

ANEXO N°1  
ENSAYOS DE LABORATORIO

## ENSAYOS EN LABORATORIO

### A1.1. TAMIZADO DE SUELO POR VIA HUMEDA

#### Apartados

- a. Tamiz IRAM 2,0 mm (Nº 10)
- b. Tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40)
- c. Tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200)
- d. Recipientes de un litro de capacidad, estancos, de material inoxidable (hierro enlozado, aluminio, vidrio, etc.)
- e. Mortero de porcelana o madera con pilón revestido con goma, de medidas comunes.
- f. Balanza de 1 Kg. de capacidad, con sensibilidad de 1 centígramo.
- g. Balanza de 10 Kg. de capacidad, con sensibilidad de 1 gramo.
- h. Estufa de secado de muestras, regulable, que asegure temperaturas de 105 – 110° C.
- i. Elementos varios de uso corriente, bandejas para mezcla del material, probetas, espátulas, cuchara de albañil, etc.

#### Preparación de la muestra

- a. Aunque, en general, este ensayo se efectúa solamente sobre muestras de suelo fino, debe tenerse presente que a veces también se lo hace sobre suelo con gran cantidad de material grueso.
- b. Cantidad de muestra: si se trata de suelo fino debe enviarse al Laboratorio no menos de 1000 gramos. Cuando el suelo contiene material grueso, la cantidad mínima depende del mayor tamaño de las partículas, Siendo D el mayor diámetro en mm la cantidad mínima, en gramos a enviar al laboratorio debe ser aprox. igual a 1000 D.
- c. Previa una minuciosa homogeneización, por cuarteo se obtienen dos porciones de las cuales una de ellas se destinará para la determinación de la granulometría de la parte fina de los suelos y la otra se utilizará para los ensayos de “Límite Líquido” Norma [VN-E2-65](#) “Límite Plástico” - “Índice de Plasticidad” Norma [VNE3-65](#).

#### Procedimiento

- a. Suelos finos: De una de las porciones obtenidas de acuerdo a 1.3 (c), por cuarteos sucesivos se toma una cantidad adecuada. Si se trata de suelo fino que pasa por el

tamiz IRAM 2 mm. (Nº 10) bastan 200 gramos. Se seca en estufa a 105 – 110° C y se pesa el material a ensayar.

b. Suelos en material grueso: Si contiene material grueso debe seguirse el siguiente criterio. Siendo D el mayor diámetro en mm. y P la cantidad de muestra a ensayar, P debe estar comprendida entre los límites siguientes:  $200 D < P < 500 D$ .

La cantidad de material comprendida entre estos límites, se seca en estufa a 105 – 110° C y se pesa.

c. La cantidad de material preparado para el ensayo, según ap. 1-4 (a) ó 1-4 (b), se coloca dentro de un recipiente adecuado con agua en cantidad suficiente como para cubrir holgadamente la muestra. Se deja en reposo durante 24 horas.

d. Si se trata de suelo fino se vierte el contenido del recipiente sobre un tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200) y se lava cuidadosamente con un chorro de agua no muy fuerte hasta que se compruebe que el agua, que se escurre del tamiz sale limpia.

e. El material que queda en el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200) se recoge en una cápsula y se seca en estufa a 105 – 110° C hasta peso constante.

f. Una vez seco el material retenido, se coloca en el mortero y se desmenuza con la mano del mortero revestida en goma, ejerciendo firme presión, con el objeto de deshacer los terrones que pudieran haberse formado al secar el material.

g. El material así obtenido se pasa por los tamices IRAM 425 micrómetros (Nº 40) e IRAM 75 micrómetros (Nº 200). Se pesan las fracciones retenidas.

h. Si se trata de suelos con material grueso, luego de la operación indicada en ap.1.4 (c), se remueve el contenido del recipiente y se vuelca el líquido sobre el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200) continuando el lavado del tamiz hasta que salga el agua limpia. Se agrega agua al recipiente, se agita con una varilla, se deja reposar dos o tres minutos y se vuelca el líquido sobre el mismo tamiz. Se repite la operación dos o tres veces. Finalmente se coloca sobre el tamiz ya mencionado los tamices IRAM 425 micrómetros (Nº 40) e IRAM 2,0 mm (Nº 10) en ese orden, y se vierte todo el contenido del recipiente sobre el conjunto continuando el lavado hasta que no pase más material.

i. Se continúa operando como se indica en el ap. 1.4 (g) con la salvedad de que el segundo tamizado debe ser por los tamices IRAM 2,0 mm. (Nº 10), IRAM 425 micrómetros (Nº 40) e IRAM 75 micrómetros (Nº 200).

### Cálculos

a. Sea: P el peso de muestra seca inicial, ap. 1-4 (a) ó 1-4 (b). Sean P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> y P<sub>3</sub> los pesos retenidos por los tamices IRAM 2,0 mm. (Nº 10), IRAM 425 micrómetros (Nº 40) e IRAM 75 micrómetros (Nº 200), respectivamente. La cantidad de material que pasa por cada tamiz se obtiene restando el peso inicial, lo retenido por los tamices anteriores, o sea, restando sucesivamente lo retenido por el tamiz anterior.

b. Los porcentajes que pasan por cada tamiz se obtienen multiplicando por 100 el peso que pasa dividiendo el resultado por el peso inicial.

c. En la planilla siguiente se consignan en forma esquemática las operaciones y se da un ejemplo numérico.

ESQUEMA DEL CALCULO			EJEMPLO NUMÉRICO	
Peso seco inicial	P. gr.	%	P= 400gr.	%
Tamiz IRAM 2,0 mm. (Nº 10)	Retenido: P <sub>1</sub> gr. Pasa: P-P <sub>1</sub> = A	A/P x 100	P <sub>1</sub> = 50 gr. A= 350 gr.	350/400 x 100 = 87,5
Tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40)	Retenido: P <sub>2</sub> gr. Pasa: A-P <sub>2</sub> = B	B/P x 100	P <sub>2</sub> = 120 gr. B= 230 gr.	230/400 x 100 = 57,5
Tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200)	Retenido: P <sub>3</sub> gr. Pasa: B-P <sub>3</sub> = C	C/P x 100	P <sub>3</sub> = 140 gr. C= 90 gr.	90/400 x 100 = 22,5

Tabla 1: Esquema de cálculo, ensayo de granulometría por vía húmeda

## A1.2. LIMITE LÍQUIDO

### Aparatos

- Mortero de porcelana o madera con pilón revestido con goma, de medidas corrientes.
- Tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40).
- Cápsula de porcelana o hierro enlozado de 10 a 12 cm., de diámetro.

- d. Espátula de acero flexible con hoja de 75 a 80 mm. de largo y 20 mm. de ancho, con mango de madera.
- e. Aparato para la determinación semimecánica del límite líquido de las dimensiones y demás características indicadas en la figura N° 1.
- f. Acanalador de bronce o acero inoxidable de las dimensiones y demás características indicadas en la figura N° 2.
- g. Pesa filtros de vidrio o aluminio de 40 mm. de diámetro y 30 mm. de altura aproximadamente.
- h. Buretas de vidrio con robinetas.
- i. Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centigramo.
- j. Estufa para secado de muestras regulable, que asegure temperaturas de 105° – 110° C.
- k. Elementos varios de uso corriente: bandejas para mezclas de material, rociadores, probetas, espátulas, etc.

### **Preparación de la muestra**

El ensayo se realiza sobre la fracción del material que pasa por el tamiz IRAM 425 micrómetros (N° 40). Si se está efectuando la clasificación del suelo según la Norma [VNE4-84](#), y “Clasificación de Suelos – Índice de Grupos” se utiliza la parte del material que se dejó aparte según lo indicado en el ap. 1.3 (c) del la Norma [VN-E1-65](#) “Tamizado e suelos por vía húmeda”.

### **Suelos finos:**

- a. Si se trata de suelo fino se toma por cuarteo una porción de 400 a 500 gr., de suelo secado al aire y se lo hace pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (N°40). La porción retenida por este tamiz se coloca en el mortero y se la desmenuza en el mortero con el pilón revestido en goma. Se tamiza y se repite la operación hasta que pase en su totalidad o se evidencie que la parte retenida está constituida por partículas individuales, de tamaño mayor que la abertura del tamiz.  
Debe tenerse en cuenta que la operación de desmenuzar con el pilón del mortero tiene por finalidad deshacer grumos y no romper partículas de arena.

- b. Se reúnen todas las porciones obtenidas y se mezclan cuidadosamente, para obtener un material homogéneo.

### **Suelos con material grueso:**

- a. Si la muestra contiene material grueso, se separa éste por tamizado a través del tamiz IRAM 2 mm. (Nº 10). Con la parte fina se procede como se indicó en el ap. 2.3 - 1-2 (a) y (b).
- b. Si a pesar del desmenuzado se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se ponen en maceración con la menor cantidad posible de agua y se hacen pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40). Se recoge el líquido que pasa, el que será evaporado a sequedad, a temperatura no mayor a 60° C. El residuo se desmenuza, y se incorpora a las demás fracciones ya obtenidas, mezclándose cuidadosamente hasta obtener un material homogéneo.

### **Calibración del aparato**

Verificar que el aparato de Casagrande para la determinación del límite líquido esté en buenas condiciones de funcionamiento, que el eje sobre el que gira la cápsula no esté desgastado hasta el punto de permitir desplazamientos laterales de la misma; que los tornillos que conectan la cápsula al brazo estén apretados y que la superficie de la cápsula no presente excesivo desgaste.

La base de 50 mm. de espesor, debe ser de ebonita o de madera dura con una placa de ebonita, de no menos de 10 mm. de espesor, firmemente encastrada en la madera. La cápsula debe ser de bronce pulido, debe tener las dimensiones fijadas en el croquis de la figura Nº 1 y su peso, incluido el engarce y la pestaña, debe ser de 205 + ó -5 gr. El acanalador que acompaña al aparato, debe ser de bronce o de acero inoxidable, con las dimensiones y demás características indicadas en el croquis de la figura Nº 2. La calibración mecánica del aparato se efectúa en la siguiente forma:

- a. Se aflojan los tornillos de regulación, designados T en la figura Nº 1.
- b. Se intercala entre la base y la cápsula una chapa de 10 mm. de espesor. Si el acanalador tiene su mango terminado en forma de cubo de 10 mm. de arista, se puede usar para este calibrado.
- c. Mientras se va haciendo girar la manivela que acciona el excéntrico se hace correr la cápsula en uno u otro sentido, hasta que se observe que el excéntrico la libere exactamente desde 10 mm. de altura.
- d. Se ajustan los tornillos de regulación. Se retira el espesor colocado y se verifica si la altura de caída libre es exactamente 10 mm. se efectúan los retoques necesarios.

### **Procedimiento**

- a. Se toman 50 o 60 gr. Del material obtenido de acuerdo al título 2.3 y se coloca en una cápsula de hierro enlozado o porcelana, ap. 2.2 (c).
- b. Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora.
- c. Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades mezclando cuidadosamente con la espátula después de cada agregado procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo en especial cuidado de deshacer todos los grumos que se vayan formando.
- d. Cuando la pasta adquiere una consistencia tal que, al ser dividida en dos porciones, éstas comiencen a fluir cuando se golpea la cápsula contra la palma de la mano, se transfiere una porción de la misma a la cápsula de bronce del aparato, se la amasa bien y se la distribuye como lo indica la figura N° 3, de manera que el espesor en el centro sea aproximadamente de 1 cm.
- e. Con el acanalador se hace una muesca en forma tal que quede limpio el fondo de la cápsula en un ancho de 2 mm.; la muesca debe seguir una dirección normal al eje de rotación en su punto medio, figura N° 3.
- f. Se acciona la manivela a razón de dos vueltas por segundo, y se cuenta el número de golpes necesarios para que, por fluencia se cierren los bordes inferiores de la muesca, en una longitud de aproximadamente 12 mm.
- g. Verificar si la unión es por fluencia y no por corrimiento de toda la masa. Para esto se procura separar con la espátula los bordes unidos. Si hubo corrimiento de toda la masa la separación se logra fácilmente, quedando limpio el fondo de la cápsula. En cambio si ha habido fluencia, la cápsula mueve únicamente la parte que ataca y el resto queda adherido al fondo de la cápsula.
- h. Se retira una porción de pasta, de peso más o menos 10 gr. de la parte en la que se produjo la unión, y se la coloca en el pesa filtro previamente tarado. Se pesa y se anota en la planilla. También se anotará el peso del pesa filtro, su número de identificación y el número de golpes requeridos para lograr la unión de la pasta.
- i. Se repite estas operaciones dos veces más, con contenidos crecientes de agua, procurando que los números de golpes requeridos para el cierre de la muesca sean, uno mayor y otro menor de 25 golpes.
- j. La pasta colocada en el pesa filtro para cada operación se seca en la estufa a temperatura de 105° a 110° C hasta peso constante.

### **Cálculos**

- a. La humedad porcentual de cada punto se calcula con la fórmula:

$$H = \frac{P1 - P2}{P2 - Pt} \times 100$$

P1= Peso del pesa filtro más la porción pasta de suelo húmedo.

P2= Peso del pesa filtro más el suelo seco.

Pt= Peso del pesa filtro vacío.

a. Sobre un sistema de coordenadas rectangulares se toma, en abscisas el logaritmo del número de golpes, y en ordenadas el porcentaje de humedad.

Se ubican los puntos obtenidos, los que estarán sensiblemente alineados. Se traza la línea recta que mejor ligue a esos puntos y sobre el eje de las ordenadas, en el punto correspondiente a aquel en que esta recta corta la perpendicular trazada las abscisas por el punto correspondiente a 25 golpes, se lee el valor de Límite Líquido.

### APARATO SEMIAUTOMATICO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO

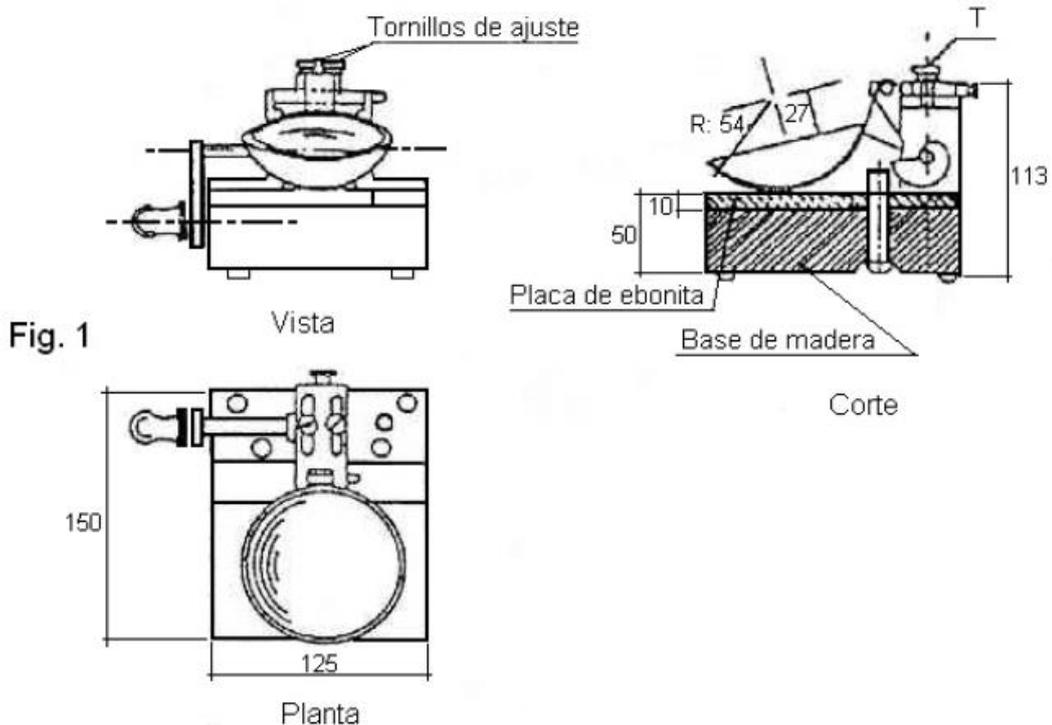


Figura 1: Aparato de Casagrande para obtener el Limite Líquido

### ACANALADOR

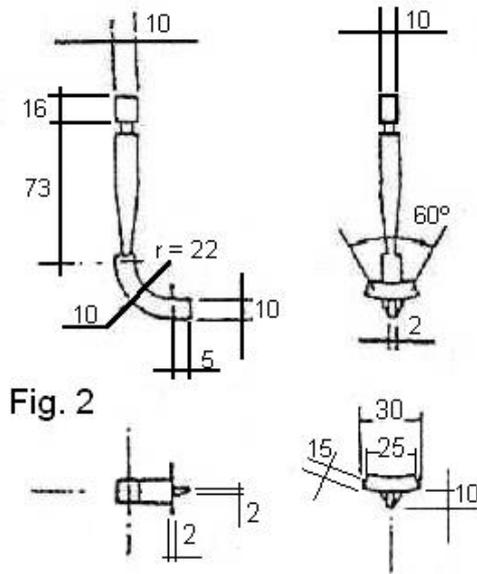


Fig. 2

Figura 2: Acanalador del aparato de Casagrande

### COLOCACION DE LA PASTA EN LA CAPSULA

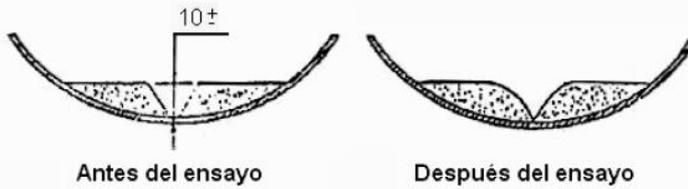


Fig. 3

NOTA: Todas las medidas están expresadas en mm.

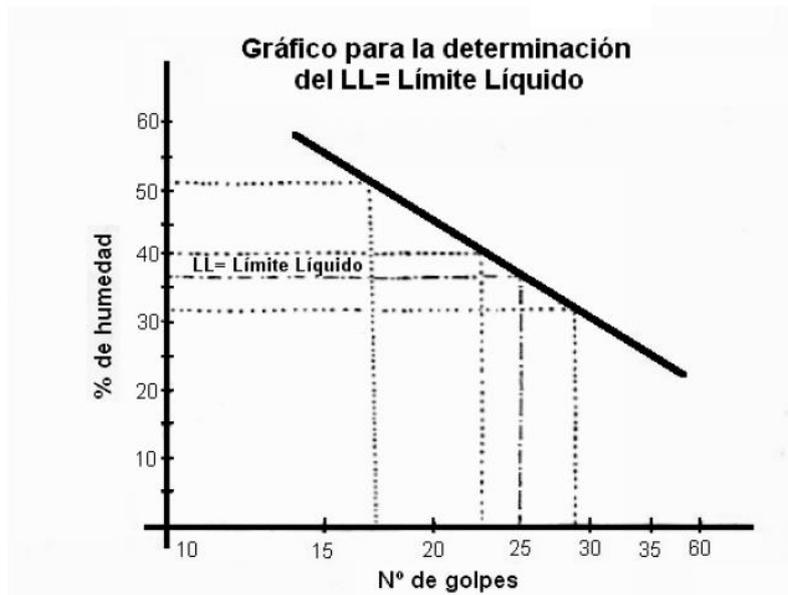


Figura 3: Procedimiento grafico del ensayo. Grafico final para de donde se obtiene el LL

### **A1.3. LIMITE PLASTICO – INDICE PLASTICO**

#### **Aparatos**

- a. Mortero de porcelana o madera con pilón revestido con goma, de medidas corrientes.
- b. Tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40).
- c. Cápsula de porcelana o hierro enlozado de 10 a 12 cm., de diámetro.
- d. Espátula de acero flexible con hoja de 75 a 80 mm. de largo y 20 mm. de ancho, con mango de madera.
- e. Vidrio plano de 30 x 30 cm., o un trozo de mármol de las mismas dimensiones.
- f. Trozos de alambre galvanizado redondos de 3 mm. de diámetro para ser utilizados como elementos de comparación.
- g. Pesa filtros de vidrio o aluminio de 40 mm. de diámetro y 30 mm. de altura aproximadamente.
- h. Buretas de vidrio graduada, con robinete.
- i. Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centígramo.
- j. Estufa para secado de muestras regulable, que asegure temperaturas de 105° a 110° C.
- k. Elementos varios de uso corriente: bandejas para mezclas de material, rociadores, probetas, espátulas, etc.

#### **Preparación de la Muestra**

El ensayo se realiza sobre la porción del material que pasa por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40). Si se está efectuando la clasificación del suelo según la Norma [VNE4-84](#), y “Clasificación de Suelos – Índice de Grupos” se utiliza la parte del material que se dejó aparte, de acuerdo a lo indicado en el ap. 1.3 (c) de la Norma [VN-E1-65](#) “Tamizado de Suelos por Vía Húmeda”.

#### **Suelos Finos**

- a. Si se trata de suelo fino se toma por cuarteo una porción de 400 a 500 gr., de suelo secado al aire y se lo hace pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40). el pilón revestido en goma. Se tamiza y se repite la operación hasta que pase en su totalidad o se evidencie que la parte retenida está constituida por partículas individuales, de tamaño mayor que la abertura del tamiz.  
Debe tenerse en cuenta que la operación de desmenuzar con el pilón del mortero tiene por finalidad deshacer grumos y no romper partículas de arena.

b. Se reúnen todas las porciones obtenidas y se mezclan cuidadosamente, para obtener un material homogéneo.

### **Suelos con material grueso**

a. Si la muestra contiene material grueso, se separa éste por tamizado a través del tamiz IRAM 2 mm. (Nº 10). Con la parte fina se procede como se indicó en el ap. 3.3 - 1(a) y (b).

b. Si a pesar del desmenuzamiento se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se ponen en maceración con la menor cantidad posible de agua y se hacen pasar por el tamiz IRAM 425 micrómetros (Nº 40). Se recoge el líquido que pasa, el que será evaporado a sequedad, en estufa, a temperatura no mayor a 60º C. El residuo se desmenuza, y se incorpora a las demás fracciones ya obtenidas, mezclándose cuidadosamente hasta obtener un material homogéneo.

### **Procedimiento**

a. Se toman 15 a 20 gr. del material obtenido de acuerdo al título 3.3 y se colocan en una cápsula de porcelana o de hierro enlozado, ap. 3.2 (c).

b. Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora.

c. Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades, mezclando cuidadosamente con la espátula después de cada agregado; procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo especial cuidado de deshacer todos los grumos que se vayan formando.

d. Se continúa el mezclado hasta obtener que la pasta presente una consistencia plástica que permita moldear pequeñas esferas sin adherirse a las manos del operador.

e. Una porción de la parte así preparada se hace rodar por la palma de la mano sobre láminas de vidrio, ap. 3.2 (e), dándole la forma de pequeños cilindros.

f. La presión aplicada para hacer rodar la pasta debe ser suficiente para obtener que las barritas cilíndricas mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud.

g. La velocidad con la que se manipula a la pasta haciéndola rodar debe ser tal de obtener de 80 a 90 impulsos por minuto, entendiendo como un impulso un movimiento completo de la mano hacia delante y atrás.

h. Si el diámetro de los cilindros es menor de 3 mm. de diámetro y no presentan fisuras o signos de desmenuzamiento, se reúnen los trozos y se amasan nuevamente tantas veces como sea necesario.

La operación también se repite si las barritas cilíndricas se agrietan antes de llegar al diámetro de 3 mm. En este caso se reúne el material amasándolo con más agua hasta completa uniformidad.

i. el ensayo se da por finalizado cuando las barritas cilíndricas comienzan a figurarse o agrietarse al alcanzar los 3 mm. de diámetro, punto que resulta fácil de establecer comparándolo con los trozos de alambre, ap. 3.2 (f).

### **Cálculos**

El Límite Plástico del suelo se calcula con la siguiente fórmula:

$$LP = \frac{P1 - P2}{P2 - Pt} \times 100$$

LP= Límite plástico.

P1= Peso del pesa filtro más el suelo húmedo, al centigramo.

P2= Peso del pesa filtro más el suelo seco, al centigramo.

Pt= Peso del pesa filtro vacío, al centigramo.

### **Índice de Calidad**

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre los valores del límite líquido y el límite plástico de un mismo suelo.

Es decir:

$$IP = LL - LP$$

## **A1.4. COMPACTACION DE SUELOS.**

### **Apartados**

a. Moldes cilíndricos de acero para compactación con tratamiento superficial para que resulten inoxidables (Cincado, cadmiado, etc.) de las características y dimensiones indicadas en las figura 1 y figura 2.

b. Pisones de compactación, de acero tratado superficialmente, con las características y dimensiones que se dan en la figura 3.

c. Aparato mecánico de compactación que permita regular el peso, la altura de caída del pisón y el desplazamiento angular del molde o pisón (opcional).

d. Balanza de precisión, de 1 Kg. de capacidad con sensibilidad de 0,01 gramo.

- e. Balanza tipo Roberval de por lo menos 20 Kg. de capacidad, con sensibilidad de 5 gramos.
- f. Dispositivo para extraer el material compactado del interior del molde (opcional).
- g. Cuchilla de acero o espátula rígida, cuya hoja tenga por lo menos 20 cm. De longitud.
- h. Pesa filtros de vidrio o aluminio de 40 mm. de diámetro y 30 mm. de altura.
- i. Tamiz IRAM 19 mm. (3/4")
- j. Tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4)
- k. Dispositivo para pulverizar agua.
- l. Bandeja de hierro galvanizado de 660 x 400 x 100 mm.
- m. Bandeja de hierro galvanizado de 150 x 50 mm.
- n. Espátula de acero, de forma rectangular, con las características indicadas en la figura.
- o. Elementos de uso corriente en laboratorio: estufas, probetas graduadas, cucharas, etc.

**Forma de operar de acuerdo a las características granulométricas del material.**

a. Si se trata de suelo que pasa totalmente por el tamiz IRAM 4,8 mm. (Nº 4), se opera con todo el material librado por dicho tamiz. Si la cantidad de material que queda retenida en ese tamiz es pequeña, igual o menor de 5 %, puede incorporarse a la muestra realizándose el ensayo con el total del suelo. Si la porción retenida es apreciable, mayor del 5 %, se opera como si se tratara de material granular.

b. Cuando se emplean materiales granulares, o sea los que tienen más del 5 % retenido sobre el tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4), se pasa la muestra representativa por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"), debiendo realizarse el ensayo cuando se correlacione éste con el ensayo de Valor Soporte, según norma VN-E6-68, únicamente con la fracción librada por este tamiz.

c. Si el peso del material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") es menor del 15 % del peso total de la muestra, cuando no se correlacione este ensayo con el Valor Soporte, según norma VN-E6 68, después de realizar el ensayo de acuerdo al título 5.4 ap. 2, deberá efectuarse la corrección por material grueso de los resultados obtenidos, tal como se indica en el párrafo 5.7. Para tal fin es necesario determinar el peso específico del material en la condición de saturado y a superficie seca y la humedad de absorción del mismo.

d. Si el material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") es superior al 15 % del peso total de la muestra y no se deba correlacionar este ensayo con el Valor Soporte según Norma VN-E6-68 no se harán correcciones por la incidencia del material grueso, pero deberá tenerse la precaución, al verificar las densidades logradas en obra de aplicar la fórmula que se detalla en el ap. d) del título 5.8 observaciones.

e. Únicamente en los casos en que se deba correlacionar este ensayo con el Valor Soporte, según Norma VN-E6-68 el ensayo de Compactación se ejecutará con material que pase el tamiz IRAM 19 mm. (3/4"), compensando el material retenido por este tamiz, por un mismo peso de materia comprendido entre el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") y el tamiz IRAM 4,8 mm. (Nº 4). La granulometría del material corrector será la misma que la de la fracción contenida en el material a ensayar que pasa por criba de 3/4" y retiene el tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4), teniendo en cuenta las cribas intermedias.

1. Cuando el porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") sea inferior al 15 %, se compensará el material en su totalidad.

2. Cuando el porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4") sea superior al 15 %, se compensará hasta dicho porcentaje desechándose en la compensación el excedente.

A los efectos de la exigencia de compactación, este apartado no tendrá vigencia.

### **Procedimiento**

De acuerdo con las características del material a ensayar se presentan dos casos:

#### **Material "fino"**

Corresponde a suelos que cumplan con lo especificado en el ap. 5.3 (a).

Preparación de la muestra:

a. Para cada punto de la curva Humead-densidad se requieren aproximadamente 2500 gramos de material seco. Si se trata de suelo no muy plástico y sin partículas quebradizas puede usarse la misma muestra para todo el ensayo.

b. Se prepara material suficiente para seis puntos. El ensayo normal requiere cinco puntos, tres en la rama ascendente y dos en la descendente de la curva Humedad Densidad, pero eventualmente puede requerirse un sexto punto.

c. La porción de suelo destinada a un punto se distribuye uniformemente en el fondo de la bandeja (ap. 5.2-l).

Con la ayuda del dispositivo adecuado (ap. 5.2-k) se agrega el agua prevista para tal punto y con la espátula (ap. 5.2-n) se homogeniza bien.

### **Compactación de la probeta**

d. Se opera con el molde de 101,6 mm. de diámetro. La energía de compactación quedará determinada por el tipo de pisón, cantidad de capas y número de golpes por capa.

A continuación se dan las características de los distintos tipos de ensayos de compactación a realizar:

ENSAYO	MOLDE mm.	PESO PISÓN Kg.	ALTURA CAÍDA EN	Nº de CAPAS	Nº de GOLPES
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,53	45,7	5	25
III	101,6	2,5	30,5	3	35

**Tabla 2: Características según tipo de ensayo de compactacion**

e. Se verifican las constantes del molde: Peso del molde ( $P_m$ ) sin collar pero con base y su volumen interior ( $V$ ).

f. Cuando se considere que la humedad está uniformemente distribuida se arma el molde y se lo apoya sobre una base firme. Con una cuchara de almacenero, o cualquier otro elemento adecuado, se coloca dentro del molde una cantidad de material suelto que alcance una altura un poco mayor del tercio o del quinto de la altura del molde con el collar de extensión, si se han de colocar tres o cinco capas respectivamente.

g. Con el pisón especificado (2,5 Kg. ó 4,54 Kg.) se aplica el número de golpes previstos (25, 35, 56, etc.) uniformemente distribuidos sobre la superficie del suelo. Para esto debe cuidarse que la camisa guía del pisón apoye siempre sobre la cara interior del molde, se mantenga bien vertical y se la desplace después de cada golpe de manera tal, que al término del número de golpes a aplicar, se haya recorrido varias veces la superficie total del suelo.

h. Se repite la operación indicada en el párrafo anterior las veces que sea necesaria para completar la cantidad de capas previstas, poniendo en tal caso, la cantidad de suelo necesaria para que, al terminar de compactar la última capa, el molde cilíndrico quede lleno y con un ligero exceso, 5 a 10 mm. En caso contrario, debe repetirse íntegramente el proceso de compactación.

i. Se retira con cuidado el collar de extensión.

Con una regla metálica, puede servir de espátula, ap. 5.2 (g), se limpia el exceso de material. Se limpia exteriormente el molde con un pincel y se pesa (Ph).

j. Se saca la probeta del molde, con el extractor de probetas si se dispone de él, o mediante la cuchilla o espátula, en caso contrario. Se toma una porción de suelo que sea promedio de todas las capas, se coloca en un pesa filtro y se pesa.

Se seca en estufa a 100-105° C, hasta peso constante, para efectuar la determinación de humedad.

k. Se repiten las operaciones indicadas en los párrafos anteriores, ap (f) a (j), con cada una de las porciones de muestra preparadas para los otros puntos.

Si se opera con una sola porción, estas operaciones se repiten luego de haber desmenuzado cuidadosamente el material sobrante e incorporado un 2% de agua más, aproximadamente, para cada uno de los puntos a determinar.

### **Material granular**

Corresponde a suelos que cumplan con las características granulométricas indicadas en el párrafo 5 -3 (b).

Preparación de la muestra:

a. Para cada punto de la curva Humedad - Densidad, se requieren alrededor de 6000 gamos de material seco.

b. Igual que en el caso de suelos finos se requieren 5 puntos y se prevé la eventualidad de un 6º punto. Por lo tanto, se preparan 36 Kg. de material y por cuidadoso cuarteo se lo divide en seis porciones para otros tantos puntos.

### **Compactación de la probeta**

c. Se opera con el molde de 152,4 mm. de diámetro. Previa verificación de sus constantes, se lo coloca sobre una base firme y se realizan las operaciones indicadas en los párrafos (f) a (l) del título anterior 5.4 - (1), con la salvedad de que: Los huecos

que quedan al ser arrancadas las piedras emergentes, al enrasar la cara superior de la probeta, deben ser rellenados con material fino y compactados con una espátula rígida.

La humedad de cada punto se determina de acuerdo al párrafo (j), sobre una cantidad de material no menor de 1000 gramos y secándolo en bandeja (Ap. 5.2 - m). En el siguiente cuadro, se dan las características de los distintos tipos de ensayo de compactación a realizar:

ENSAYO	MOLDE mm.	PESO PISÓN Kg.	ALTURA CAÍDA EN	Nº de CAPAS	Nº de GOLPES
IV	152,4	2,5	30,5	3	56
V	152,4	4,53	45,7	5	56

Tabla 3

### Cálculo y resultados

Para cada contenido de humedad de la probeta, determinado en la forma indicada en los párrafos precedentes, se calculan:

a. La densidad húmeda ( $D_h$ ) del suelo compactado, aplicando la fórmula:

$$D_h = \frac{P_h - P_m}{V}$$

$P_h$  = Peso del molde con el material compactado húmedo.

$P_m$  = Peso del molde.

$V$  = Volumen interior del molde.

b. La densidad seca ( $D_s$ ), que se obtiene mediante la fórmula:

$$D_s = \frac{D_h \times 100}{100 + H}$$

$D_h$  = Densidad húmeda.

$H$  = Humedad, en %, del material compactado.

### **Trazado de la Curva Densidad-Humedad**

- c. En un sistema de ejes rectangulares se llevan en abscisas, los valores de la humedad porcentual, y en ordenadas los de la densidad seca.
- d. Los puntos así obtenidos se unen por un trazo continuo obteniéndose de este modo una curva que va ascendiendo con respecto a la densidad, pasa por un máximo y luego desciende.
- e. El punto máximo de la curva así obtenida indica, en ordenadas, la densidad máxima (Ds) que puede lograrse con la energía de compactación empleada y en abscisas la humedad óptima (H) que se requiere para alcanzar aquella densidad.

### **Incidencia del Material Grueso**

Cuando, conforme a lo indicado en ap. 5.3 (c), en la muestra ensayada se tuvo hasta el 15 % de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”), se determina la incidencia del material de tamaño mayor que este último tamiz, utilizando las fórmulas que se indican a continuación:

- a. Humedad óptima corregida

Se la calcula con la siguiente fórmula:

$$H_c = \frac{(G \times H_a) + (F \times H)}{100}$$

H<sub>c</sub> = Humedad óptima corregida.

G = Porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

H<sub>a</sub> = Porcentaje de humedad absorbida por el material, en condición de saturado y a superficie seca, retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

F = Porcentaje de material que pasa por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”).

H = Humedad óptima resultante para el material que pasa por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4”), expresada en por ciento.

- b. Densidad máxima corregida

Se la obtiene reemplazando valores en la siguiente fórmula:

$$D_{mc} = \frac{100}{\frac{G}{d_g} + \frac{F}{D_s}}$$

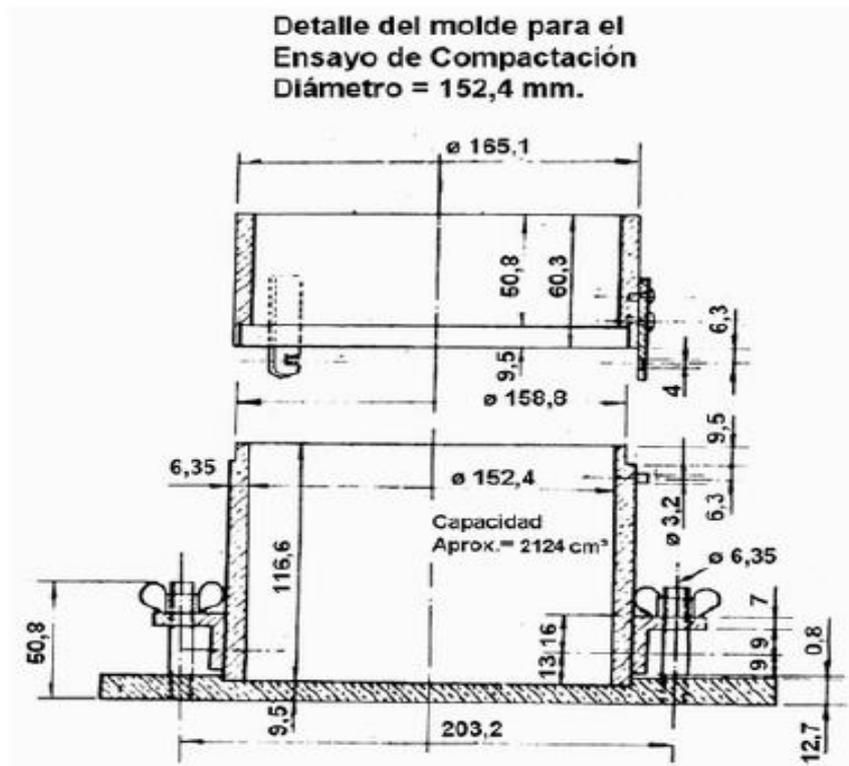
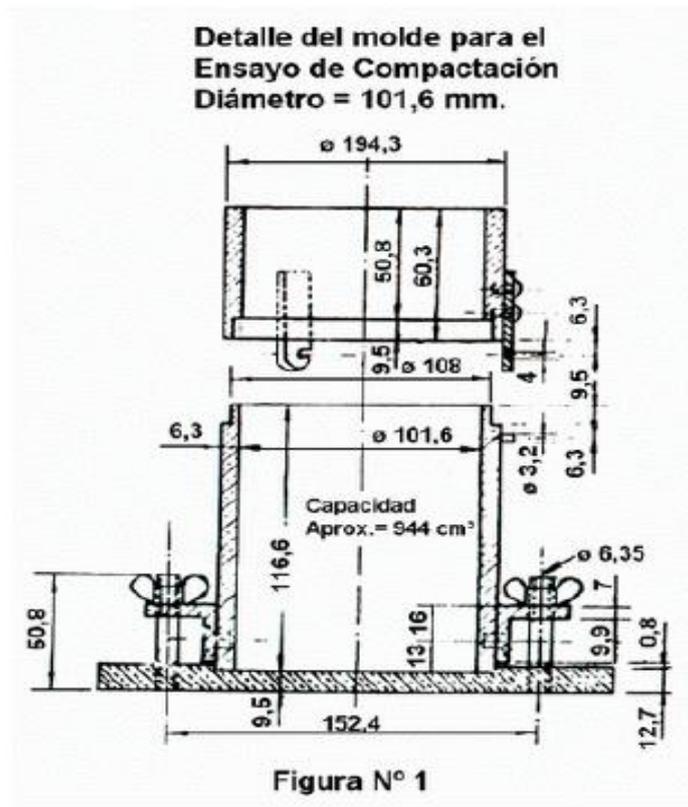
$D_{mc}$  = Densidad máxima corregida.

$G$  = Porcentaje de material retenido por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

$F$  = Porcentaje de material que pasa el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").

$d_g$  = Peso específico del material, en condición de saturado y a superficie seca, retenido en el tamiz IRAM 19 mm.(3/4").

$D_s$  = Densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación ejecutado con el material librado por el tamiz IRAM 19 mm. (3/4").



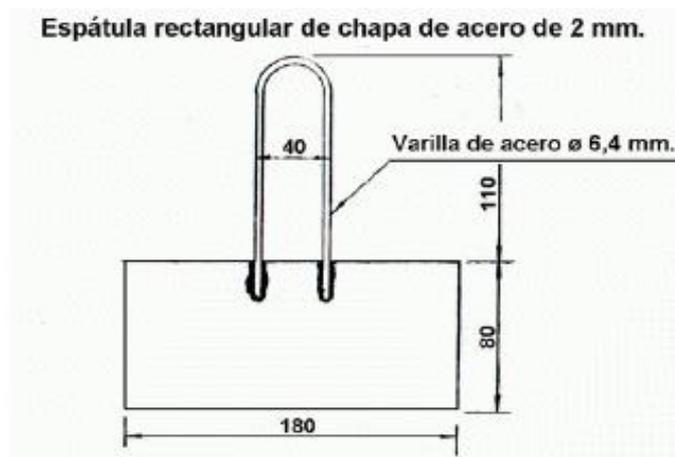
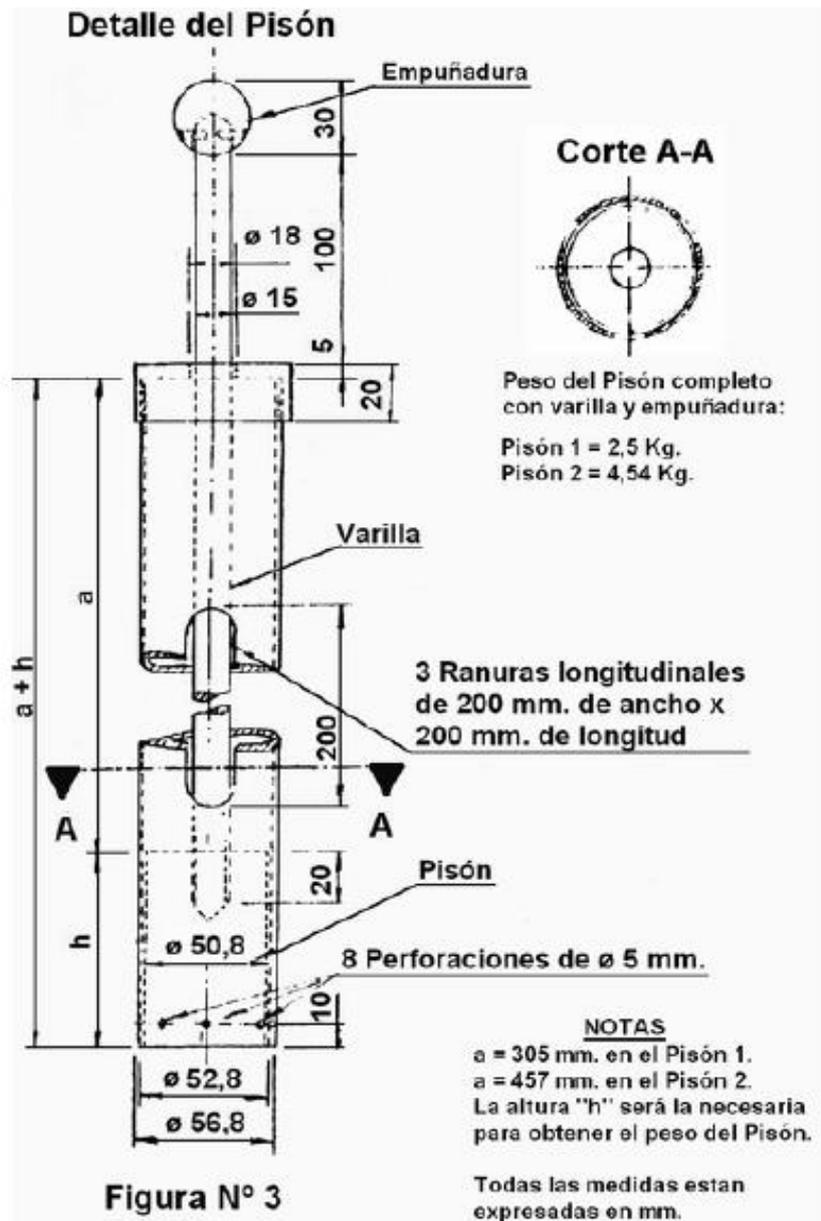


Figura 5: Detalle del Pisón, herramienta con que se realiza la compactación en el ensayo.

## **ENSAYOS IN SITU**

### **A1.5. CONTROL DE COMPACTACION POR EL METODO DEL CONO DE ARENA**

#### **Aparatos**

- a. Dispositivo que permite el escurrimiento uniforme del material utilizado para la medición del volumen, ver figura N° 1.
- b. Cilindro de hierro de las características y dimensiones indicadas en la figura N° 2.
- c. Bandeja de hierro, con orificio central, de las dimensiones y características indicadas en la figura N° 3.
- d. Cortafríos, cucharas, espátulas u otras herramientas adecuadas para efectuar un hoyo en el terreno y retirar el material removido.
- e. Balanza de por lo menos 5 Kg. de capacidad con sensibilidad de 1 gramo.
- f. Frascos o latas con cierre hermético (para recoger el material retirado del hoyo).
- g. Bolsa de material plástico y/o recipiente de plástico u otro material con tapa preferentemente roscada, de 4 lt. o más de capacidad.
- h. Tamices IRAM 850  $\mu\text{m}$ . (N° 20) y 600  $\mu\text{m}$  (N° 30)
- i. Elementos de uso corriente en laboratorio: probetas, espátulas, palas, pinceles de cerda etc.

#### **Calibración del aparato**

- a. Se seca en la estufa, hasta peso constante, 20 a 25 Kg. de arena silícea de granos redondeados y uniformes.
- b. Por tamizado se separa la fracción que pasa tamiz IRAM 850  $\mu\text{m}$ . (N° 20) y queda retenida en el tamiz IRAM 600  $\mu\text{m}$ . (N° 30).
- c. Se determina el volumen,  $V_c$ , del cilindro (ap. 8.2. b). hasta los 150 mm. de altura.

d. Se verifica el buen funcionamiento y ajuste de las partes móviles del aparato indicado en ap. 8.2. a.

e. Se llena el recipiente superior del dispositivo (ap. 8.2. a). con un peso conocido, P1, de la arena preparada según el ap. b. Se apoya firmemente el embudo sobre una superficie plana y rígida, se abre el robinete rápidamente  $\frac{1}{4}$  de vuelta de tal modo que la arena fluya libremente, hasta constatar que el embudo está totalmente lleno. Se cierra el robinete y se pasa la cantidad de arena sobrante en el recipiente superior, P2.

Por diferencia se determina el peso de la arena necesaria para llenar el embudo,  
 $P_e = P_1 - P_2$ .

Esta operación se repite cuidadosamente tres veces y se establece como valor de  $P_e$  el promedio. Los valores individuales no deberán diferir entre sí más de 5 g.

f. Se apoya el embudo en el encastre superior del cilindro, de volumen conocido  $V_c$ , colocado sobre una superficie perfectamente lisa. Se carga el recipiente superior con el mismo peso de arena P1 que se utilizó en el ap. e. Se gira el robinete rápidamente  $\frac{1}{4}$  de vuelta, esperando hasta que la arena termine de correr y se determina el peso, P3, de la arena que quedó en el recipiente.

Se repite cuidadosamente tres veces esta operación y se toma como valor de  $P_1 - P_3$  al promedio las tres determinaciones. Los valores individuales de cada determinación no deberán diferir entre sí en más de 10 g.

g. Se pesan varias cantidad de arena zarandeada iguales a P1 y se introduce cada una de ellas en un envase adecuado (ap. 8.2. g). Conviene preparar dos o tres medidas más de arena que el número de ensayos que se prevé efectuar.

### **Procedimiento**

a. Si el lugar donde debe realizarse la determinación presenta una superficie lisa, se elimina todo el material suelto con el pincel seco y se apoya el embudo del dispositivo, ap. ap. 8.2. a, marcando su contorno para que después de ejecutado el hoyo, cuya densidad piensa determinarse, sea posible colocar el embudo en el mismo lugar. Si la superficie presenta pequeñas irregularidades, antes de eliminar el polvo con el pincel se empareja con una pala ancha.

b. Con ayuda del cortafrió y la cuchara, o con cualquier otra herramienta adecuada, ap. 8.2.d, se ejecuta un hoyo cuyo diámetro será por lo menos de 10 cm. en el caso de suelos finos y tendrá el valor máximo (16 cm.) cuando se trate de suelos granulares. Sus paredes serán lisas verticales, con una profundidad igual al espesor que pretenda controlarse. Se recoge cuidadosamente todo el material retirado del hoyo, colocándolo dentro de uno de los frascos de cierre hermético (ap. 8.2.f), a medida que se lo va extrayendo.

Completada la perforación se ajusta el cierre y se identifica el frasco debidamente.

c. Se vacía el contenido de uno de los envases, preparado según lo establecido en ap. 8.3

g., en el recipiente superior del aparato, ap. ap. 8.2. a, colocado previamente con su embudo en coincidencia con la marca dejada en la superficie (apartado a.)

d. Se abre el robinete rápidamente  $\frac{1}{4}$  de vuelta, evitando trepidaciones y se hace fluir libremente la arena dentro de hoyo hasta que permanezca en reposo. Se cierra el robinete y se recoge la arena sobrante en el recipiente, colocándola debidamente identificada en el mismo envase en que venía. Se levanta con cuidado la arena limpia que cayó y se guarda en un recipiente cualquiera para utilizarla posteriormente, previo retamizado.

e. Si la superficie en donde se efectúa la determinación es irregular y no es posible emparejarla, la operación debe realizarse utilizando la bandeja (ap. 8.2.c) para tener en cuenta el volumen de arena necesario para alisar la cara superior de la perforación. Es necesario en este caso, para cada hoyo, disponer de dos envases llenos de arena de peso P1.

f. En el lugar elegido se limpia cuidadosamente la superficie eliminando con el pincel todo el material suelto. Se coloca sobre la misma bandeja (ap. 8.2.c), asegurándola en forma tal que no pueda moverse. Se coloca el dispositivo (ap. 8.2. a) introduciendo el embudo en el orificio de la bandeja, hecho esto se llena el recipiente superior con el contenido de uno de los envases. Se abre el robinete permitiendo que la arena fluya hasta que se mantenga en reposo. Se retira el aparato y se vierte la arena sobrante en el envase cuyo contenido se utilizó. Por diferencia se obtiene luego el peso de la arena utilizada, Pe1.

g. Se limpia toda la arena suelta que cayó sobre la superficie del pozo y la bandeja. Se realiza luego, cuidando de no mover la bandeja, un hoyo en el espesor a controlar con diámetro igual al del agujero de la bandeja y se continúa la determinación en la forma ya indicada en el apartado 8.4. b),c) y d).

h. Se pasa todo el material depositado en el recipiente hermético, al efectuar el hoyo. Llamemos Ph a este peso.

i. Se coloca dicho material en una bandeja y se seca a estufa a 105 - 100° c hasta peso constante. Llamemos Ps a dicho paso.

j. Se pasa la arena sobrante de la operación descrita en el ap. 8.4.d. Llamemos P4 a este peso.

### **Cálculos**

a. Constante del embudo: Es igual al peso de la arena que llena el embudo cuando este apoya sobre una superficie plana (ver ap.8.3.c)

Su valor es:  $Pe = P1 - P2$

b. Peso unitario de la arena seca: Se lo obtiene aplicando de fórmula (ver ap. 8.3. f):

$$da = \frac{P1 - P3 - Pe}{Vc}$$

P1= Peso de la arena colocada en el recipiente antes del ensayo.

P3= Peso arena remanente.

Pe= Constante del embudo.

Vc= Volumen del cilindro.

c. Densidad de la muestra seca.

Si se realizó la determinación sobre una superficie lisa (ap.8.4.a), se calcula con la fórmula:

$$Ds = \frac{Ps \times da}{P1 - P4 - Pe}$$

Ds= Densidad del suelo seco.

Ps= Peso del suelo seco

da= Peso unitario de la arena seca

P1= Peso inicial de la arena empleada en la determinación.

P4= Peso de la arena sobrante

Pe= Constante del embudo.

Si se efectuó la determinación sobre una superficie irregular, ap. 8.4.e, la fórmula a aplicar es:

$$D_s = \frac{P_s \times d_a}{P_1 - P_4 - P_{e1}}$$

Donde  $P_s$ ,  $d_a$ ,  $P_1$  y  $P_4$  tienen la significación antes expresada y  $P_{e1}$  es el peso de la arena utilizada descrito en ap. 8.4.f.

d. La humedad de la muestra: En el momento del ensayo se calcula mediante la expresión:

$$H\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

H= Contenido de humedad, en porcentaje.

$P_h$ = Peso del suelo húmedo.

$P_s$ = Peso del suelo seco.

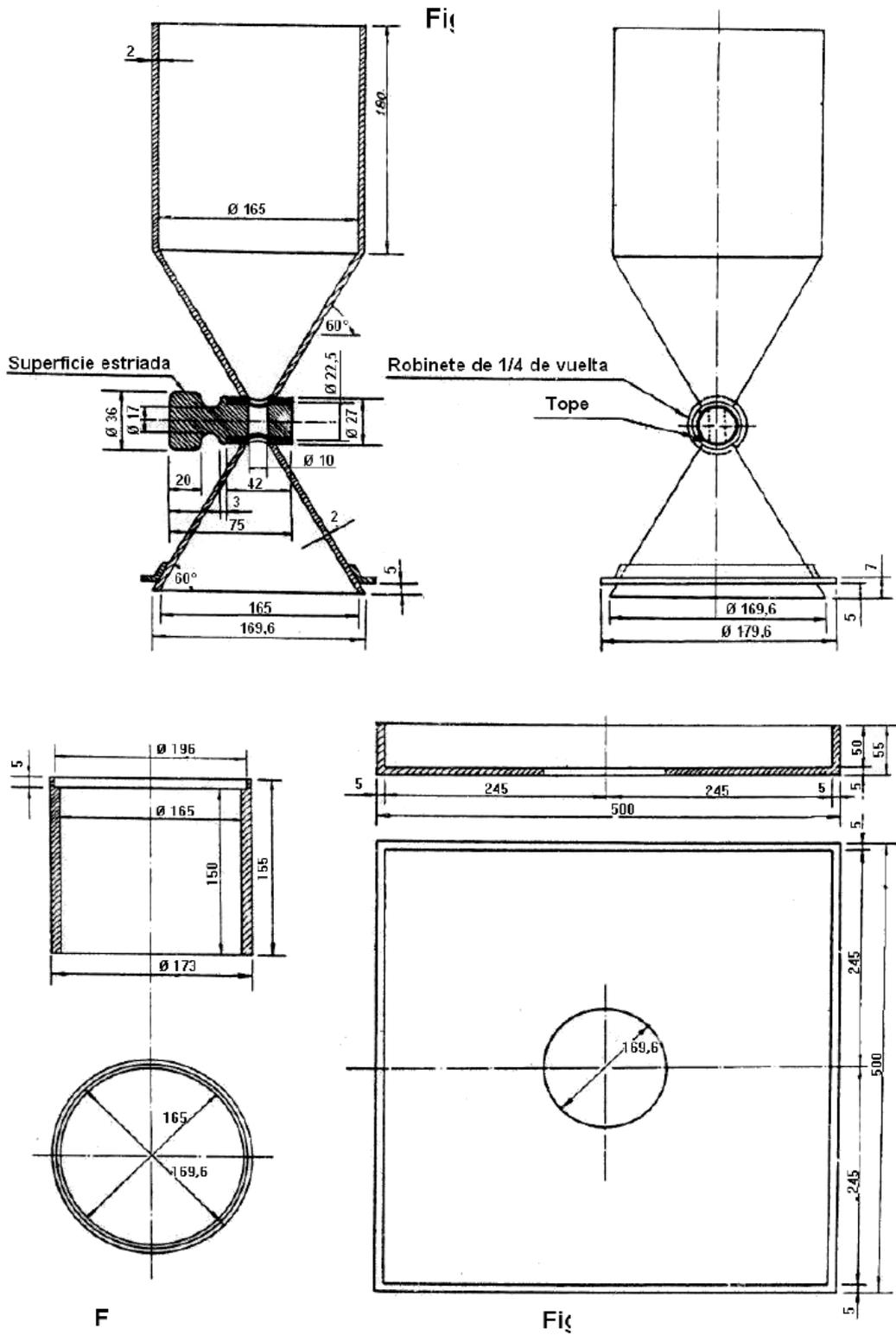
e. Grado de compactación logrado: Se establece aplicando la fórmula:

$$C = \frac{D_s}{D} \times 100$$

C= Porcentaje de compactación obtenido con relación a la compactación especificada.

$D_s$ = Densidad lograda (Kg./dm<sup>3</sup>.)

D= Densidad (en Kg./dm<sup>3</sup>) que debió obtenerse según lo indicado en el Pliego de Especificaciones de la obra.



Nota: Todas las medidas estan expresadas en mm.

Figura 6: Detalle del cono de arena.

**A1.6. RESULTADOS DE LABORATORIO.**

Estudio de suelos

OBRA: " Estudio de Suelo para una Cancha de Futbol"

Material Suelo del del lugar

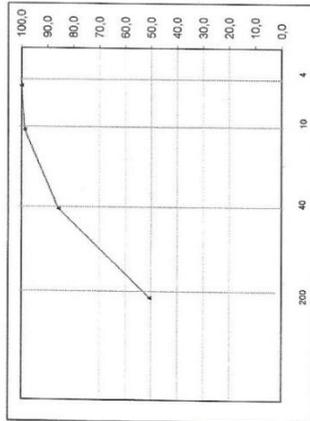
Profundidad de Capa:

Margen:

Progresivas

**GRANULOMETRIA por lavado**

PESO SECO DE LA MUESTRA: 200,0



Tamices (mm)	Tamices (mm)	RET. gr	PASA gr	% PAS
4	4,7625	0,0	200,0	100,0
10	2	2,4	197,6	98,8
20	0,42	26,1	171,5	85,8
60	0,074	70,4	101,1	50,6

**PLASTICIDAD**

Nº Golpes	29
Pesafiltro Nº	6
Tara Pesafiltro	14,22
PF + Suelo Humedo	65,40
PF + Suelo Seco	55,88
Peso Agua	9,52
Peso Suelo Seco	41,66
Humedad %	22,9

Pesafiltro Nº	7
Tara Pesafiltro	21,60
PF + Suelo Humedo	31,69
PF + Suelo Seco	30,16
Peso Agua	1,52
Peso Suelo Seco	8,56
Humedad %	17,8

LIMITE LIQUIDO 23,3 P/ 25 GOLFES

LIMITE PLASTICO 17,8

INDICE DE PLASTICIDAD 5,5

CLASIFICACION HRB

A-4

**COMPACTACIÓN  
MÉTODO DE PROCTOR**

Estudio de suelos

OBRA: "Cancha de Futbol"

Material Suelo

Profundidad de Capa:

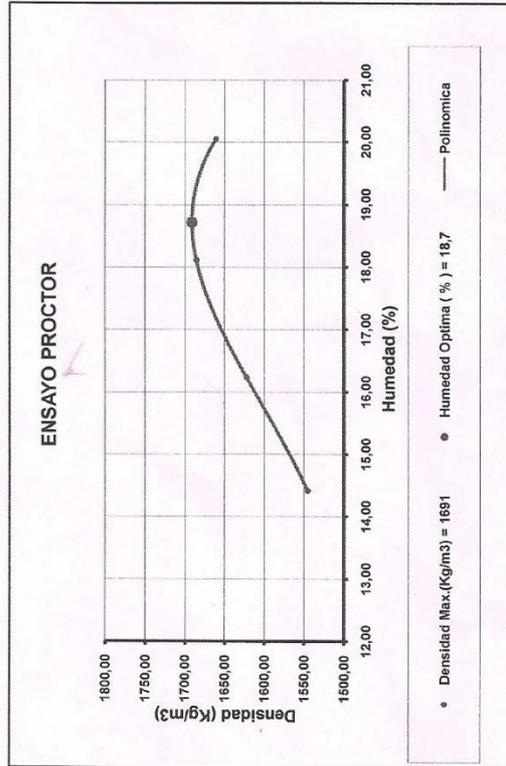
Tara molde (b): 1.701,0 gr.  
 Vol. Molde : 953 cm<sup>3</sup>  
 Pison : 4,5 lgr.  
 N° capas : 5  
 N° golpes : 25

Margen Progresivas

PESO SUELO + MOLDE	PESO SUELO	DENSIDAD HUMEDA	PESO SUELO HUMEDO	PESO SUELO SECO	% H.	DENSIDAD SECA
a	3.386,0	1.768,1	300,0	262,2	14,4	1.545
	3.498,0	1.885,6	300,0	258,1	16,2	1.622
	3.598,0	1.897,0	300,0	254,0	18,1	1.685
	3.601,0	1.900,0	300,0	249,9	20,0	1.661

$D_M = 1691$  kg/m<sup>3</sup>  
 $H_{op} = 18,7$  %  
 $\gamma = 2.650$  kg/m<sup>3</sup>  
 $\gamma_s = D_M / \gamma = 0,638$  m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>  
 $V_w = H_{op} \times D_M = 0,317$  m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>  
 $V_a = (H_s - H_{op}) \times D_M = 0,045$  m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>  
 TOTAL = 1,000

$n = 1 - \frac{D_M}{\gamma} = 36,2$  %



Laboratorista

Conductor

Inspector

**CLASIFICACIÓN DE SUELO SEGÚN H.R.B.**

<u>Clasificación</u>	<u>Denominación</u>	<u>Descripción</u>	<u>Tipo de material</u>
<b>Grupo</b>	<b>A-4 ( 4)</b>	Suelo limosos no plásticos o de baja plasticidad que generalmente tienen un contenido del 75%o mas que pasa el tamiz N°200.Incluye también mezclas de suelos limosos finos con hasta 64% de arena y grava.Valores altos del contenido de material grueso.-	<b>SUELOS LIMOSOS</b>
<b>Sub-grupo</b>			

**Condiciones de compactación**

<u>N° de Golpes</u>	<u>Método</u>
14	AASHO.T-180 en cinco(5) capas molde chico

