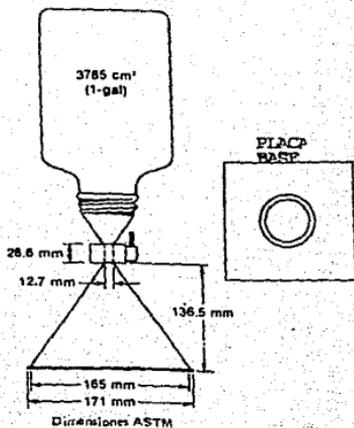


Fig. 8



## Procedimiento

1- Se llena el recipiente de 4 lt de capacidad con arena limpia y se da al torno, y se pesa con precisión dentro de 5 gr. Se tapa el recipiente para evitar pérdida de material durante su transporte.

2- En el lugar para la cala, en un cuadrado de 40 cm de lado, se excava 20 cm de profundidad, revelando lo mejor posible la superficie descubierta la tuberización del peso volumétrico luego se hace, siempre, en las capas inmediatas a la última excavada.

3- Se coloca la placa base sobre la superficie del suelo nivelado y expresada.

4- Se extrae el suelo a través de la perforación de la placa base. La cavidad debe tener, necesariamente, las mismas dimensiones que el cono utilizado para calibrar la arena.

5- El material que se va extrayendo de la cala se deposita con cuidado en un recipiente herético, el cual se tapa enseguida para evitar pérdida de humedad.

6- Se desatornilla la cubierta del recipiente con la arena debidamente, se atornilla, en su lugar, el cono. Se invierte el recipiente, y se coloca el cono en la escotadura de la placa base.

7- Se abre rápidamente la válvula del cono y se deja que la arena llene la cavidad en el suelo, la perforación en la placa base y el cono.

8- Se cierra la válvula y se invierte el recipiente. Se reemplaza el cono por la tapa rosca del recipiente.

9- Se extrae la arena de la cavidad, y se rellena esta con el material del terraplén. La porción de arena que no se haya ensuciado puede recuperarse para usarla en otras pruebas. Después de usar varias veces la arena, se llena que volver a lavar, lavar, cribar y determinar su peso volumétrico nuevamente.

10- Se desatornilla la tapa del recipiente y se pesa con la arena que contenga. Por diferencia de pesos se obtiene el material que llenó la cavidad, la placa y el cono. Con los datos de calibración, se calcula el volumen de la cavidad.

11- Se pesa el suelo de la cala, se toman aproximadamente 200 gr de material húmedo, se pesan y se colocan en el horno durante un mínimo de 18 horas.

### Cálculo

1- Determinese el peso volumétrico húmedo del suelo en el terraplén, mediante una cala.

2- Realícese la prueba Proctor especificada para la obra, con una porción representativa del material extraído de la cala.

3- Se obtiene el promedio de las determinaciones del peso volumétrico 'in situ', para comparar la compactación del material del terraplén con respecto al obtenido en la prueba Proctor; cuando se detectan zonas de baja compactación se solicita la recompactación.

4- Para determinar si el contenido de agua de campo  $w_f$ , es inferior o superior y la diferencia con el contenido de agua óptimo de la prueba Proctor especificada  $w_o$ , se resta el contenido de agua de campo  $w_f$ , del contenido de agua de la prueba Proctor.

## PRUEBA DE PERMEABILIDAD NASBERG

La prueba Nasberg permite determinar la permeabilidad local en materiales no saturados. Se utiliza en rocas muy fracturadas y suelos; la medición se debe realizar en una perforación que no haya sido hecha con lodo.

### Equipo

Sonda eléctrica  
Tubería de conducción  
Ademe N

Medidor de gastos, que puede ser un tubo Venturi o un cono con una válvula de tres vías que permiten el paso del agua a la conducción y la medición del gasto usando un tanque de volumen conocido.

Tanque para suministro de agua

### Procedimiento

Instalando el equipo como se muestra en la figura se levanta al ademe una distancia L por encima de la base de perforación y se determina  $H_0$ , se suministra agua a la perforación con un gasto constante, midiendo el nivel del agua dentro de la perforación; se anota en la hoja de registro la variación de nivel en el tiempo y cuando se haya estabilizado el nivel del agua durante 10 minutos se tendrá la profundidad de equilibrio  $H_1$  para el gasto suministrado  $q_1$ . Se hacen varias determinaciones con diferentes gastos para calcular el promedio de permeabilidad.

### Cálculo

La permeabilidad se calcula con la expresión:

$$k_1 = \frac{0.423}{(h_1)^2} q_1 \log_{10} \frac{4(h_1)}{D}$$

Donde:

$k_1$  = Coeficiente de permeabilidad local (m/seg)  
 $h_1$  =  $H_1 - H_0$  = Carga hidráulica de equilibrio (m)  
 $q_1$  = Gasto constante suministrado (m<sup>3</sup>/seg)  
 $D$  = Diámetro de la perforación (m)

La fórmula es aplicable para  $25 < h_1/D < 100$  y el radio de influencia (R) de la prueba es:

$$R = \sqrt{q/\pi k}$$

Si  $L < D$  la permeabilidad determinada es vertical y si  $L > 4D$  será la horizontal.

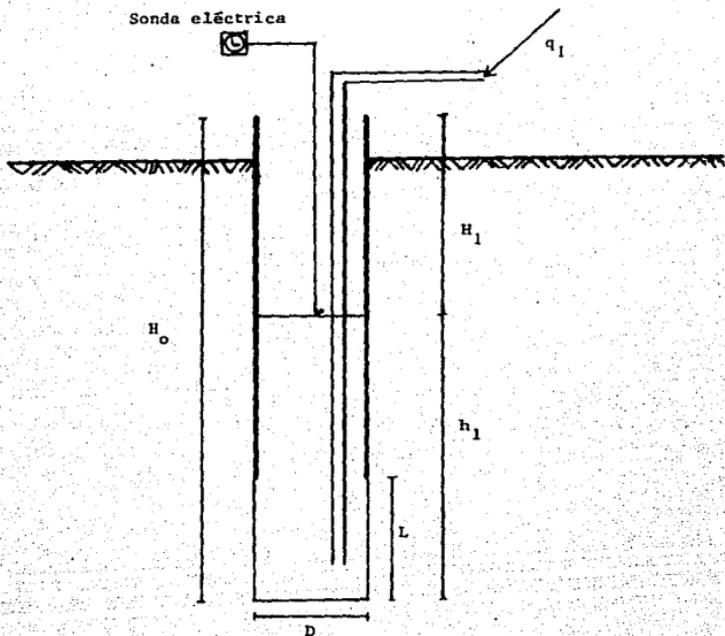


Fig. 9 Prueba de Permeabilidad Nasberg

## PRUEBA DE PLACA

La prueba de placa se usa para medir el valor portante de los suelos a cualquier profundidad, tanto del terreno natural, como de la terracería o de cualquier capa de pavimento flexible.

En el caso de rocas afecta una zona de espesor reducido al sitio de ensaye. Se recomienda para zonas de diferente deformabilidad.

Según el tipo de problema en estudio, se tienen las siguientes características:

a) Terracerías y carreteras

Placa de 30.5 cm (12")  
Deformación de 0.508 cm (0.2")  
Diez repeticiones de carga

b) Aeropistas

Placa de 76.2 cm (30")  
Deformación de 1.27 cm (0.5")  
Diez repeticiones de carga

c) Para otro tipo de obra se deberán definir las características

### Equipo

Intervienen tres tipos de sistemas:

- a) Sistemas de reacción
- b) Sistemas de carga
- c) Sistemas de medición de deformación

a) Sistemas de reacción

Será proporcionado por un camión con un peso mínimo de 12 toneladas para pruebas en terracerías y carreteras, y de 20 toneladas para trabajos en aeropistas. Deberá contarse con una estructura apropiadamente rígida contra la que se puedan ejercer tales empujes; la defensa o la armadura del vehículo suelen ser lo apropiado para ello.

Para rocas, se acostumbra hacerla después de preparar la superficie de apoyo de la placa, tanto en trincheras como en el interior de túneles o socavones excavados especialmente para la prueba. En túneles y socavones, la prueba puede realizarse simultáneamente en las dos paredes laterales o en el techo y piso.

b) Sistemas de carga

Está constituido por un gato hidráulico con manómetro y sus demás aditamentos y por un juego de placas circulares, con 2.5 cm de espesor mínimo y con las siguientes dimensiones.

-Terracerías y carreteras. Por lo menos se usarán dos placas, de 30.5 cm (12") y de 15.24 cm (6").

-Aeropistas. Por lo menos se usarán cuatro placas, de 76.3 cm (30"), 60.96 cm (24"), 45.70 cm (18") y 30.50 cm (12"); resulta conveniente añadir la placa de 15.24 cm (6").

c) Sistemas de medición de deformaciones

Está constituido por dos o más micrómetros, con aproximación de 0.01 mm; si son dos, deberán colocarse en oposición, a 180°; si son tres, con separación angular de 120° y si son cuatro, lo que es preferible, en cruz. Los micrómetros estarán a una distancia mínima del borde de la placa de asiento (la mayor) de 2.5 cm.

Se deberá contar con cronómetros.

Procedimiento

1- Se centra cuidadosamente la placa bajo el gato hidráulico, colocándola sobre una capa de arena fina o yeso, para proporcionarle un asiento uniforme; sobre la placa de asiento y concéntricas con ella se colocan las demás placas, en orden decreciente de diámetros.

2- Para ajustar los sistemas de carga y control se aplica rápidamente, retirándola de inmediato, una carga suficiente para producir una deformación no menor de 0.25 mm (0.01"), ni mayor de 0.5 mm (0.02"). Después se aplica la mitad de la carga anterior y se ponen en cero los micrómetros para empezar la prueba; esta última carga es llamada de ajuste.

3- Se aplica a continuación una carga que provoque una deformación aproximada de 1 mm (0.04") y se sostiene hasta que la velocidad de deformación sea de 0.025 mm por minuto (0.001"/min), durante tres minutos seguidos. Después se quita esta carga y se observa la recuperación, hasta que alcance un cambio de 0.025 mm por minuto (0.001"/min), también durante otros tres minutos. La misma carga se aplica y se retira de la misma manera seis veces, registrando todas las lecturas de los micrómetros.

4- Se incrementa la carga hasta producir una deformación aproximada de 5.08 mm (0.2"), aplicándola y retirándola seis veces, siguiendo el procedimiento antes descrito.

5- Finalmente la carga se incrementa hasta dar una deformación aproximada de 10.1 mm (0.4") y se sigue el procedimiento anterior.

6- En todos los casos, el punto final de cada etapa se obtendrá al alcanzar una velocidad de deformación o de recuperación de 0.025 mm por minuto (0.001"/min) o inferior, durante tres minutos consecutivos. Para rocas, la carga máxima aplicada deberá ser 1.5 veces la que será impuesta a la masa rocosa, y se alcanzará en el último de una serie de 3 a 5 ciclos de carga y descarga.

7- La deformación para una carga dada en cualquier tiempo, se determina por promedio aritmético de las lecturas de todos los micrómetros.

8- Deberán recabarse datos auxiliares durante la prueba, tales como temperaturas, condiciones del tiempo, operador, hora de las pruebas, condiciones extraordinarias de cualquier índole, etc.

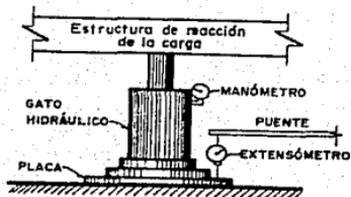


Fig. 10 Esquema del dispositivo para la prueba de placa.

## Cálculo

1- Para cada repetición de carga se determina la deformación cuando la velocidad de ésta es de 0.025 mm por minuto (0.001"/min).

2- Las cargas aplicadas leídas en el manómetro del gato, se corregirán utilizando la curva de calibración correspondiente al equipo de carga usado, que debe estar disponible por trabajo previo de calibración del gato en el laboratorio. Ya corregidas, a dichas cargas se les sumará las de ajuste (también corregidas de la misma manera) y las cargas muertas del equipo, tales como lo son los pesos de las placas, el del gato hidráulico, etc. La suma de todas las cargas mencionadas es la carga total corregida. La carga total corregida debe asociarse en cada caso con su correspondiente deformación, obtenida como se indicó en el inciso 1; tabulando los dos conceptos para las seis repeticiones indicadas en cada caso.

3- Usando los datos anteriores debe determinarse una corrección a la deformación, graficando las cargas totales corregidas contra la deformación correspondiente a la quinta repetición de la carga.

4- La operación para la deformación obtenida de la gráfica se suma a cada una de las deformaciones medidas, retabulándose los valores del inciso 2.

5- Se elaboran gráficas de las deformaciones corregidas contra el número de repeticiones de cada carga total corregida (en escala logarítmica), extrapolando las rectas que resultan hasta diez repeticiones; si algún punto cae fuera de la recta, deséchese.

6- Se dibuja finalmente las cargas totales corregidas contra las deformaciones correspondientes a diez repeticiones de carga. De esta gráfica se calcula el valor portante del suelo (módulo de reacción), entrando contra la deformación prefijada para cada caso.

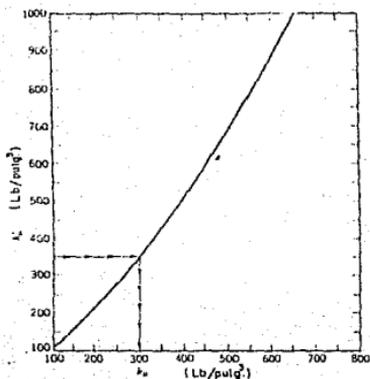


Fig. 11 Gráfica para corregir  $k$  por flexión de la placa.

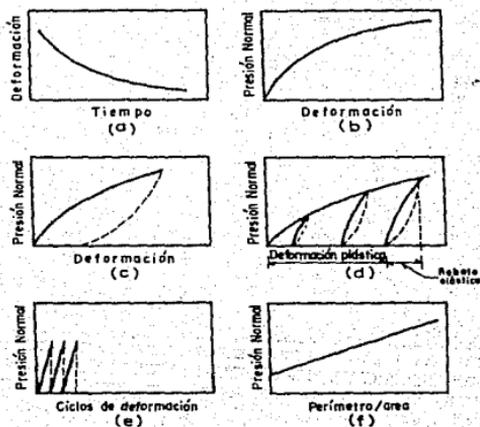
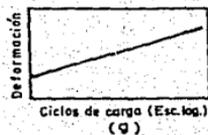


Fig. 12

Información típica que es posible obtener de una prueba de placa:

- a) Curva deformación-tiempo.
- b) Curva presión-deformación.
- c) Curva presión-deformación con descarga.
- d) Curva con aplicación cíclica de la presión.
- e) Curva de carga repetida.
- f) Efecto del tamaño de la placa.
- g) Curva de carga repetida-deformación.



## CONCRETOS

El control de calidad del concreto consiste en tratar de conseguir que la reproducción de una mezcla diseñada previamente en el laboratorio se lleve a cabo con el mayor apego posible al original.

La etapa preliminar, recomienda todas las medidas preventivas sancionadas por la práctica, con objeto de evitar cambios de calidad en el producto. Aquí se incluye el control de calidad de todas las materias primas y su dosificación, control del mezclado, transporte y colocación del concreto fresco.

La etapa final, comprueba la calidad real obtenida por el producto, se consigue mediante el ensayo de especímenes de concreto endurecido y la interpretación estadística de sus resultados, o bien con pruebas efectuadas directamente sobre las estructuras fabricadas.

## GRANULOMETRIA

La granulometria es una ley para la buena obtención de aspectos como la resistencia, compacidad y manejabilidad, requisitos indispensables de un concreto bien elaborado.

La granulometria de los agregados influye principalmente en la manejabilidad de un concreto, y manifiesta, si está manejabilidad no es adecuada, la pérdida de impermeabilidad y resistencia, debida al acomodamiento deficiente del concreto en las cimbras; a su vez incrementa los costos de la mano de obra, de acuerdo con la mayor o menor dificultad que presente para su elaboración, transporte y colocación.

Mientras la granulometria de un agregado, se aparte más de las curvas granulométricas ideales, será menos eficiente, porque las quedades deben ser llenadas con cemento, material que aumenta los costos en forma definitiva de los concretos. Para evitar el aumento en los costos, se debe obtener una mezcla lo más densa posible, la forma de lograrlo es con la combinación adecuada de los distintos tamaños de los granos de los materiales inertes.

El análisis granulométrico de un agregado, consiste en separar y conocer los porcentajes de cada tamaño.

### Equipo

Balanza de torsión, con capacidad para 1 kg y 0.1 gr de sensibilidad

Báscula de 125 kg de capacidad

Juego de mallas de 8" (203 mm) de diámetro, números: 4 (4.69 mm), 8 (2.38 mm), 14 (1.17 mm), 28 (0.59 mm), 48 (0.297 mm), 100 (0.149 mm), charola y tapa

Juego de tamices de 12" ó 16" (305 ó 406 mm) de diámetro, con aberturas cuadradas de: 6" (152.4 mm), 3" (76.2 mm), 1½" (38.1 mm), ¾" (19.1 mm), ⅜" (9.5 mm) y ⅜" (4.76 mm)

Charola de lámina galvanizada

Brochuelo de cerda y cepillo de alambre

### Procedimiento

Para la arena:

1- Se cuartea la muestra total de la arena, previamente secada, hasta obtener 500 gr con aproximación de 0.1 gr.

2- La cantidad de muestra pesada se cernirá en las mallas superpuestas de mayor a menor.

3- Vertida la muestra sobre la malla superior (núm 8), la operación de cribado se hará soportando la serie de mallas sobre los dedos e inclinándola de un lado a otro, a la vez que golpeando sus costados con las palmas de las manos.

4- Una vez que se haya comprobado que cada malla a dado paso a todo el material menor que su abertura, para lo cual se habrá observado que durante un minuto no pasa más del 1% del retenido. Las porciones se colocarán en recipientes por separado para después pesarlos.

5- Las mallas deberán quedar siempre limpias después de vaciar su contenido y para esto se utilizarán el cepillo de alambre o el brochuelo, según la abertura entre hilos.

6- Se pesa cada una de las porciones obtenidas en el cribado, con aproximación hasta de 0.1 gr en el orden de tamaños señalado, anotando el valor en el registro correspondiente. La suma de los pesos deberá coincidir con el peso total de la muestra empleada con aproximación menor de 1 gr. Por esta razón se conservarán por separado las distintas porciones después de pesadas, para en caso necesario comprobar los pesos obtenidos.

#### Para la grava:

1- Para el análisis granulométrico de la grava se requiere una muestra con un peso total no menor de 25 kg, obtenida por cuarteo. La muestra se cernirá en las mallas especificadas, separando en charolas los retenidos correspondientes. Se deberá tener cuidado de que no queden partículas aprisionadas entre los alambres que forman las mallas.

2- Una vez separado el material, se procederá a pesar cada porción en charolas taradas. Los pesos obtenidos deberán anotarse en el registro correspondiente.

El módulo de finura (M. F.) de una arena se obtiene mediante la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las cinco mallas usadas, desde la núm 8 hasta la núm 100 inclusive, dividida entre 100.

El módulo de finura de una grava se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas usadas, dividida entre 100, más cinco unidades (número de mallas para la arena).

# SARH

## COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO

DIRECCION DE GEOTECNIA  
 SUBDIRECCION DE MEC. DE SUELOS Y CONTROL DE CALIDAD  
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### ANALISIS GRANULOMETRICO

Procedencia: BANCO SANTA FE Identificación de Lab: \_\_\_\_\_  
 Banco: SANTA FE Pozo: \_\_\_\_\_ Profundidad: \_\_\_\_\_  
 Muestra: GRAVA Est: \_\_\_\_\_ Fecha: 16 III 88

MALLA	ABERTURA En mm.	PESO RETENIDO Yc	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA N° 4	MUESTRA TOTAL	
3"	76.2			100.00 %		Análisis efectuado con la muestra total de <u>26.500</u> Kg. Humedad testigo _____ % Grava W = _____ % Tierra W = _____ % % MATERIAL MENOR QUE N°4 _____ % DE GRAVA
2"	50.3					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4	7.200	27.37		72.63	
3/4"	19.1	11.040	41.88		58.12	
1/2"	12.7	6.600	25.89		74.11	
3/8"	9.5	0.715	2.72		97.28	
N°4	4.69	0.300	1.14		98.86	
Sumas		25.865	98.30			

MALLA	ABERTURA En mm.	PESO RETENIDO gr.	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULATIVO QUE PASA		OBSERVACIONES
				MUESTRA N° 4	MUESTRA TOTAL	
B	2.30			100.00 %		Análisis efectuado con muestra de _____ gr. de material menor que la malla N°4 _____ % MATERIAL MENOR QUE 200 CHAROLA N° _____ Cheque con muestra seca
14	1.19					
28	0.59					
48	0.297					
100	0.149					
200	0.074					
Sumas						
Charola						
Suma						

### HIDROMETRO N° \_\_\_\_\_

Análisis efectuado con \_\_\_\_\_ gr. secos, de material lavado y pasado por malla N° 200, S<sub>2</sub> = \_\_\_\_\_

HORA	TIEMPO	LECTURA HIDR.	LECTURA CORR.	TEMP.	R	M <sub>20</sub> R <sub>20</sub>	% ACUMULATIVO		ALTURA DE CAIDA cm.	DIAMETRO EN mm.
							PASA 200	PASA 4		
	20 seg.									
	40 "									
	1.20 min.									
	2.50 "									
	5 "									
	10 "									
	15 "									
	20 "									
	25 "									
	30 "									
	1 hora.									
	1 1/2 "									
	2 "									
	3 "									
	24 "									

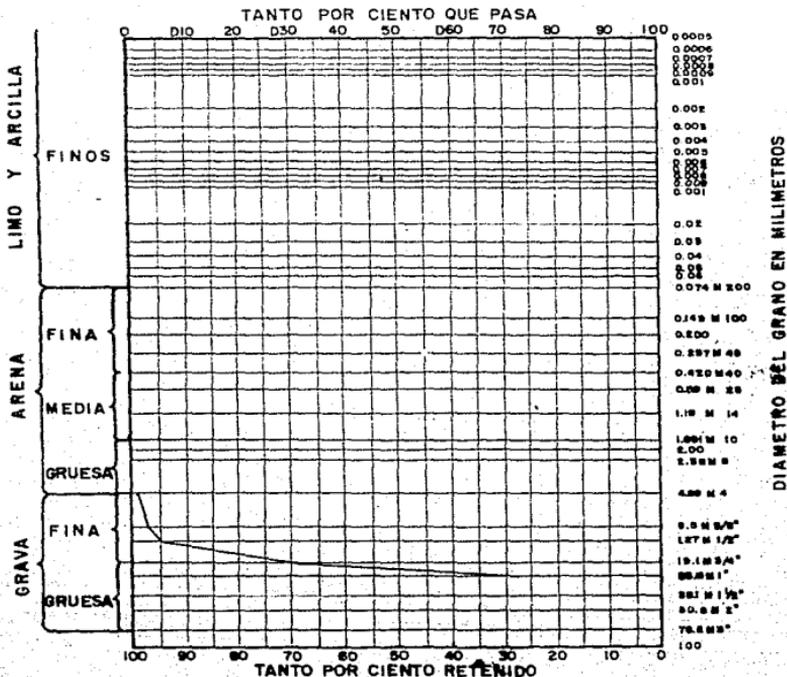
Observaciones: TAMANO MAXIMO 1 1/2"  
 Operador: BECS. Cálculo: EDUARDO HONDRAGON Fecha: 16-III-88.

# SARH

COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO  
 DIRECCION DE GEOTECNIA  
 SUBDIRECCION DE MEC. DE SUELOS Y CONTROL DE CALIDAD  
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

## GRAFICA GRANULOMETRICA

Procedencia: SANTA FE Identificación de Lab.  
 Banco: SANTA FE Pozo Profundidad  
 Muestra: GRAVA Est. Fecha 16 III 88



TOTAL, % Grava 98.30 % Arena 1.70 % Fines Cu = D<sub>60</sub> / D<sub>10</sub> = 1.71  
 PASA 4, % Arena 19.0 % Fines Co = (D<sub>60</sub>)<sup>2</sup> / (D<sub>30</sub> × D<sub>90</sub>) = 1.07  
 D<sub>10</sub> = 14.0 D<sub>30</sub> = 19.0 D<sub>60</sub> = 24.0

Observaciones: BECS TAMANO MAXIMO 1 1/2"  
 Operador: Calculo EDUARDO MONDRAGON G. Fecha 16-III-88

### Pruebas en concreto fresco.

Las funciones principales de las pruebas de concreto fresco son: determinar de inmediato las características del concreto fresco, y comprobar posteriormente las propiedades del concreto endurecido.

La determinación de características del concreto fresco tiene utilidad inmediata, porque sus resultados permiten juzgar si se está produciendo conforme a lo requerido, o de lo contrario tomar las medidas correctivas necesarias.

La muestra para las pruebas de resistencia de cada clase de concreto, deben tomarse no menos de una vez por día, ni menos de una vez por cada 120 m<sup>3</sup> de concreto, o por cada 450 m<sup>2</sup> de la superficie en que se colocó.

El concreto fresco empleado en una prueba de calidad no debe utilizarse en otra, por lo que para cada ensaye se deberá utilizar una muestra nueva.

## REVENIMIENTO

La consistencia es una de las formas de calificar la manejabilidad de un concreto y se determina mediante la prueba llamada de revenimiento, la cual no es otra cosa que el asentamiento que presenta una muestra fresca al quitársele el molde en que inicialmente se había colocado, es decir, la diferencia de altura entre el molde y la que adquiere la mezcla después de quitarlo, determina el revenimiento, el cual se expresa en centímetros y varía especialmente en función del agua adicionada a la mezcla, misma que actúa como lubricante entre las partículas que integran un concreto; por lo que muestra en cierta forma, la facilidad o dificultad de manejo interno que tiene una mezcla dada y la facilidad o dificultad a segregarse, o consistencia.

### Equipo

Cono truncado de lámina galvanizada núm 8, de 8" (20 cm) de diámetro interior en su base inferior; 4" (10 cm) de diámetro interior en su parte superior, y 12" (30.5 cm) de altura, provisto de asas y orejas para sujetarlo durante la prueba.

Charolas

y Cucharón

Varilla de hierro redondo liso de 3/8" (15.87 mm) de diámetro, de 60 cm de largo aproximadamente y con punta en forma de casquete esférico de 16 mm de diámetro

Guantes de hule

Escala de 30 cm, graduada en mm

### Procedimiento

1- La muestra de concreto fresco, que va a servir para la prueba, se uniformiza mezclándola con el cucharón.

2- Se coloca el molde sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, sujetándolo con los pies.

3- Mediante el cucharón se vierte el concreto fresco en el interior del molde, hasta ocupar una tercera parte de su volumen.

4- Acto continuo, se apisona 25 veces en toda la superficie.

5- El cono deberá llenarse en tres capas, las cuales se trabajan, cada una como se indica en los pasos 3 y 4, solamente que al golpear con la varilla, la segunda y tercera capa, deberá tenerse la precaución de que aquella no penetre más de 1" (25.4 mm) en la capa colocada anteriormente.

6- Terminado el llenado se enrasa con la misma varilla y se retira toda la mezcla que haya caído exteriormente.

7- Inmediatamente después de la operación anterior se quita el molde, para lo cual debe sujetarse por sus asas; se quitan los pies de las orejas y se tira hacia arriba verticalmente y de una manera continua.

8- Se coloca el molde a un lado de la muestra de concreto y mediante la varilla y la regla graduada se toma la diferencia de altura, si la superficie de concreto es muy irregular, deberán tomarse tres lecturas sobre su diámetro y promediarse.

## FLUIDEZ

La fluidez es otra de las características que sirven para calificar la manejabilidad de un concreto y se determina mediante la prueba que lleva el mismo nombre, la cual consiste en conocer la dificultad o facilidad que presenta una mezcla de concreto, al deslizamiento sobre una superficie, originada por movimientos iguales y consecutivos, los cuales obligan al concreto a extenderse.

El aumento de superficie final alcanzado por la mezcla y expresada como % con relación a la superficie de la base inferior del molde que ocupó se llama fluidez.

### Equipo

Molde, cono truncado con diámetro interior en la base inferior de 10" (254 mm), 6 3/4" (171 mm) de diámetro en la base superior, y 5" (127 mm) de altura.

Pisón, varilla de madera dura, redonda, lisa, de 5/8" (15.8 mm) de diámetro y 24" (61 cm) de largo con punta en forma de bala.

Mesa de fluidez de 30" (76.2 cm) de diámetro y con excéntrico para caídas de 1/8" (12.7 mm) o más.

Flexómetro

Cucharón

Charolas

Gautes de hule

Cronómetro

### Procedimiento

1- La muestra de concreto fresco que va a servir para la prueba se uniformiza mediante el cucharón.

2- Se centra cuidadosamente el molde cónico sobre el plato de la mesa de fluidez.

3 Se llena la primera mitad del molde, cuidando que al hacer esta operación el concreto se deposite uniformemente y sin segregaciones, lo cual se logra haciendo girar suavemente la mesa mientras se vierte el concreto.

4- Se golpea con el pisón 25 veces consecutivas el concreto depositado en el molde.

5- Se llena la segunda parte del molde con más concreto, haciendo la operación tal como se indica en 3 y se golpea con la varilla otras 25 veces, procurando que ésta no penetre más del espesor de esta última capa, y se enrasa.

6- Se limpia la superficie del disco alrededor del molde.

7- Se quita el molde.

8- Con la altura de caída de  $\frac{1}{2}$ " (12.7 mm) se golpea uniformemente el disco 15 veces en 15 segundos.

9- Acto continuo se miden 6 diámetros sobre la superficie del concreto después de trabajado.

#### Cálculo

$$\text{Porcentaje de fluidez} = \left( \frac{d}{D} * 100 \right) - 100$$

Donde:

d= Promedio en mm de 6 diámetros sobre la superficie del concreto después de la prueba.

D= Diámetro original en mm de la base inferior del molde cónico.

## AIRE INCLUIDO

El aire incluido actúa como medio muy elástico, estable y de gran valor de lubricación en el agregado fino, y su presencia permite una reducción en la razón agua/Cemento necesaria para la manejabilidad, reduce el área total del agregado que debe ser lubricado con la pasta agua-cemento, reduce la permeabilidad y el sangrado. Numerosos vacíos de aire, bien dispersados, proveen al concreto de depósitos para la compensación de las presiones creadas por los movimientos de volumen, causados por los diferentes cambios de temperatura y por la expansión del agua al congelarse. El aire incluido no debe exceder el 5% del volumen total del concreto, porque a partir de este valor la resistencia disminuye.

Debido a la gran importancia que se ha venido dando al aire incluido en los concretos y la tendencia a hacerse casi necesario su uso para proveer a los mismos de características que los beneficien, se desarrolló la siguiente prueba.

### Equipo

Medidor de aire incluido del tipo de presión, compuesto de un recipiente de metal con capacidad de acuerdo a lo marcado en el cuadro siguiente:

Tamaño máximo del agregado		Capacidad mínima del recipiente	Diámetro interior recomendado	Precisión del manómetro
mm	"	lt	cm	kg/cm <sup>2</sup>
38.1	Menor de 1½	14.2	20.2	±0.4
76.2	3 a	28.3	30.5	±0.014
152.4	6			

Debe estar diseñado para hacer una buena unión de presión con la tapa.

Tapa cónica teniendo sus superficies interiores inclinadas no menos del 20% con la horizontal, provista en su centro de un tubo de vidrio graduado, el cual debe presentar una escala graduada en unidades que directamente representen porcentajes de volúmenes de aire incluido en el concreto. Así cada unidad marcará 1% de aire incluido. El tubo de vidrio graduado estará

provisto en su extremo de un tapón de lierre hermético, una válvula de aire y una pequeña llave de purga en la pared cónica de la tapa, y el sistema de ajuste deberá ser tal que no permita pérdida de agua o presión.

Bomba de mano  
Charola  
Fuchardón  
Cronómetro  
Rosero  
Pisón (varilla de madera)  
Martillo (cabeza de hule)

#### Procedimiento

1- Con una muestra representativa del concreto fresco que se va a probar, se llena el recipiente en tres capas iguales, golpeando con el pisón cada una de ellas 25 veces consecutivas.

2- Se quita el exceso de concreto con una regla metálica, y se enrasa cuidadosamente a los bordes superiores del recipiente.

3- Se limpia perfectamente el borde del recipiente.

4- Se coloca la tapa cónica sobre el recipiente, cuidando, antes de hacerlo, de que la junta de hule adherida a ella esté limpia y en su sitio.

5- Se colocan las abrazaderas y se ajustan las mariposas opuestas; una vez hecho esto, se aprieta lo suficiente para evitar fugas a través de las juntas, pero sin llegar a forzar las roscas.

6- Se quita la tapa superior de la columna de vidrio, y mediante el embudo y el tubo dispersor, se vierte agua hasta llenar la mitad de la altura del tubo con índice de vidrio.

7- Se retira el embudo y el tubo dispersor. Se pone la mano sobre la parte superior de la columna y apoyando el dispositivo sobre su base, se inclina 30° de la vertical y se describen círculos llevando con la mano el tubo con el índice de vidrio, al mismo tiempo se golpea ligeramente la pared cónica de la tapa, para hacer salir las burbujas de aire que hayan quedado adheridas a la superficie interior.

8- Se regresa el dispositivo a su posición vertical y mediante el embudo y el tubo dispersor, se llena con agua el tubo con índice de vidrio, hasta un poco más arriba de la marca cero.

9- Mediante la válvula de purga, se hace descender el nivel de la agua hasta que coincida el menisco inferior exactamente con la marca cero.

10- Se coloca la tapa del tubo con índice de vidrio, apretando lo suficiente para que no haya fugas.

11- Se conecta la bomba y uniformemente se levanta la presión hasta la correspondiente para el valor P, previamente determinado en la calibración del dispositivo, más 0.014 kg/cm<sup>2</sup>.

12- Se expulsa el aire, hasta hacer coincidir la aguja del manómetro exactamente con el valor de P; lo anterior se logra quitando la bomba y presionando la válvula de inyección de aire, para abrirla ligeramente.

13- Con la aguja del manómetro marcando el valor de P, se hace la lectura de la columna de agua sobre el índice de vidrio graduado, a la altura del menisco inferior, con aproximación de 0.05. Este valor es el correspondiente a h1 y deberá registrarse.

14- Se afloja la tapa del tubo con el índice de vidrio, para bajar poco a poco la presión, hasta llegar a la marca de 0.07 kg/cm<sup>2</sup>, y en el transcurso de un minuto se quita completamente la tapa.

15- Se hace una nueva lectura del nivel del agua, sobre el tubo de vidrio graduado, con aproximación de 0.05. Este valor corresponde a h2.

#### Cálculo

El porcentaje aparente de aire incluido en el concreto es:

$$A1 = h1 - h2$$

Se repiten las operaciones del número 10 al 15 inclusive, sin restablecer el aforo en cero, hasta que dos determinaciones consecutivas de aire incluido aparente no varíen en más de 2%.

El porcentaje del contenido de aire A en la muestra, será igual al contenido de aire incluido aparente A1, menos el factor de corrección del agregado A2.

$$A = A1 - A2$$

Factor de corrección del agregado.

Las partículas del agregado son generalmente porosas y por lo tanto capaces de retener aire. Este aire A2 en la determinación del contenido aparente, queda incluido en A1, por lo que hay que determinarlo y restarlo al valor A1.

### Procedimiento

1- En distintos recipientes y por espacio de cinco minutos, se ponen en inmersión de agua los agregados que se vayan a estudiar, en proporción igual de arena y grava a la que tendrán para formar el concreto.

2- A los cinco minutos se retira el exceso de agua.

3- Estando el recipiente con una tercera parte de su volumen lleno de agua, se colocan alternativamente una capa de arena y dos de grava hasta llenarlo.

4- Una vez lleno el recipiente, se golpea la pared del mismo, se elimina la espuma, el agua sobrante, y se coloca la tapa siguiendo la secuela marcada en los pasos del 3 al 15.

5- El factor de corrección del agregado A2 será igual a:

$$A2 = h1 - h2$$

## TEMPERATURA

El agrietamiento por contracción que ocurre en la superficie del concreto fresco poco después de haber sido colado y cuando todavía está en estado plástico se le llama "agrietamiento por plasticidad".

Se debe vigilar la temperatura en el concreto fresco para evitar la contracción y formación de grietas, antes de que haya endurecido la superficie, debido a los cambios de volumen presentados por el descenso de la temperatura inicialmente elevada.

La manera de evitar el agrietamiento por plasticidad, es controlando la temperatura del concreto fresco, para esto es usual el control de temperatura de los materiales, de estos el agua es el más fácil de mantener a la temperatura adecuada.

Otros fenómenos ocasionados por el aumento de temperatura del concreto fresco son: Aumenta la cantidad de agua necesaria para la mezcla, aumentando la relación agua-cemento, disminuyendo la resistencia del concreto endurecido. En caso de no aumentar la cantidad de agua se ocasiona un aumento inicial de la resistencia, pero con la edad la resistencia disminuye.

También acelera el fraguado y por tanto acorta el tiempo dentro del cual el concreto puede manejarse.

### Equipo

Termómetro con escala de 0 a 50 °C y divisiones en grado, de 15 cm de longitud, con punta metálica en forma de bala.

### Procedimiento.

1- Estando en la charola donde se vació el concreto para muestrearlo, se introduce el termómetro en éste, antes de cinco minutos de la operación de muestreo.

2- Una vez que se estabiliza la columna de mercurio del termómetro, se hace la lectura y se retira.

En caso de no contar con termómetro especial para concreto, puede usarse cualquier otro. Con objeto de proteger el bulbo de mercurio al introducirlo al concreto, es conveniente hacer una punzadura, mediante una varilla, donde se introducirá posteriormente el termómetro.

## PESO VOLUMETRICO Y RENDIMIENTO

Esta prueba incluye el procedimiento para determinar el peso, por metro cúbico de concreto recién mezclado, y proporciona fórmulas para calcular el volumen de concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales componentes, también el rendimiento, es decir, el volumen de concreto por unidad de volumen de cemento y el factor real de cemento.

### Equipo

Balanza con aproximación de 0.05 kg.

Varilla metálica para compactar, de 5/8" (1.59 mm) de diámetro.

Medida. Un recipiente cilíndrico de metal, de preferencia con asas. La medida deberá estar reforzada alrededor de su parte superior, con una banda de acero del núm 10 al núm 12, de 3.8 cm de ancho. Según el tamaño nominal de agregado grueso del concreto, las medidas requeridas tendrán capacidad de 0.015 ó 0.030 m<sup>3</sup> y estarán de acuerdo con la siguiente tabla:

Capacidad en m <sup>3</sup>	Diámetro interior en mm	Altura interior en mm	Espesor de la lámina en mm	Tamaño máximo del agregado grueso (2") inclusive
0.015	255±2	295±2	10 a 12	Hasta 50.8 mm (2") inclusive
0.030	355±2	305±2	10 a 12	Más de 50.8 mm (2")

Se calibrará determinando con exactitud el peso del agua a 16.7 °C que se requiere para llenarla. El factor, para cualquier medida, se obtiene dividiendo el peso volumétrico del agua a 16.7 °C (978.8 kg/m<sup>3</sup>) entre el peso del agua (a 16.7 °C), en kg, que se requiere para llenar la medida.

### Procedimiento

1- Una vez uniformizada la mezcla, se vierte el concreto en la medida, la cual se llenará en tres capas.

2- Cada capa se golpeará con la varilla en toda la superficie de concreto, cuidando que al golpear la segunda y tercera capas no penetre la varilla más de 2.5 cm en la

anteriormente compactada. Cuando se use una medida de 0.015 m<sup>3</sup>, cada capa se compactará con 25 golpes; cuando se use una de 0.030 m<sup>3</sup>, cada capa se compactará con 50 golpes.

3- La superficie exterior de la medida se golpeará ligeramente de 10 a 15 veces, o hasta que no aparezcan burbujas grandes de aire en la superficie de la capa compactada.

4- Después de la compactación de la tercera capa, la superficie superior deberá enrasarse y pulirse con una placa de cubierta plana, teniendo cuidado de dejar llena la medida justo hasta su nivel superior. Después se limpiará del exterior todo el exceso de concreto, y la medida llena se pesará rotondeando al más próximo de 0.05 kg.

#### Cálculo

##### Peso volumétrico.

El peso neto del concreto se calcula restando el peso de la medida del peso bruto. El peso por metro cúbico se calcula multiplicando el peso neto por el factor de la medida usada, determinado anteriormente.

Volumen de concreto. El volumen de concreto producido por revoltura se calcula con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{(N * K) + W_f + W_c + W_w}{W}$$

##### Donde:

- S = Volumen de concreto producido por revoltura, en m<sup>3</sup>
- N = Números de saco de cemento en la revoltura
- K = Peso neto de un saco de cemento, en kg
- W<sub>f</sub> = Peso total de agregado fino en la revoltura, en la condición en que se use, en kg
- W<sub>c</sub> = Peso total del agregado grueso en la revoltura, en la condición en que se use, en kg
- W<sub>w</sub> = Peso total del agua de mezclado agregada a la revoltura, en kg
- W = Peso volumétrico del concreto, en kg/m<sup>3</sup>

##### Rendimiento

$$Y = S/N$$

##### Donde:

- Y = Rendimiento de concreto, por saco de cemento, en m<sup>3</sup>
- S = Volumen de Concreto producido por revoltura, en m<sup>3</sup>
- N = Número de sacos de cemento en la revoltura

## RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión directa de un concreto, es un índice de su calidad, pudiendo derivarse de ella todos los valores de los distintos esfuerzos que se necesitan conocer para prever su comportamiento estructural.

Para determinar este valor, se requieren especímenes de dimensiones definidas que guarden cierta relación con el tamaño de los agregados que estén formando el concreto que se desea ensayar. Generalmente cuando se parte de concretos frescos, el molde que dará forma al espécimen de prueba es cilíndrico y su tamaño dependerá de la dimensión de los agregados que integren el concreto, cuando no son concretos frescos se realiza la extracción de núcleos de concreto.

Cuando el diámetro del molde no es el correspondiente para el tamaño máximo del agregado que se ha usado en el concreto que forma el espécimen, las resistencias varían.

Cuando la relación de altura a diámetro no es igual a dos, la resistencia obtenida deberá ser corregida.

Efecto de la edad sobre la resistencia de un concreto.

Aproximadamente la relación entre la resistencia de proyecto y la edad de 7 días es de 55%, a los 14 días de 75% y a los 28 días del 100% de resistencia.

### Manufactura de Cilindros

#### Equipo

Molde cilíndrico de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Todos los moldes deben estar provistos de una placa de hierro con espesor mínimo de  $\frac{1}{4}$ " (6.4 mm) con una de sus caras maquinada, la cual conviene esté ligada al molde cilíndrico mediante tornillos. Debe tenerse especial cuidado de que las paredes del molde y sus juntas sean impermeables para evitar la fuga del agua al moldear el concreto. Las paredes del molde y la placa adicional deberán estar siempre engrasadas.

Varilla de hierro redondo liso de  $\frac{5}{8}$ " (16 mm) de diámetro y 60 cm de largo aproximadamente, con un extremo de casquete esférico de 16 mm de diámetro

Charolas

Cucharon

Cuchara de albañil

### Procedimiento

- 1- Se coloca en una charola la muestra representativa del concreto recién mezclado.
- 2- Se uniformiza mediante el cucharón.
- 3- Se coloca el molde sobre su base previamente engrasado y en un sitio en el que no se produzcan vibraciones y pueda permanecer sin ser movido durante 24 horas.
- 4- Una vez uniformizada la mezcla, se vierte el concreto en el molde el cual se llenará en tres capas. Cada cucharada de concreto deberá depositarse en distinta dirección.
- 5- Cada capa se golpeará con la varilla 25 veces consecutivas en toda la superficie de concreto, cuidando que al golpear la segunda y tercera capas no penetre la varilla más de 25 mm en la anteriormente compactada.
- 6- Después de compactada la tercera capa, se adiciona una pequeña cantidad de concreto con la cucharada y se engrasa al borde del molde, alisando la superficie.
- 7- El molde con su contenido deberá permanecer inmóvil durante 24 horas, y se protegerá la superficie expuesta con un lienzo o papel húmedo, cuando haya desaparecido el agua superficial del concreto.

### Curado y almacenamiento de los cilindros de concreto

- 1- A todos los especímenes se les quitará el molde a las 24 horas después de su colado, para ello se tendrá el cuidado suficiente para no dañar el espécimen, evitando golpearlo en la operación.
- 2- Una vez quitado el molde del espécimen, se marcará tanto en una de sus bases como en la superficie cilíndrica, con la identificación correspondiente (número de serie, fecha de colado); al mismo tiempo se anotarán estos datos en los registros adicionales, complementándolos con la edad de prueba y fecha de ejecución.
- 3- El espécimen se protegerá de la pérdida de humedad colándolo en el cuarto de curado a una temperatura comprendida entre 21 y 25 °C, humedad relativa del 100%, inmersión de agua, o enterrándolo en arena, la cual estará perfectamente húmeda.

### Preparación de las Bases de los Cilindros de Prueba

Las bases de los especímenes no presentan superficies verdaderamente planas, por lo que siempre hay la necesidad de emparejarlas con algún material lo suficientemente resistente y capaz de transmitir, antes de deteriorarse, las cargas que se apliquen durante la prueba. La sustancia más satisfactoria en uso es el azufre industrial o flor de azufre.

#### Equipo

Placa maquinada provista de guías normales a la base, con depresión circular en el centro, de un diámetro suficiente o mayor para alojar la base del cilindro

Martillo de cabeza de hule

Espátulas

Recipiente metálico para fundir azufre

Parrilla o estufa

Azufre

Cinzel

Nivel

Cepillo de alambre

#### Procedimiento

1- Al ser tomados los cilindros del sitio que ocupaban durante su curado, deberán secarse superficialmente.

2- A las bases se les quitará la costra natural de concreto, mediante piquetes con el cinzel a una profundidad no mayor de 1.5 mm, con el objeto de hacer una superficie rugosa que permita una mejor unión con el azufre.

3- Después de picarse las superficies de las bases, se limpian con un cepillo de alambre para eliminar todo el polvo y partículas sueltas.

4- Una vez limpio el cilindro se miden varios diámetros y alturas, se promedian y se registran. También se pesará el cilindro.

5- La superficie de la base superior así preparada, será normal al eje del cilindro, la cual servirá de base inferior. Al girar el cilindro para preparar la base opuesta siguiendo los mismos pasos adelante descritos.

6- Se dispone la placa maquinada con depresión en el centro, debidamente engrasada sobre una superficie a nivel.

7- Se vierte sobre ella el azufre fundido hasta llenar la depresión central.

8- Inmediatamente y antes de que cristalice el azufre, se coloca el cilindro presionándolo contra la placa y se deja enfriar el azufre.

9- Se golpea ligeramente con el martillo la placa para despegar de ella el azufre.

10- Las bases así preparadas estarán terminadas para servir de apoyo a la carga que se aplique. Hay que cerciorarse si la lámina de azufre es compacta y está íntimamente ligada a la base del cilindro; para ello basta con golpear ligeramente con los nudillos de los dedos la superficie de azufre y apreciar su sonido. Si hay algún punto hueco o fallo en la liga, se quitará la lámina de azufre colocando una nueva.

11- Si los cilindros se van a probar después de algunas horas de preparadas sus bases, deberán ser protegidos de la pérdida de humedad.

El calentamiento y enfriamiento alternados del azufre después de una serie de ciclos, proveen a éste de cierta elasticidad que lo hacen impropio para usarse, por lo tanto, cuando el azufre es utilizado repetidas veces, se debe limitar a tres usos.

### Ruptura de Cilindros

Los especímenes de concreto deberán romperse o probarse a la compresión tan pronto como sea posible después de haberlos retirado del cuarto de curado.

### Equipo

Máquina de compresión: La cabeza de carga deberá presentar un casquete esférico que le permita tomar la posición exacta de la superficie de apoyo del cilindro, para lograr una carga axial. Esta deberá tener un diámetro mínimo igual a la superficie del espécimen que se va a probar y su funcionamiento deberá comprobarse al iniciar cada prueba, engrasándola y limpiándola.

### Procedimiento

1- El espécimen se deberá colocar en la mesa de la máquina, la cual presenta una serie de círculos concéntricos de distintos diámetros con objeto de que el espécimen quede bien centrado.

2- En la máquina de compresión hay que cerciorarse de que la aguja marque cero sobre la carátula.

3- Se hace funcionar la máquina de modo que el cilindro de prueba se aproxime lentamente a la cabeza de carga hasta que encuentra apoyo completo, sin ocasionar choque.

4- Se va aplicando la carga uniformemente a razón de 141 kg/cm<sup>2</sup>/min hasta la falla del espécimen.

5- La carga total necesaria para ocasionar la falla del espécimen debe ser registrada y expresarse como resistencia unitaria en kg/cm<sup>2</sup>.

#### Cálculo

Resistencia unitaria,  $f'c$  (kg/cm<sup>2</sup>) =  $P/S$

Donde:

P = Carga total registrada, en kg.

S = Sección promedio del espécimen en prueba, en cm<sup>2</sup>.

## DETERMINACION DE LA RESISTENCIA MEDIANTE EL ESCLEROMETRO

Antiguamente, los trabajadores de la construcción golpeaban con un martillo la superficie de concreto, de la cual querian conocer su estado y dureza, y según la intensidad del sonido, así como la experiencia del operador, se determinaba si el concreto probado era adecuado o no para el fin que se le tenía destinado.

Uno de los aparatos que ha tenido mayor aceptación práctica, es el desarrollado en Alemania en 1922, por el Dr. Ernst Schmidt y que recibe el nombre de esclerómetro, también conocido como martillo de rebote o martillo de impacto, el cual es el resultado del perfeccionamiento de este antiguo sistema.

Esta prueba sólo debe usarse como un método comparativo entre concretos similares y como apoyo para pruebas de ultrasonido y extracción de corazones.

Este método no se debe emplear como una alternativa para la determinación de la resistencia del concreto. Dentro de sus limitaciones es confiable para la evaluación comparativa de las resistencias.

Se debe evitar muestrear zonas que presenten huecos o áreas porosas. Hay que tener cuidado con muros menores de 10 cm de espesor y columnas de menos de 12 cm de espesor, debido a que se pueden presentar problemas de deformación elástica.

### Equipo

El esclerómetro es un instrumento cilíndrico de 30 cm de longitud y 1.8 kg de peso aproximado. A continuación se enumeran las partes de este aparato.

- 1- Tapa posterior
- 2- Resorte
- 3- Resorte de percusión
- 4- Resorte de absorción del impacto
- 5- Barra guía
- 6- Martillo
- 7- Guía del indicador
- 8- Indicador
- 9- Escala
- 10- Embolo
- 11- Botón disparador
- 12- Tapa de embolo
- 13- Seguro
- 14- Empaque

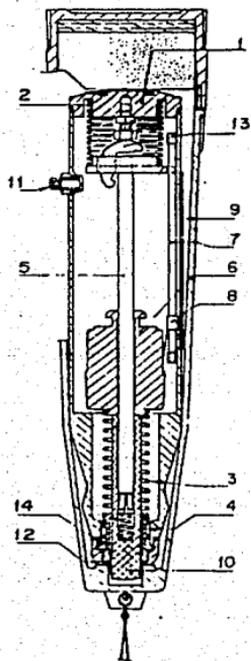


Fig. 15 Esclerómetro.

### Procedimiento

a) Hay que cerciorarse de que la superficie que se va a probar este limpia y sea uniforme.

b) Si el concreto que se va a probar no forma parte de masa firme, tiene que sostenerse de modo que no ceda al impacto, pues si se mueve durante la prueba, el número de rebote registrado será menor de lo debido.

c) Se coloca el esclerómetro en forma perpendicular a la superficie que se va a probar y se ejerce una ligera presión sobre éste, quedando entonces libre el émbolo. Se deja que éste alcance su máxima extensión eliminando la presión sobre el martillo. Una vez hecho esto, se vuelve a aplicar presión sobre el martillo, cuidando siempre que se conserve la perpendicularidad y que la presión sea uniforme hasta que la masa interna del martillo golpee la superficie de concreto.

El botón disparador no debe ser oprimido en ninguna circunstancia mientras se hace lo anterior, sino hasta que la masa haya golpeado la superficie. Este botón fija el indicador en la escala integrado al esclerómetro, facilitando así la toma de lecturas.

En concretos viejos y consecuentemente afectados por intemperismo, la superficie que se va a probar se hallará aproximadamente a 10 mm de profundidad.

Se deben tomar 16 lecturas por cada superficie de prueba.

La separación mínima entre dos impactos debe ser de 25 mm.

Se deben eliminar las lecturas que difieren del promedio de 16 lecturas en más de 5 unidades, y se determina el promedio final de las lecturas restantes. Si más de cuatro lecturas difieren en seis unidades del promedio, se deben descartar todas las lecturas y habrá que repetir el ensaye.

Las lecturas que van a ser comparadas, deben corresponder a pruebas efectuadas en la misma dirección de impacto: horizontal, vertical o inclinadas con el mismo ángulo.

### Cálculo

1.- Se registrarán las lecturas obtenidas del elemento en estudio.

2.- Se anotará el número de rebote promedio de las lecturas de la columna anterior.

3.- Se indicará el ángulo ( $\alpha$ ) en el que fue realizada la prueba, a fin de utilizar la gráfica  $f'c$  vs No. de rebote, correspondiente.

4.- Se anotará el valor de  $\sigma$  obtenido de las gráficas.

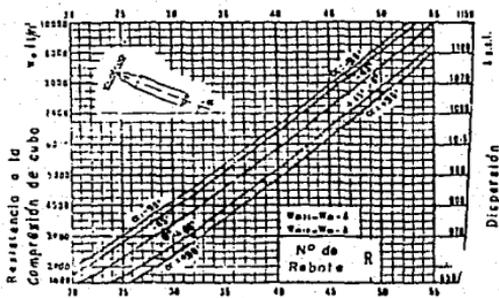
5.- Se indicará el  $f'c$  de proyecto del elemento, para fines de comparación.

Es importante que en el informe aparezca la mayor cantidad de datos posibles como son:

- Descripción de las características de la superficie de prueba.
- Composición del concreto.
- Edad del concreto en el momento de realizar la prueba.
- Tipo de cimbra usada para el modelo de la superficie de prueba.
- Nombre del operador, así como número de serie del instrumento utilizado.
- Ubicación del elemento estructural muestreado.
- Calibración hecha en obra.

Para obtener la resistencia aproximada del concreto en estudio es necesario recurrir a las gráficas  $f'c$  en función del número de rebote, identificando la curva que representa la posición del esclerómetro en la que fue tomada la lectura.

La utilización del martillo de Schmidt es sumamente sencilla, y si a esto aunamos el poco peso del equipo (aproximadamente 1.8 kg), se justifica la aceptación práctica que ha tenido este método de prueba como forma de comparación entre concretos similares. Debe recalarse que la utilización del esclerómetro solo debe usarse como método comparativo, ya que presenta como desventaja el hecho de que un elemento de concreto en obra no recibe los mismos cuidados que en laboratorio, ya sea por su tamaño o por otros factores, esto influye en el sentido de que la dureza superficial que se tiene es distinta a la dureza interna, que es la que más nos importa. El probar un mismo espécimen con dos esclerómetros nos arrojará resultados similares, pero nunca idénticos debido a distintos factores como son: los materiales de fabricación de los instrumentos, la antigüedad del aparato e incluso al operador que lo maneje.



Gráfica r'c Vs. Número de rebote  
Fig. 16

## EXTRACCION DE NUCLEOS DE CONCRETO

La extracción de núcleos de concreto se lleva a cabo con el objeto de ensayarlos y así verificar las diferentes propiedades del concreto, como son:

- Resistencia
- Modulo de elasticidad
- Peso volumétrico
- Composición petrográfica
- Composición química

### Equipo

El equipo es un conjunto de elementos cuyo fin es efectuar cortes en el concreto, consta de:

- 1- Motor
- 2- Soporte
- 3- Eje de taladro
- 4- Caja de engranaje
- 5- Base
- 6- Poste principal
- 7- Seguro de ruedas
- 8- Ruedas
- 9- Tapa del interruptor
- 10- Roturador de seguridad
- 11- Enchufe
- 12- Placa
- 13- Perno de arranque
- 14- Mango
- 15- Pernos fijos
- 16- Tuercas

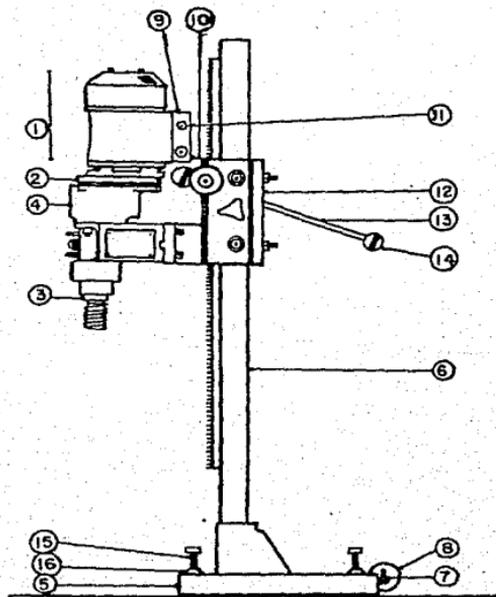


Fig. 17 Extractora de núcleos de concreto

## Procedimiento

La extracción de núcleos de concreto es la primera parte del total de la prueba; consiste en obtener un cilindro con las siguientes características:

El espécimen deberá tener un diámetro, de preferencia tres veces el tamaño máximo del agregado utilizado en la fabricación del concreto en estudio, y cuando menos dos veces el tamaño máximo de dicho agregado; deberá obtenerse en superficies planas o con una tolerancia máxima del 5% de pendiente.

Cuando se ha extraído el espécimen, se debe cortar por lo menos en cada extremo 1 cm; una vez hechos los cortes, el espécimen debe tener una relación altura/diámetro igual a 2 ( $H/D = 2$ ), como máximo, e igual a 1 ( $H/D = 1$ ), como mínimo.

1- Se elige el lugar de la extracción del núcleo de concreto.

2- Se coloca la base (5) en el piso y se atornilla al poste principal.

3- Se fija la mariposa (7) para ajustar el soporte del motor (2) con el riel de movimiento.

4- Se coloca la manivela de avance.

5- Se introduce el soporte del motor (2) en el riel del poste principal (6) y se fija con la mariposa de seguridad (7).

6- Se fijan los tornillos (15) de la base, para evitar movimientos de la máquina al encender el motor.

7- Se nivela con los mismos tornillos (15).

8- Se atornilla el brocal con la llave de tuercas.

9- Se conectan las mangueras a una fuente de agua y se revisa que la presión sea la necesaria.

10- Se verifica que el interruptor este en apagado (OFF).

11- Se conecta el cable de corriente (13), a una fuente de energía.

12- Se mueve la manivela de avance hasta que la broca quede a un centímetro del sitio de corte.

13- Se enciende el motor y se verifica que no exista movimiento propio de la máquina.

14- Se debe de asegurar que al encender la máquina el agua fluya por la broca.

15- Se enciende el motor y se mueve despacio la manivela hasta tocar el plano de corte.

16- Se le imprime un poco más de movimiento a la manivela para efectuar el corte del núcleo, considerando que debe efectuarse en forma lenta, para no dañar el núcleo que se va a extraer, ni dañar la broca.

17- Se saca la broca sin apagar el motor, cuando se llega a una profundidad de 15 cm, cuidando de no provocar cabeceo.

18- Se mueve el núcleo por varios lados de la manera de corte, con la ménsula para extraer los cilindros, hasta que se rompe el extremo final del corte.

19- Se extrae el núcleo cuidadosamente y se coloca en un lugar fresco hasta su transportación al laboratorio para cortes y ensaye.

Los puntos de donde se extraerá el núcleo de concreto depende de que se cuente con:

Profundidad suficiente para garantizar dos veces el diámetro utilizado para el corte, después de cortar el cilindro de ensaye.

Espacio para extracción libre de obstáculos, como acero de refuerzo o instalaciones ahogadas.

Concreto con más de 14 días de colada la mezcla.

Ancho suficiente para obtención de un cilindro, en corte rectangular.

Selección centrada, lejos del acero de refuerzo.

Obtención en forma perpendicular al plano de extracción.

Firmeza de la selección la cual deberá estar libre de deformaciones elásticas del elemento que se va a muestrear.

Una vez obtenido el núcleo, se deben considerar los siguientes aspectos:

Las bases deben ser planas y prácticamente lisas, no mayores del 5% de pendiente.

Las bases deben prepararse con una tolerancia no mayor de 1 mm del promedio de la suma de alturas y diámetros.

El cabeceo se efectuará antes de realizar la prueba de resistencia.

Los cilindros deben tener una relación de dos veces la altura sobre el diámetro del núcleo extraído. Si se obtiene un núcleo más largo, se recorta el núcleo para obtener la relación 2/1, pero si el corte produce un núcleo menor, se deberá considerar la siguiente relación de factores de corrección:

Relación de altura/diámetro	Factores de corrección de la resistencia por esbeltez
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

#### Cálculo

El registro de datos se presentará en un informe que contenga:

Número de identificación, localización y orientación de la perforación.

Características del concreto que se va a examinar.

Diámetro promedio del espécimen.

Longitud del espécimen antes y después del cabeceo.

Resistencia a la compresión, con aproximación de 1 kg/cm<sup>2</sup>.

Observación con respecto al tipo de falla, tamaño máximo de agregados, huecos o cualquier defecto en el espécimen.

Condiciones de curado y humedad aplicada al elemento.

Obra en estudio.

Máquina utilizada.

Fecha de extracción.

Operador.

La obtención de núcleos debe ser totalmente aleatoria al analizar la resistencia de cada proyecto, por lo que se recomienda efectuar por lo menos tres extracciones de núcleos de concreto cada 40 m<sup>2</sup> colocados, u cada 450 m<sup>2</sup> de superficie que se va a muestrear. Se deben tomar en cuenta que el mínimo permisible de muestras debe ser tres.

El concreto analizado de la zona de extracción de núcleos se considera estructuralmente aceptable, si el promedio de, cuando menos, tres cilindros probados, representa el 85% del valor esperado de la resistencia y ningún ensaye tiene menos de 75% del mismo valor esperado.

## CARACTERISTICAS QUE SE DEBEN SUPERVISAR 'IN SITU'

Además de las pruebas en el concreto fresco, es necesario realizar otro tipo de actividades para controlar la calidad de la producción de concreto 'in situ'.

Se debe vigilar que el cemento llegue en sacos, y colocarse en bodegas cubiertas, sobre plataformas de madera separadas del terreno natural 15 cm como mínimo, debiendo quedar separadas las estibas de los sacos entre sí y de las paredes del almacén, también 15 cm como mínimo.

Las estibas deben de clasificarse de acuerdo al orden cronológico en que se reciban las remesas, con objeto de utilizar el cemento en el mismo orden con que se recibió.

Supervisar que el agua sea la suficiente para la elaboración del concreto, y que debe de ser razonablemente limpia y estar libre de cualquier cantidad objetable de materia orgánica, álcalis, aceites, grasas y otras impurezas que puedan reducir la resistencia, durabilidad y otras propiedades del concreto.

Las características que se controlan del acero es el almacenamiento, el cual deberá protegerlo contra la corrosión y de alteraciones que lo dañen, reduzcan su resistencia o afecten su adherencia; se debe permitir la fácil identificación y manejo, colocándolo sobre piezas de madera, concreto o silletas de acero, para que quede separado del terreno natural una distancia no menor de 15 cm. Antes de proceder a su colocación, las varillas y otros elementos metálicos como soportes, separadores y silletas, deberán limpiarse y mantenerse hasta la colocación del concreto, libres de tierra, grasa, aceite, óxido, y otras sustancias extrañas.

## ANALISIS

Después de realizar las pruebas, el siguiente paso es el control de calidad consiste en reunir y evaluar los resultados, con objeto de establecer si la obra es de la calidad especificada.

Esto se logra llevando un análisis del control 'in situ' de calidad, siendo necesaria la utilización de métodos estadísticos, de esta manera se condensa la información obtenida de un grupo de observaciones y se presenta en forma concisa y de fácil interpretación.

Todos los datos que se obtienen de ensayos están sujetos a variaciones. Para gran número de datos, existen ciertas medidas que indican la uniformidad del producto que se está ensayando y el cuidado con el que se han hecho los ensayos.

Para que el muestreo tenga como finalidad principal obtener información aleatoria que permita definir el nivel de calidad de todo lo elaborado en un cierto lapso, y los resultados configuren el conjunto de obra muestreado, es necesario que todo el proceso de producción sea objeto de control, de modo que las variaciones del producto se motiven en errores principalmente casuales.

Lo anterior quiere decir que si se ejercen medidas de control en todas las etapas previas a la producción, las variaciones que ocurran entre una porción elaborada y otra deben seguir tendencias predecibles. Ante la imposibilidad de conocer las propiedades de todas y cada una de las porciones, es necesario acudir a análisis estadísticos para que, con cierta probabilidad de error, los datos disponibles puedan hacerse extensivos al conjunto muestreado.

Cuando tratamos de establecer si el resultado es de la calidad especificada, es posible distinguir dos situaciones principales que pueden presentarse como consecuencia de la confrontación de resultados y condiciones:

Que una determinada porción de la obra elaborada resulte de calidad francamente inferior a la requerida.

Que todo el producto elaborado durante un determinado periodo, juzgado en conjunto, manifieste un nivel de calidad inferior al establecido en las especificaciones de la obra.

Los suelos generalmente obedecen leyes dispersas de distribución en términos de:

-Tamaño de los granos, tipo de suelo, y variaciones horizontales y verticales.

-Las propiedades físicas y de ingeniería, tales como la cohesión, el ángulo de fricción interna o el módulo de elasticidad, varían de muestra en muestra de una manera aleatoria.

Si el suelo está natural o artificialmente alterado de alguna manera, tal como seco, húmedo, incrementado o disminuido en su densidad, el proceso de muestreo debe ser aleatorio, sin embargo se debe tomar en cuenta que:

La distribución aleatoria de efectos pertenece a un suelo en particular; es decir, que cuando una masa de suelo consistente en varias capas de diferentes suelos, tales como capas de arcilla, arenas, arenas limosas, etc., debemos considerar cada capa separadamente para aplicar los conceptos estadísticos. Si se combinan todas las capas, se obtendrán conclusiones estadísticas erróneas, por la aplicación incorrecta de los métodos estadísticos.

Se describen las características de las cartas de control y la distribución normal por ser dos de los métodos estadísticos más utilizados.

Antes de señalar las características de los métodos estadísticos, es necesario definir algunos conceptos relativos:

a) Medidas de tendencia central.

-Promedio aritmético

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde:

$\sum x_i$  = Suma de valores que integran un grupo.  
n = Número de datos.

-Mediana. Cuando en el grupo se colocan en orden de magnitudes, la mediana es el valor central si n es impar, o bien el promedio de los dos valores si n es par.

-Modo. Es el valor que ocurre con mayor frecuencia en el grupo.

b) Medidas de dispersión.

-Intervalo. Es la diferencia entre el valor más alto y el más bajo de los que integran el grupo.

-Desviación estándar. Es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las diferencias entre cada valor y el promedio. Su expresión es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

-Variancia. Es igual al cuadrado de la desviación estándar.

-Coeficiente de variación. Es lo que representa la desviación estándar como porcentaje del promedio. Se expresa:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100$$

## DISTRIBUCION NORMAL DE FRECUENCIAS

La función de densidad de la distribución normal es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}$$

Esta expresión determina la probabilidad que ocurra un evento; dicha probabilidad se representa por el área que se encuentra bajo la curva, de modo que como la probabilidad varía entre 0 y 1, el área total bajo la curva es igual a la unidad.

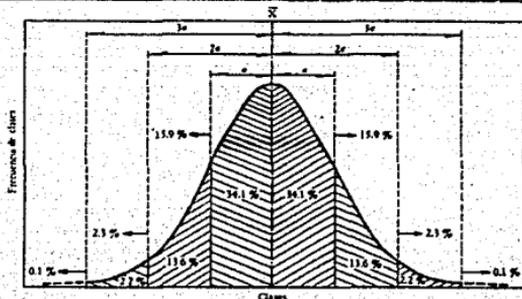
Las ramas de la curva deben ser asintóticas con el eje horizontal porque siempre existe la probabilidad de que se presenten eventos más allá de cualquier límite que se establezca.

Podemos observar que, según las propiedades de la curva, dos ordenadas situadas simétricamente hacia ambos lados del valor promedio, delimitan las siguientes fracciones del área total:

Cuando la distancia de las ordenadas respecto al valor promedio es de  $\sigma$  el área bajo la curva será el 68.2 por ciento del área total bajo la curva; si la distancia es de  $2\sigma$ , entonces será el 95.4 por ciento, y el área bajo la curva entre  $3\sigma$  será igual al 99.8 por ciento del total.

Esto significa que mientras menor sea el valor de  $\sigma$ , el área deberá extenderse verticalmente, y al aumentar  $\sigma$  el área se extenderá en sentido horizontal.

Tomando en cuenta que de  $\bar{X}-3\sigma$  a  $\bar{X}+3\sigma$  el área delimitada resulta igual a 99.8 por ciento del área total, para fines prácticos se considera que dentro de esos límites se encuentra el 100% del universo de valores, pues la probabilidad de que ocurra uno inferior a  $\bar{X}-3\sigma$ , o superior a  $\bar{X}+3\sigma$  es solamente igual a 0.2%.



Para el control de terracerías y concretos, la experiencia ha demostrado que la ecuación de la función de densidad es un buen modelo a utilizar.

Pasos para calcular  $\sigma$  con la distribución normal de frecuencias; tomando como valores, para ejemplificar el método, el porcentaje de compactación obtenido en la construcción de un terraplén.

El porcentaje de compactación se determina realizando una prueba Proctor para especificar la compactación de campo, se obtienen peso volumétricos 'in situ', para este caso con un medidor de volumen, y se comparan, dividiendo el peso obtenido en campo entre el obtenido con la prueba Proctor.

1-Calcúlese el porcentaje de compactación promedio,  $\bar{X}$ , y redondéese el resultado con una aproximación de 0.1 %.

2-Trácese el número de porcentajes de compactación en intervalos de 2 %, situando los puntos medios (promedios) de los intervalos múltiples iguales a 2 % de desviación a partir de  $\bar{X}$ .

3-Multiplíquese el número de pruebas de los intervalos de igual desviación (superiores e inferiores a partir del promedio) por la desviación al cuadrado.

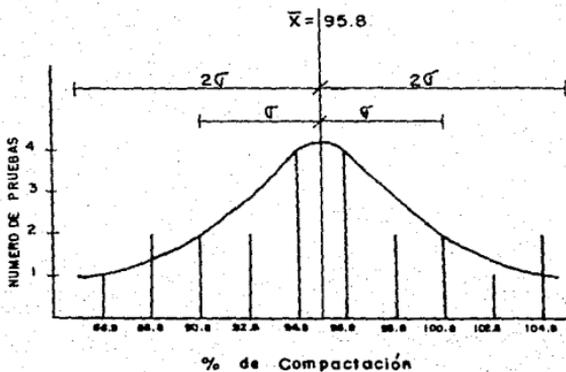
4-Determinése la suma de los productos del paso anterior. Esta suma se divide entre  $n-1$  para muestras de 30 o menor número de pruebas o entre  $n$  para muestras mayores y, con este resultado, encontramos  $\sigma$  calculando la raíz cuadrada.

Ejemplo.

1.-

$$\bar{X} = 95.8$$

2.-



3.-

$$8(1)^2 = 8$$

$$4(3)^2 = 36$$

$$4(5)^2 = 100$$

$$3(7)^2 = 147$$

$$3(9)^2 = 243$$

4.-

Suma

22

534

$$\sigma^2 = \frac{534}{21} = 25.4$$

$$\sigma = 5.0 \%$$

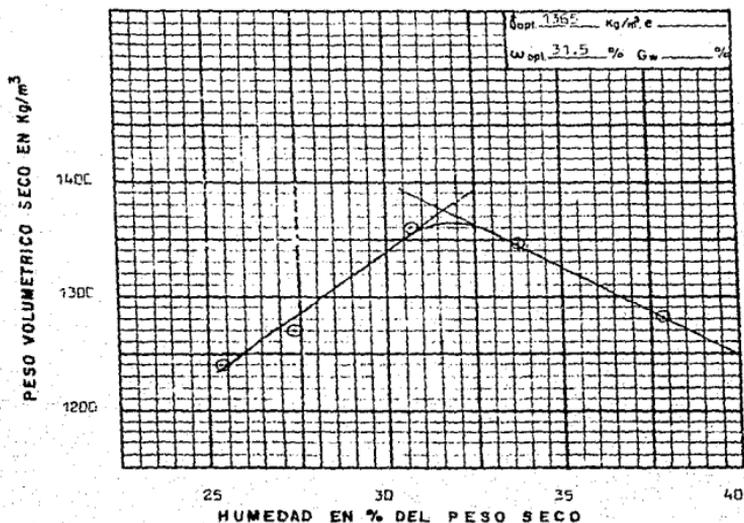
# SARH

## COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

COMPACTACION :  PROCTOR S.A.P.H.  
 HARVARD  
 PORTER

Procedencia PAVIL COLECTOR Identificación de Lab \_\_\_\_\_  
 Banco SAN GABRIEL Pico \_\_\_\_\_ Profundidad \_\_\_\_\_  
 Muestra \_\_\_\_\_ Est. C-000 F-2460 Fecha 6-11-55  
 Equipo usado Cilindro NR 1 Volumen V = 1.939 lts. Peso T = 6096 Kgs.

PESO CILIN. + TIERRA W + T W <sub>n</sub>	T. NUMERA COMPACTAD W <sub>n</sub> + W - T	MUESTRA PARA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA				W <sub>n</sub> PESO SECO	W <sub>2</sub> CONTENIDO DE AGUA EN %	W <sub>1</sub> TITULAR DE LA COMPACTADA	V <sub>s</sub> - W <sub>2</sub> PESO VITA SECO CPM
		TARA	PESO TARA	PARA DETERM. HUMEDA	PARA DETERM. SECA				
5550	745				20.2	79.8	25.3	1165	1240
5610	152				21.8	78.5	27.4	1192	1220
5760	167				23.5	76.5	30.7	1277	1360
5760	1650				25.2	74.8	33.7	1264	1346
5750	1660				27.5	72.5	32.3	1207	1221



Observaciones \_\_\_\_\_  
 Operador \_\_\_\_\_ Cálculo \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

SARH

**COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO**  
**DIRECCION DE GEOTECNIA**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

1/1

Lectura Inicial 180

## CONTROL DE COMPACTACION DE TERRACERIA

LUGAR	ESTACION	LECTURA FINAL	VOLUMEN	PESO MATERIAL HUMEDO	W CAMPO	PESO MATERIAL SECO	W OPTIMA	W. H. CAMPO	W MAX LAB.	COMPACTACION %	EFFECTO DE LA CAPA
CENTRO	0+000	650	470	710	23.2	605	31.5	1204	1365	94.9	B cm
IZQUIERDA	0+100	630	450	760	27.3	587	31.5	1326	1365	97.1	B cm
DERECHA	0+150	510	330	615	28.0	476	31.5	1444	1365	105.0	E cm
CENTRO	0+200	550	370	650	33.3	487	31.5	1317	1365	96.5	B cm
IZQUIERDA	0+300	670	490	860	29.0	666	31.5	1360	1365	95.6	B cm
DERECHA	0+400	560	390	660	20.2	504	31.5	1320	1365	97.3	B cm
CENTRO	0+500	570	390	640	30.3	491	31.5	1295	1365	92.2	A cm
IZQUIERDA	0+600	540	360	590	27.0	461	31.5	1281	1365	93.8	B cm
DERECHA	0+700	570	350	550	10.7	451	31.5	1285	1365	94.4	B cm
CENTRO	0+800	540	360	560	27.3	474	31.5	1221	1365	89.4	B cm
IZQUIERDA	0+900	640	460	830	31.2	632	31.5	1375	1365	100.7	B cm
DERECHA	1+000	490	310	560	21.5	425	31.5	1373	1365	100.6	B cm
CENTRO	1+100	610	420	750	32.0	564	31.5	1344	1365	98.7	A cm
IZQUIERDA	1+200	590	370	610	34.0	455	31.5	1230	1365	90.1	B cm
DERECHA	1+300	700	520	870	33.5	726	31.5	1397	1365	102.3	B cm

FECHA 23 DE FEBRERO DE 1968  
 OPERADOR G. F. M. G.  
 CALCULO G. F. M. G.  
 PROCEDENCIA CANAL COLECTOR  
 BANCO SAN GABRIEL

OBSERVACIONES  
 Va. Bn.  
 FRENTE MARGEN DERECHA  
 CAPA FIJADA

ESTA TESIS NO DEBE  
 SALIR DE LA BIBLIOTECA



Pasos para calcular  $\sigma$  con la distribución normal de frecuencias; tomando como valores, para ejemplificar el método, la prueba de resistencia a la compresión en concretos.

1- Calcúlese la resistencia promedio,  $\bar{X}$ , y redondéese el resultado con una aproximación de 1 kg/cm<sup>2</sup>.

2- Trácese el número de pruebas de resistencia en intervalos de 14 kg/cm<sup>2</sup>, situando los puntos medios (promedios) de los intervalos múltiples iguales a 14 kg/cm<sup>2</sup> de desviación a partir de  $\bar{X}$ .

3- Multiplíquese el número de pruebas de los intervalos de igual desviación (superiores e inferiores a partir del promedio) por la desviación al cuadrado.

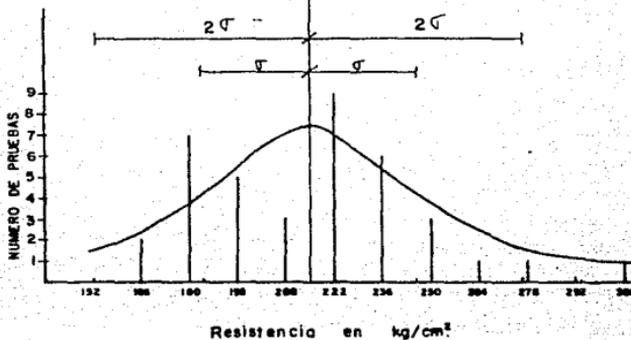
4- Determinese la suma de los productos del paso anterior. Esta suma se divide entre n-1 para muestras de 30 o menor número de pruebas o entre n para muestras mayores y, con este resultado, encontramos  $\sigma$  calculando la raíz cuadrada y multiplicando por 7, para convertir de nuevo las unidades de la desviación estándar a kg/cm<sup>2</sup>.

Ejemplo.

1.-

$$\bar{x} = 215 \text{ kg./cm}^2$$

2.-



3.-

$$12 (1)^2 = 12$$

$$11 (3)^2 = 99$$

$$10 (5)^2 = 250$$

$$3 (7)^2 = 147$$

$$1 (9)^2 = 81$$

$$0 (11)^2 = 0$$

$$1 (13)^2 = 169$$

4.-

Sumo

36

758

$$\sigma^2 = \frac{758}{38} = 19.9$$

$$\sigma = (4.46) (7 \text{ kg./cm.})$$

$$\sigma = 31.3 \text{ kg./cm.}$$

SARH

COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO  
 DIRECCION DE GEOTECNIA Y FORMACION DE LAGOS POR BOMBEO  
 SUBDIRECCION DE MECANICA DE SUELOS Y CONTROL DE CALIDAD  
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

1/3

OBRA: LAGUNAS FACULTATIVAS

## ENSAYES DE RESISTENCIA DE CONCRETOS

FRENTE: MODULO II

FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (días)	No. CILINDRO	REV (cm)	TIPO CEMENTO	ACTIVO	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTEN CIA (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	OBSERVACIONES
6-5-88	3-6-88	28	2	9	APASCO INFESTIGRA	"	15.1	0.0179	40800	227.83	91.13	
26-5-88	23-6-88	28	3	9	"	"	15.0	0.0177	38800	219.53	87.81	LOFOS
27-5-88	24-6-88	28	5	8	"	"	15.2	0.0181	36800	202.80	81.12	DEL
27-5-88	24-6-88	28	6	8	"	"	15.2	0.0181	36200	199.49	79.80	
28-5-88	25-6-88	28	9	11	"	"	15.1	0.0179	39400	220.02	88.01	BORDO PERIMETRAL
29-5-88	26-6-88	28	12	8	"	"	15.1	0.0179	34600	193.21	77.28	
30-5-88	27-6-88	28	15	10	"	"	15.0	0.0177	42200	238.81	95.52	
1-6-88	29-6-88	28	18	7	"	"	15.1	0.0179	29100	162.50	65.00	
2-6-88	30-6-88	28	21	10	"	"	15.1	0.0179	43200	241.23	96.49	
3-6-88	1-7-88	28	24	10	"	"	15.1	0.0179	44000	245.70	98.28	
4-6-88	2-7-88	28	26	7	"	"	15.0	0.0177	40000	226.36	90.54	LOFOS DEL
4-6-88	2-7-88	28	27	7	"	"	15.1	0.0179	42000	234.53	93.81	BORDO INTERMEDIO
5-6-88	3-7-88	28	29	13	"	"	15.0	0.0177	42000	237.60	95.07	EN LA LAGUNA A2
5-6-88	3-7-88	28	30	13	"	"	15.0	0.0177	44000	249.00	99.60	

V o Bo.

JEFE DE LABORATORIO

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

SARH

COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO  
 DIRECCION DE GEOTECNIA Y FORMACION DE LAGOS POR BOMBEO  
 SUBDIRECCION DE MECANICA DE SUELOS Y CONTROL DE CALIDAD  
 DEPARTAMENTO DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

2/3

## ENSAYES DE RESISTENCIA DE CONCRETOS

OBRA: LAGUNAS EDUCATIVAS

FRENTE: MODULO II

FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (días)	No. CILINDRO	REV. (cm)	TIPO CEMENTO	ADITIVO	DIAMETRO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTEN CIA (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE FC SISTENIA	OBSERVACIONES
6-6-88	4-7-88	28	31	8	APASCO	FEFESTEGPA	15.0	0.0177	41800	236.55	94.62	LOSAS DEL
6-6-88	4-7-88	28	33	8	"	"	15.0	0.0177	38000	215.04	86.02	BORDO INTERMEDIO
8-6-88	6-7-88	28	34	9	"	"	15.0	0.0177	39400	222.96	89.19	EN LA LAGUNA A2
8-6-88	6-7-88	28	36	11	"	"	15.0	0.0177	38000	215.04	86.02	
9-6-88	7-7-88	28	37	11	"	"	15.0	0.0177	32400	183.55	73.34	
9-6-88	7-7-88	28	39	11	"	"	15.0	0.0177	34200	193.54	77.42	
10-6-88	8-7-88	28	40	12	"	"	15.1	0.0179	33200	185.39	74.16	
10-6-88	8-7-88	28	42	12	"	"	15.0	0.0177	32400	183.55	73.54	
11-6-88	9-7-88	28	43	9	"	"	15.1	0.0179	36600	204.38	81.75	LOSAS DEL
11-6-88	9-7-88	28	45	9	"	"	15.0	0.0177	35600	200.12	80.05	BORDO INTERMEDIO
12-6-88	10-7-88	28	48	11	"	"	15.0	0.0177	38800	218.11	87.24	EN LA LAGUNA A1
13-6-88	11-7-88	28	51	9	"	"	15.0	0.0177	44000	247.34	98.94	
15-6-88	13-7-88	28	54	8	"	"	15.0	0.0177	54000	305.59	122.24	
16-6-88	14-7-88	28	57	10	"	"	15.0	0.0177	41800	236.55	94.62	

Vo. Bn.

JEFE DE LABORATORIO

f'c = 250 kg/cm<sup>2</sup>

## ENSAYES DE RESISTENCIA DE CONCRETOS

OBRA: LAGUNAS FACULTATIVAS

FRENTE: MUELLO II

FECHA COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (días)	No. CILINDRO	REV (cm)	TIPO CEMENTO	ADITIVO	DIAMETRO (cm)	AREA (m <sup>2</sup> )	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTEN CIA. (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA	OBSERVACIONES
17-6-88	15-7-88	28	59	10	APASCO	FESTRGRN	15.1	0.0179	47200	263.57	105.43	LOSAS DEL
17-6-88	15-7-88	28	60	10	"	"	15.1	0.0179	49200	274.74	109.90	BORDO INTERMEDIO
18-6-88	16-7-88	28	62	8	"	"	15.1	0.0179	40600	226.71	90.69	EN LA LAGUNA AL
18-6-88	16-7-88	28	63	8	"	"	15.0	0.0177	36000	203.72	81.49	
19-6-88	17-7-88	28	65	13	"	"	15.1	0.0179	32800	183.16	73.26	
19-6-88	17-7-88	28	66	13	"	"	15.2	0.0181	31800	175.25	70.10	
22-6-88	20-7-88	28	69	11	"	"	15.1	0.0179	32200	179.81	71.93	
23-6-88	21-7-88	28	72	12	"	"	15.0	0.0177	31000	175.43	70.17	
24-6-88	22-7-88	28	75	8	"	"	15.1	0.0179	36800	194.33	77.74	
25-6-88	23-7-88	28	78	10	"	"	15.0	0.0177	29600	167.51	67.00	

Vo. Ba.

JEFE DE LABORATORIO

f'c = 250 kg/cm<sup>2</sup>

## GRAFICAS DE CONTROL

Las gráficas de control son un método sistemático de detección de desviación de un estado de control estadístico debido a una variación sistemática como pueden ser máquinas en mal estado, materia prima en mala calidad, operadores mal entrenados, etc.

Existen dos tipos de gráficas de control: unas son para mediciones o variables, si las observaciones son mediciones; y gráficas de control para atributos, para datos contados o calculados.

Las partes principales de una gráfica de control son:

-Escala de calidad.

Esta es una escala vertical. La escala es marcada de acuerdo con las características de la calidad de cada prueba.

-Marcas de las pruebas.

En una gráfica de control se marca la calidad de la prueba total representada por un solo valor.

-Números correspondientes a las pruebas.

También son llamados subgrupos, estos son numerados individual y consecutivamente en una línea horizontal. La línea se coloca generalmente en la parte inferior de la gráfica.

-Tres líneas horizontales.

Una línea central continua representando la calidad promedio de las muestras marcadas sobre la gráfica. La línea arriba de la línea central muestra el límite de control superior (LCS), el cual se obtiene comúnmente aumentando  $3\sigma$  al promedio (usualmente no tiene importancia en las pruebas de resistencia de concretos). La línea abajo de la línea central es el límite de control inferior (LCI), el cual se obtiene restando  $3\sigma$  del promedio. Los límites de control inferior y superior se dibujan usualmente mediante líneas punteadas, ver el ejemplo.

En bordos impermeables es importante que el porcentaje de compactación quede comprendido entre el límite de control superior y el límite de control inferior; porque, si se rebasa el límite de control inferior, el material se rigidiza, presenta agrietamiento en caso de deformación del terreno, tiene mayor permeabilidad y es susceptible a fallas por erosión interna; Si queda arriba del límite de control superior, será un material muy deformable, de menor permeabilidad pero difícil de compactar.

Estas características dependen no sólo del grado de compactación alcanzado sino además del contenido de agua durante el proceso y del tipo de equipo utilizado.

Para concretos es suficiente que el  $f'c$  no sea menor al límite de control inferior; en caso de que el  $f'c$  supere durante toda la obra al límite superior de control, se garantiza un concreto más resistente que lo especificado, aunque deja de ser económico y en algunos casos, con resistencias muy altas, puede agrietarse durante la adquisición de resistencia.

Una gráfica de control proporciona tres clases importantes de información.

-La variación de calidad de las muestras.

La variación de calidad de las muestras extraídas del proceso, se describen claramente en el diagrama.

-Proceso bajo control o fuera de control.

Esta clase de información es proporcionada por las dos líneas que representan los límites de control superior e inferior. Cuando las muestras marcadas sobre la gráfica están dentro de los límites de control, la obra es considerada bajo control. Por otra parte, si cualquier muestra está fuera de los dos límites de control, el proceso es considerado como fuera de control.

Cuando un punto graficado cae fuera de los límites de control, es necesario encontrar el problema que causó tal evento dentro del proceso. Pero aún si los puntos caen dentro de los límites, alguna tendencia, o cierto patrón de los mismos, puede indicar que se debe llevar a cabo alguna acción para prevenir y así evitar algún problema serio.

-El nivel de calidad promedio.

La línea central en la gráfica de control proporciona la información concerniente a la calidad promedio de las muestras marcadas sobre la gráfica.

Pasos para determinar  $\bar{X}$  y  $\sigma$  con las gráficas de control; tomando, para ejemplificar el método, la prueba de resistencia a la compresión de concreto.

1-Prepárese una lista tabulada de las pruebas de resistencia en intervalos de 14 kg/cm<sup>2</sup>, con los puntos medios de cada intervalo en múltiplos iguales de 7 kg/cm<sup>2</sup>. Iniciese con el intervalo que contiene el punto inferior y continúese en secuencia hacia el superior.

2-Completése la lista construyendo una tabla de distribución de frecuencia relativa acumulativa donde, para cada intervalo, se deben tener:

a) Los números de pruebas que se contaron (diagrama de frecuencias,  $f$ )

b) El número acumulado de pruebas sumando en cada intervalo, desde el intervalo de baja resistencia hasta el de alta resistencia ( $\Sigma f$ ), y

c) El porcentaje acumulado relativo de las pruebas, representadas por cada intervalo ( $\Sigma f \%$ ).

3-Indíquese los puntos del porcentaje acumulativo de pruebas en la mitad del intervalo de la resistencia a la compresión, sobre papel para gráficas, como el del ejemplo.

4-Dibújese la recta que mejor se ajuste a los puntos de los datos (diagrama  $\Sigma f \%$ ). El grado en que los puntos coincidan con la recta determina la aproximación del ajuste de la distribución dada a la distribución normal.

5-Determinese el promedio, en la intersección del 50 por ciento.

6-Puede estimarse la desviación estándar encontrando la diferencia en los valores de la resistencia a la compresión en el 50 por ciento de las pruebas y en 15.9 por ciento de las mismas. Esta es la diferencia en resistencia entre  $\bar{X}$  y  $(\bar{X}-s)$ . Sabemos, por la curva teórica, que un 34.1 por ciento de las pruebas quedará entre  $\bar{X}$  y  $(\bar{X}-s)$ .

Ejemplo.

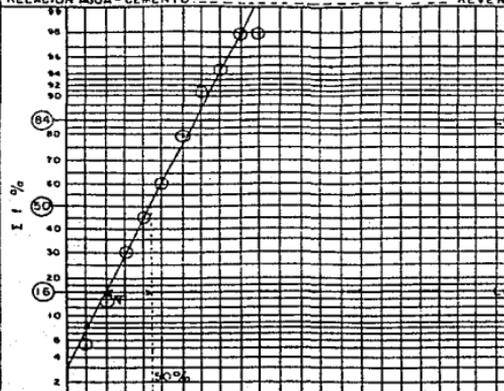
# SARH

## COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO DIRECCION DE GEOTECNIA

### LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD GRAFICA DE CONTROL PARA CONCRETO

OBRA: LEONORA Facultativas  
RESISTENCIA DE PROYECTO: 240 Kg/cm<sup>2</sup>  
PROPORCION EN PESO: 1:1.5:3  
RELACION AGUA - CEMENTO: 0.5

FECHA: 26 de Julio de 1988  
EDAD DE PRUEBA: 28 dias  
CONSUMO DE CEMENTO: 140 Kg/m<sup>3</sup>  
REVENIMIENTO: 14 cm



PORCENTAJE  
RESISTENCIA DE PROYECTO

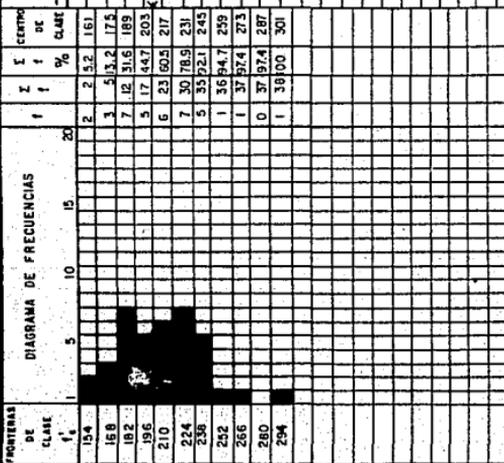
f = 240	Kg/cm <sup>2</sup>	96.0	%
M = 210	Kg/cm <sup>2</sup>	84.0	%
L = 175	Kg/cm <sup>2</sup>	70.0	%

DESVIACION ESTANDAR

$$\sigma = \frac{s - l}{2} = 32.5 \text{ Kg/cm}^2$$

COEFICIENTE DE VARIACION

$$V = \frac{100 \sigma}{M} = 15.5 \%$$



OBSERVACIONES:

LOS VALORES DE LCS Y LCI  
NO SON ACEPTABLES.  
LA CAUSA ASIGNABLE ES EL TIPO  
DE CEMENTO.

EL JEFE DEL LABORATORIO

EL DIRECTOR

## COMENTARIOS A LOS RESULTADOS

### COMPACTACION

Durante el control del porcentaje de compactación de la terracería, la media es de 95.8% y la requerida es del 95%, sin embargo, la mitad de los puntos obtenidos salen del área delimitada por  $\sigma$ , por lo que se considera que la compactación está fuera de control.

El promedio del contenido de agua es del orden del 31.3% y el óptimo de 31.5%, por lo que no se considera una causa asignable a la variación.

La causa atribuible a la variación es:

En los extremos del terrapién se localizan las zonas menos compactadas, por lo que la maquinaria compacta menos estos lugares que la zona intermedia.

Se recomienda supervisar y en su momento indicar a los operadores de las máquinas que den en los extremos el número de pasadas especificado.

### RESISTENCIA DE CONCRETOS

Para la prueba de resistencia a la compresión de concreto, se utilizó cemento tipo puzolánico, en este tipo de cemento, a los 28 días, se obtiene una resistencia del 80% aproximadamente, de la resistencia final.

Como el  $f'c$  de proyecto fue de 250 kg/cm<sup>2</sup>, el valor que debería de alcanzar a los 28 días es del orden de 200 kg/cm<sup>2</sup>.

Por lo tanto, en la gráfica de control, los porcentajes de resistencia de proyecto se incrementan si realizamos el análisis estadístico nuevamente con una resistencia de 200 kg/cm<sup>2</sup>, siendo el superior de 120%, el medio de 105% y el inferior de 88%.

Por lo tanto la elaboración de concreto se considera bajo control, porque solamente dos puntos quedan debajo de la línea de control inferior, el promedio es del 105% y el coeficiente de variación aceptable es del 15% y en el análisis se obtuvo el 15.5%.

Debido a la diferencia en el tiempo de adquisición de resistencia de los distintos tipos de cementos, debe realizarse una consideración como la efectuada en párrafos anteriores, es decir, valuar para una resistencia menor, obtenida de la resistencia esperada para cada tipo de cemento.

La otra alternativa, es especificar una resistencia a mayor plazo, 90 días por ejemplo, lapso en el que prácticamente todos los concretos, con poca influencia del tipo de cemento, alcanzan prácticamente su resistencia final. Esta opción, aunque es utilizada en algunos casos, es poco práctica debido al tiempo que se requiere para estimar la calidad de los concretos y a que la tendencia actual es de obtener información confiable a menores edades, por ejemplo a 7 ó 14 días, plazos en los que la variación de resistencias es en general mayor, por lo que en los dos casos, edades cortas o largas, resulta menos práctico el análisis estadístico.

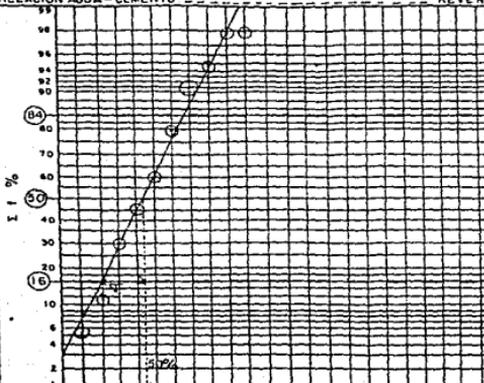
# SARH

## COMISION DEL LAGO DE TEXCOCO DIRECCION DE GEOTECNIA

### LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD GRAFICA DE CONTROL PARA CONCRETO

OBRA: Lagunas Esculturas  
RESISTENCIA DE PROYECTO: 200 Kg/cm<sup>2</sup>  
PROPORCION EN PESO: -----  
RELACION AGUA - CEMENTO: -----

FECHA: 26 de Julio de 1958  
EDAD DE PRUEBA: 28 dias  
CONSUMO DE CEMENTO: Leanta Portland  
REVENIMIENTO: 10 cm



PORCENTAJE RESISTENCIA DE PROYECTO			
S =	240	Kg/cm <sup>2</sup>	120.0 %
M =	210	Kg/cm <sup>2</sup>	105.0 %
I =	175	Kg/cm <sup>2</sup>	87.5 %

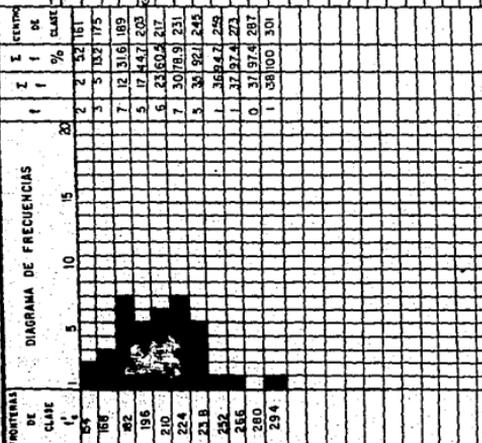
DESVIACION ESTANDAR

$$\sigma = \frac{S - I}{2} = 32.5 \text{ Kg/cm}^2$$

COEFICIENTE DE VARIACION

$$V = \frac{100 \sigma}{M} = 15.5 \%$$

OBSERVACIONES:  
CONSIDERANDO EL f'c DE 200 Kg/cm<sup>2</sup>



EL JEFE DEL LABORATORIO      EL DIRECTOR

## CONCLUSIONES

Cuando se construye una obra civil, se definen características de materiales a utilizar y se pretende reproducirlos con la mayor fidelidad posible. Sin embargo, las variaciones naturales, la precisión de los equipos de construcción y aspectos diversos en que interviene la apreciación del personal de operación y supervisión, hacen que las características y propiedades solicitadas no se reproduzcan con exactitud. Por esta razón, al juzgar por las pruebas 'in situ', se obtienen valores que difieren del supuesto, tanto en defecto como en exceso, pero con tendencia a aproximarsele. Cuando más cercanos resultan los valores obtenidos al requerido, podrá decirse que son mejores la obra construida y el control de calidad ejercido.

Los aspectos principales de las obras, desde el punto de vista de la Ingeniería Civil, son la resistencia, la deformación, la economía y, para algunas terracerías, además de las anteriores, la permeabilidad.

Cuando se supervisa la calidad 'in situ' de las terracerías se obtiene el peso volumétrico seco ( $\gamma_d$ ), puesto que este valor es el más práctico de obtener en campo, por lo que es considerado un factor determinante en el control de calidad, dado que a partir de éste, inferimos las propiedades principales de la obra construida para compararlas con las solicitadas.

Para los concretos, se determina la resistencia a la compresión simple, que para fines prácticos, se ensaya a los 28 días de edad. Si las edades son mayores de 28 días, se considera poco práctica la prueba, porque el tiempo que se requiere para estimar la calidad de los concretos es grande, y en la actualidad se recomienda obtener información estadísticamente confiable a la mayor brevedad posible. Por otra parte, no es confiable un análisis estadístico con edades menores de 28 días, porque la variación de las resistencias es, en general, mayor.

En el control de calidad, se debe tener precaución de que la prueba este de acuerdo con las características definidas en el proyecto.

Por ejemplo, en terracerías, la prueba de compactación que se utilice para determinar el peso volumétrico seco máximo deberá ser acorde con el equipo y material, con los que se realizará la obra.

En el caso de concretos, se deberá tener precaución en las mallas a utilizar para la granulometría, la prueba que se utilizará para determinar la consistencia, la edad del concreto para efectuar la prueba de resistencia, etc.

Siempre debemos buscar que las pruebas a realizar 'in situ' sean lo más prácticas posible, pero sin olvidar que cuando las condiciones y características de la obra por construir lo permitan, se usará la prueba que teóricamente sea más recomendable.

En el caso de concretos, es conveniente determinar la consistencia utilizando la mesa de fluidez, pero en caso, de que la obra sea de gran longitud, como las obras de drenaje en carreteras, no resulta práctico transportar la mesa de fluidez a través de toda la obra, por lo que se recomienda efectuar la prueba de revenimiento.

Es evidente la importancia que tiene el emplear el equipo adecuado, pues de éste dependerá la precisión de los ensayos.

Los resultados uniformes de ensayos no son necesariamente resultados de ensayos precisos. El equipo y los procedimientos de prueba deberán ser calibrados y revisados periódicamente.

Los métodos estadísticos proporcionan una herramienta muy valiosa para interpretar los resultados de los ensayos y tal información es también valiosa para refinar los criterios de diseño y las especificaciones.

Para obtener la mejor información, deberán hacerse ensayos en un número suficiente para representar la obra construida y deberán emplearse los métodos estadísticos apropiados para interpretar los resultados. Estos métodos proporcionan la mejor base para evaluar de los resultados, la calidad de una obra y para expresar los resultados en la forma más útil.

El llevar un buen control 'in situ' garantiza que la calidad de cada parte de la obra concuerde con las características básicas adoptadas para el diseño. Además, permite la economía máxima de la obra, en lo que respecta a costos de materiales y procedimientos de construcción, dado que se aprovechan en la forma más eficiente, lo que permite la seguridad en su comportamiento.

También permite relacionar el comportamiento subsecuente a la terminación de una obra, con las características y condiciones de trabajo de cada parte. Sólo de esta manera puede lograrse progreso substancial en las especificaciones para obras futuras.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- MECANICA DE SUELOS TOMO 1.  
JUAREZ BADILLO, RICO RODRIGUEZ.
- 2.- PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO.  
MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES. B.3.4.  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
- 3.- MANUAL DE MECANICA DE SUELOS.  
SARH. 1970.
- 4.- MANUAL DE MECANICA DE SUELOS.  
SARH. 1967.
- 5.- INSTRUCTIVO PARA CONCRETO.  
SARH. 1967.
- 6.- MANUAL DE CONCRETO PARTES 2 Y 3.  
SARH. 1970.
- 7.- PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO.  
MARSAL Y RESENDIZ.
- 8.- ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES.  
OLIVERA BUSTAMANTE.
- 9.- ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO.  
GONZALES CUEVAS.
- 10.- PROYECTO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO.  
PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.
- 11.- CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.  
IMCYC.

- 12- CONTROL DE CALIDAD ESTADÍSTICO.  
GRANT EUGENE.
- 13- CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD.  
FEINGENBRUM A. V.
- 14- MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERIA CIVIL.  
JOSEPH E. BOWLES.
- 15- DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS.  
USBR.
- 16- MECANICA DE SUELOS APLICADA A LAS VIAS TERRESTRES.  
RICO RODRIGUEZ.
- 17- PROPIEDADES GEOFISICAS DE LOS SUELOS.  
JOSEPH E. BOWLES.