

Caracterización de Materiales

Tema 10. Caracterización física



Isidro Carrascal Vaquero
Soraya Diego Cavia
José Antonio Casado del Prado
Diego Ferreño Blanco
Jesús Setién Marquínez

DPTO. DE CIENCIA E INGENIERÍA
DEL TERRENO Y DE LOS MATERIALES

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Comportamiento Mecánico.

Índice:

- Densidades: Aparente, Relativa y Real
- Densidad de conjunto
- Porosidad
- Absorción capilar
- Permeabilidad
- Profundidad de penetración de agua bajo presión
- Retracción de secado e hinchamiento en agua
- Determinación de la granulometría de partículas
- Resistencia a la fragmentación
- Resistencia al desgaste (MICRO-DEVAL)
- Resistencia al desgaste(Abrasión por neumático claveteado)
- Índice de machacabilidad
- Evaluación de los finos (equivalente de arena)

Comportamiento Mecánico.

Índice:

- Finura de molido por tamizado húmedo
- Consistencia por mesa de sacudidas
- Tiempo de fraguado
- Estabilidad de volumen
- Contenido de aire ocluido
- Consistencia del hormigón fresco (CONO DE ABRAMS)
- Exudación del hormigón

1. DENSIDADES

- **PROPIEDADES FÍSICAS:** propiedades relacionadas con fenómenos y medidas de naturaleza física

Densidad: relación entre la masa y el volumen de cualquier cuerpo material

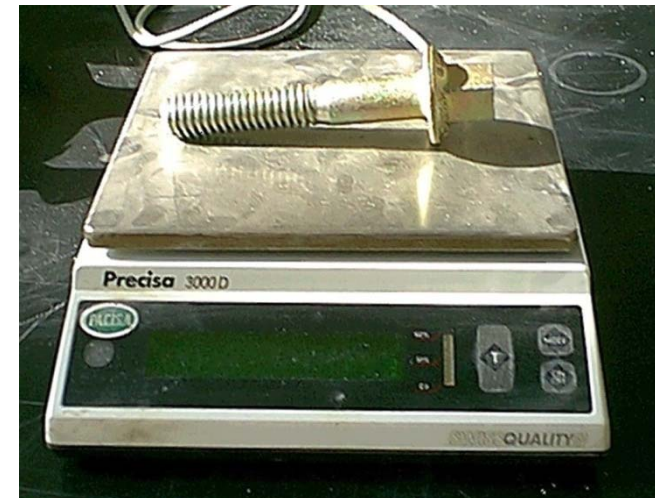
$$D = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Peso específico: relación entre el peso y el volumen de cualquier cuerpo material

$$P_e = \frac{P}{V} \left[\frac{\text{kp}}{\text{m}^3} \right]$$

Peso/Masa →

Volumen ??

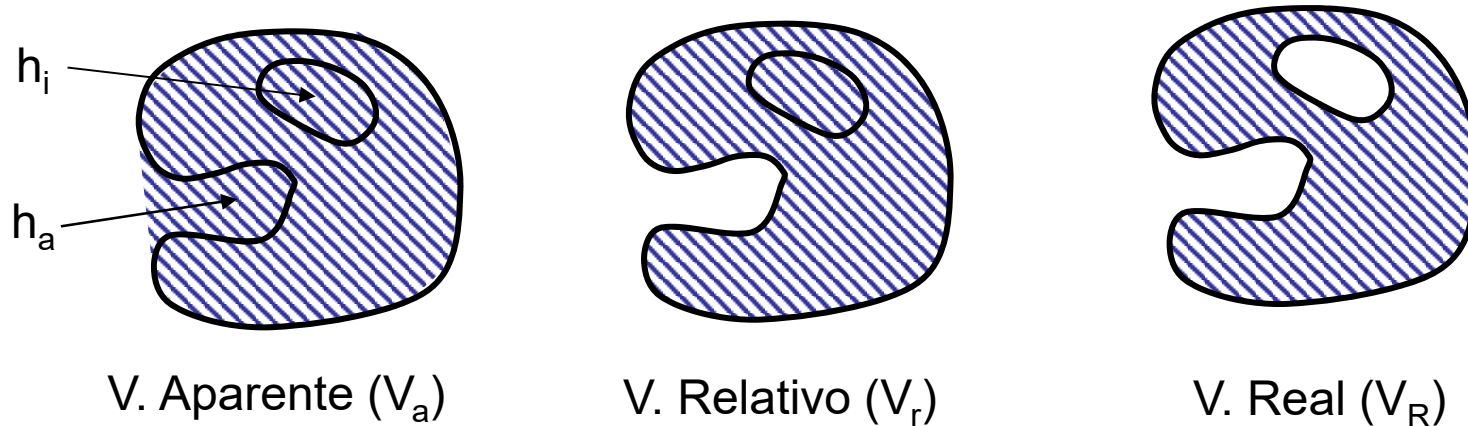


MEDIDA DEL VOLUMEN

- ❑ En líquidos y gases es sencillo (recipiente que los contiene)
- ❑ Los sólidos, generalmente, no son cuerpos simples sino que podrán estar formados por 3 fases:
 - Una sólida formada por partículas que constituyen la masa del cuerpo
 - Y otras dos, gaseosa y/o líquidas ocupando espacios libres
- ❑ Por tanto, el volumen ocupado por un cuerpo en el espacio, definido por sus superficies envolventes, no está formado totalmente por partículas sólidas

→ En su interior pueden existir **POROS**

- El **volumen** se define por medio de sus dimensiones y morfología



VOLUMEN APARENTE: definido por sus superficies envolventes (V_a)

VOLUMEN RELATIVO: parte sólida más los poros inaccesibles (V_r)

VOLUMEN REAL: parte sólida del cuerpo (V_R)

POROS ACCESIBLES: aquéllos que se llenan de agua después de mantener sumergido el cuerpo durante 24 horas (h_a)

POROS INACCESIBLES: los que no se llenan de agua después de mantener sumergido el cuerpo durante 24 horas (h_i)

POROS TOTALES: suma de los poros accesibles e inaccesibles

$$h_t = h_a + h_i$$



□ En función del tipo de volumen considerado se tendrá:

➤ **Densidad aparente** $D_a = \frac{P}{V_a}$

➤ **Densidad relativa** $D_r = \frac{P}{V_r} = \frac{P}{V_a - h_a}$

➤ **Densidad real** $D_R = \frac{P}{V_R} = \frac{P}{V_r - h_i} = \frac{P}{V_a - h_a - h_i} = \frac{P}{V_a - h_t}$

De forma que $D_R \geq D_r \geq D_a$

DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES

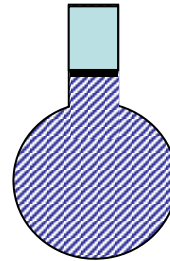
Medida de la densidad real (D_R)

- ☐ Solo material granular ($h_i = 0$)

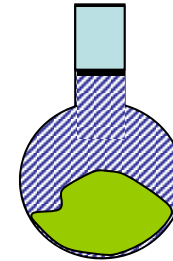
Método del picnómetro



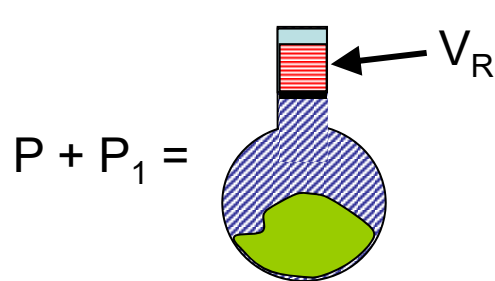
P: P seco (triturado)



P₁: picnómetro + líquido hasta enrase (ρ_L)



P₂: picnómetro + muestra + líquido hasta enrase



$P + P_1 =$

$P + P_1 = P_2 + \text{Peso del líquido que ocupa } V_R$

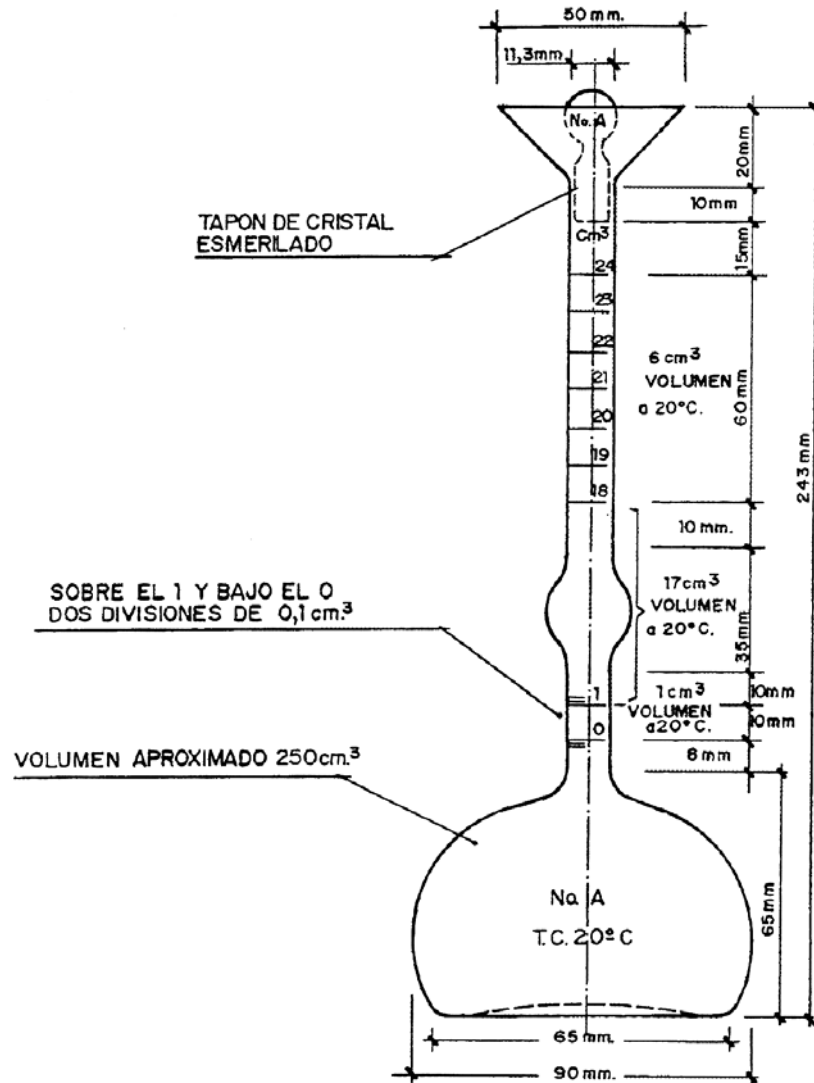
$P + P_1 = P_2 + V_R \cdot \rho_L$

$$V_R = \frac{P + P_1 - P_2}{\rho_L}$$



$$D_R = \frac{P}{V_R}$$

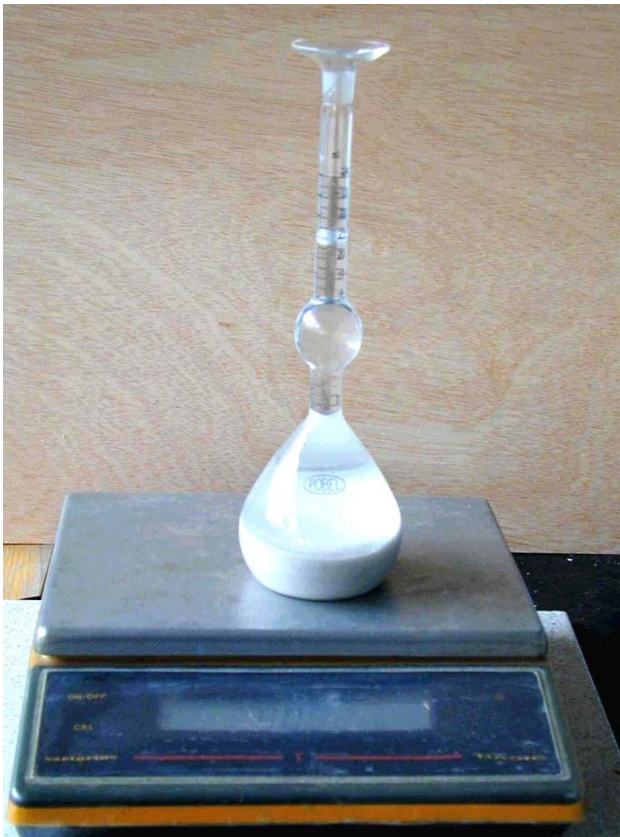
Método del volumenómetro de Le Chatelier



- ❑ UNE 80-103-86: *Determinación de la densidad real mediante el volumenómetro de Le Chatelier*
- ❑ Líquido que no reaccione con la muestra (agua)
- ❑ V_0 entre 0 y 1 cm³
- ❑ P_0 : peso inicial del recipiente + la muestra
- ❑ V_f : Se añade muestra hasta que se supera el valor de 18 cm³
- ❑ P_f : Se pesa el recipiente con el resto de muestra

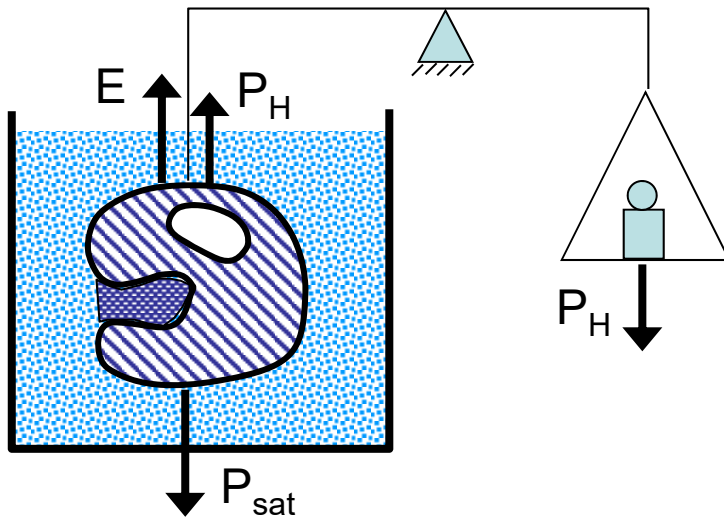
$$D_R = \frac{P_0 - P_f}{V_f - V_0} \Rightarrow D_R = \frac{P}{V_R}$$

❑ Método del volumenómetro de Le Chatelier



Medida de la densidad relativa (D_r) y aparente (D_a)

Método de la balanza hidrostática



- Muestra saturada
- P: Peso seco de la muestra
- P_{sat} : Peso de muestra saturada (h_a lleno de agua)
- P_H : Peso hidrostático (balanza)

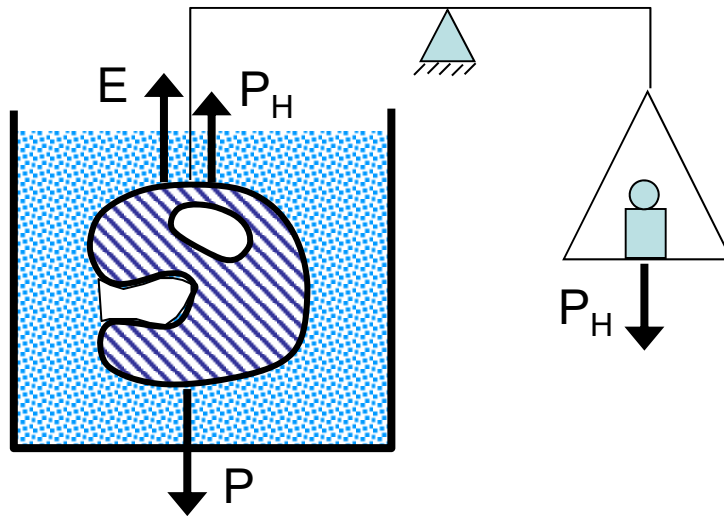
- Empuje: Peso del volumen de líquido desalojado: $E = V_a \cdot \rho_L$

- $P_{sat} = P_H + E = P_H + V_a \cdot \rho_L \quad V_a = \frac{P_{sat} - P_H}{\rho_L} \Rightarrow D_a = \frac{P}{V_a}$

- Líquido que llena los poros accesibles: $h_a \cdot \rho_L = P_{sat} - P \Rightarrow h_a = \frac{P_{sat} - P}{\rho_L}$

$$V_r = V_a - h_a = \frac{P_{sat} - P_H}{\rho_L} - \frac{P_{sat} - P}{\rho_L} = \frac{P - P_H}{\rho_L} \Rightarrow D_r = \frac{P}{V_r}$$

Método de la balanza hidrostática con líquido que no moja, o medida instantánea de forma que no se llenan los poros accesibles



- Muestra seca
- P: Peso seco de la muestra
- P_H: Peso hidrostático (balanza)
- No es un recomendable ya que los poros pueden coger algo de agua durante la medida

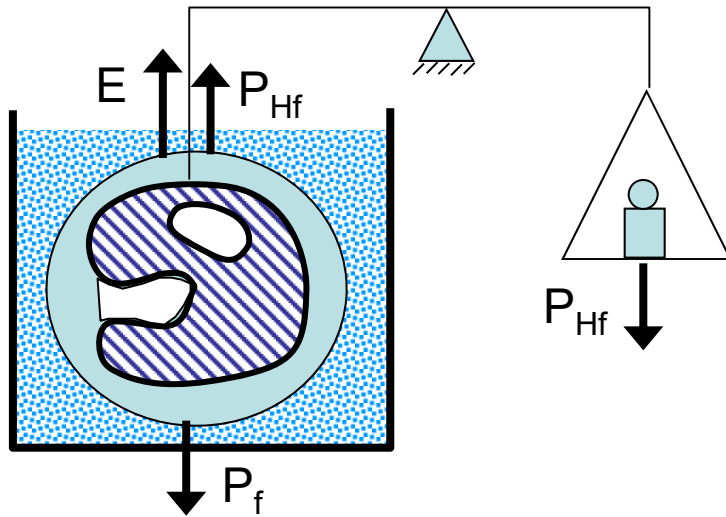
Empuje: Peso del volumen de líquido desalojado: $E = V_a \cdot \rho_L$

$P = P_H + E = P_H + V_a \cdot \rho_L$ $V_a = \frac{P - P_H}{\rho_L} \Rightarrow D_a = \frac{P}{V_a}$

Para V_r es necesario saturar: $h_a \cdot \rho_L = P_{sat} - P \Rightarrow h_a = \frac{P_{sat} - P}{\rho_L}$

$$V_r = V_a - h_a = \frac{P_{sat} - P_H}{\rho_L} - \frac{P_{sat} - P}{\rho_L} = \frac{P - P_H}{\rho_L} \Rightarrow D_r = \frac{P}{V_r}$$

Método de la balanza hidrostática con parafina



- ❑ Muestra seca
- ❑ Se recubre la muestra con parafina, tal que los poros accesibles pasan a ser inaccesibles
- ❑ P : Peso seco de la muestra
- ❑ P_f : Peso de la muestra parafinada
- ❑ P_{Hf} : P_H de la muestra parafinada

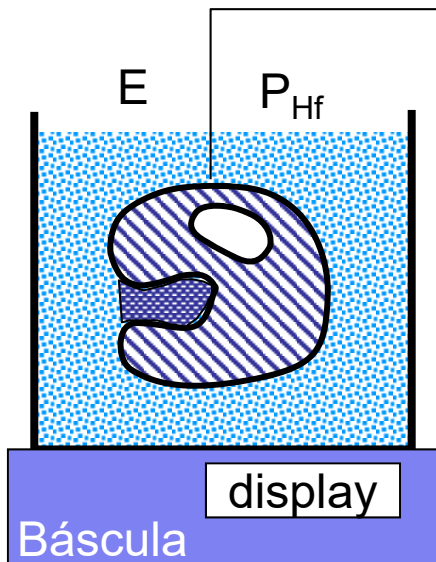
❑ Peso de la parafina: $P_{par} = P_f - P$; Vol. Parafina: $V_{par} = P_{par} / \rho_{par}$

❑ E : Peso líquido desalojado por el V_a del conjunto: $E = (V_a + V_{par}) \cdot \rho_L$

❑ $P_f = E + P_{Hf}$ $P_f = \left(V_a + \frac{P_{par}}{\rho_{par}} \right) \cdot \rho_L + P_{Hf}$

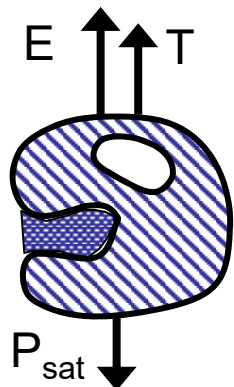
❑ $V_a = \frac{P_f - P_{Hf}}{\rho_L} - \frac{P_{par}}{\rho_{par}} \Rightarrow D_a = \frac{P}{V_a}$ Para D_r es necesario saturar

Método de la balanza hidrostática directa



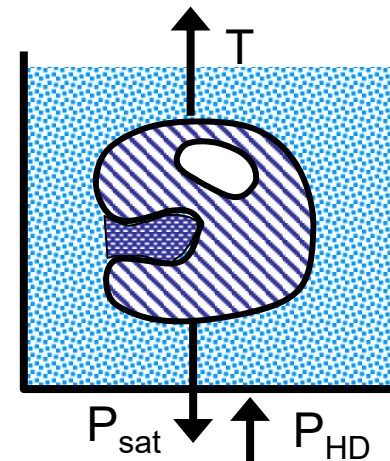
- Se tara el recipiente lleno de líquido
- P: Peso seco de la muestra
- P_{sat} : Peso saturado
- P_{HD} : P_H directo

Aislando el cuerpo



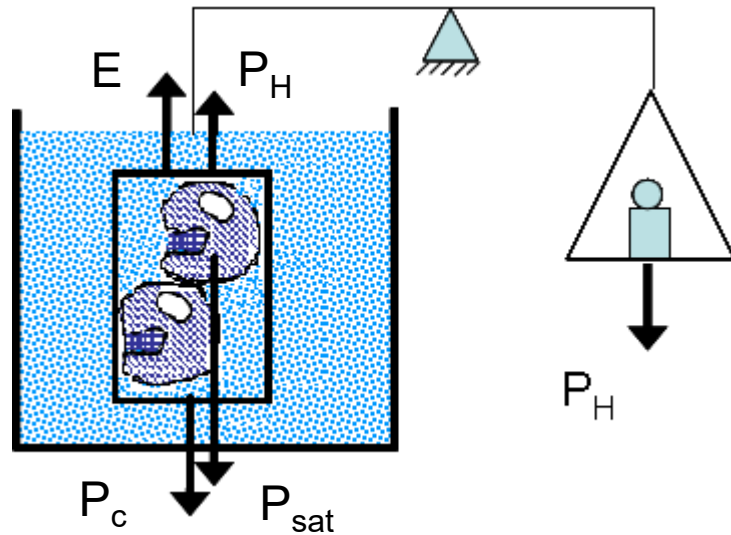
- $E + T = P_{sat}$
- $E = V_a \cdot \rho_L$
- $T = P_{sat} - V_a \cdot \rho_L$

Aislando recipiente + líq + cuerpo



- $P_{HD} = P_{sat} - T$
- $P_{HD} = V_a \cdot \rho_L$
- $V_a = P_{HD} / \rho_L$
- $D_a = P / V_a$

Método de la balanza hidrostática. Material granular (I)



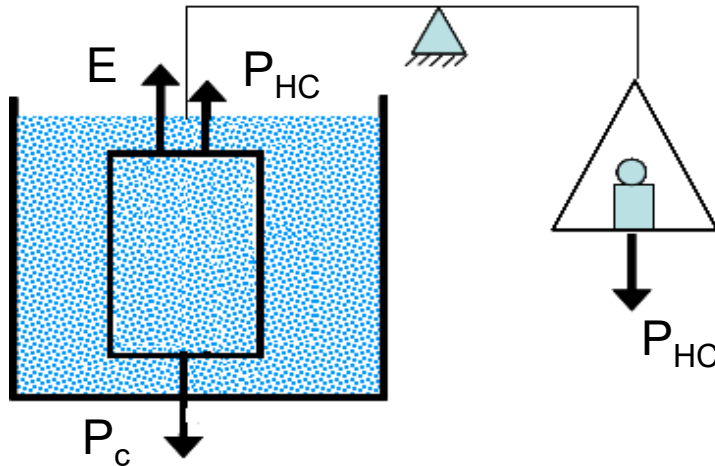
- Muestra saturada
- P: Peso seco de la muestra
- P_{sat}: Peso muestra saturada (h_a lleno de agua)
- P_H: Peso hidrostático (balanza)
- P_c: peso de la cesta

Empuje: Peso del V de líquido desalojado: $E = V_L \cdot \rho_L = (V_a + V_C) \cdot \rho_L$

$P_{sat} + P_C = P_H + E = P_H + (V_a + V_C) \cdot \rho_L$

$V_a = \frac{P_C + P_{sat} - P_H}{\rho_L} - V_C \rightarrow \text{¿ } V_C \text{ ?}$

Método de la balanza hidrostática. Material ganular (II)



- ❑ ¿ V_C ?
- ❑ Se sumerge la cesta vacía
- ❑ P_C : Peso de la cesta
- ❑ P_{HC} : Peso hidrostático de la cesta

❑ Empuje: Peso del V de líquido desalojado: $E = V_C \cdot \rho_L$

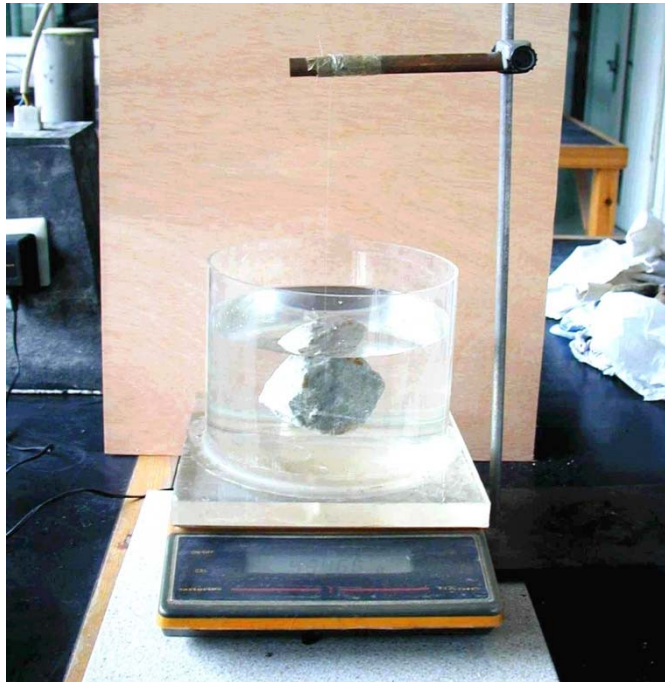
❑ $P_C = P_{HC} + E = P_{HC} + V_C \cdot \rho_L \rightarrow V_C = (P_C - P_{HC}) / \rho_L$

❑ $V_a = \frac{P_C + P_{sat} - P_H}{\rho_L} - \frac{P_C - P_{HC}}{\rho_L} = \frac{P_{sat} - P_H + P_{HC}}{\rho_L} \Rightarrow D_a = \frac{P}{V_a}$

❑ Líquido que llena los poros accesibles: $h_a \cdot \rho_L = P_{sat} - P$

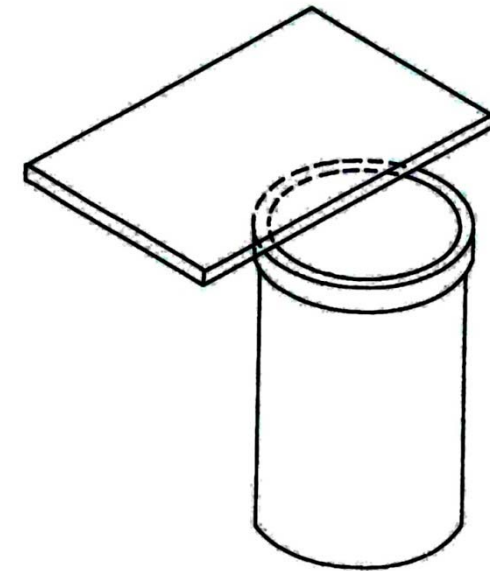
❑ $V_r = V_a - h_a = \frac{P_{sat} - P_H + P_{HC}}{\rho_L} - \frac{P_{sat} - P}{\rho_L} = \frac{P - P_H + P_{HC}}{\rho_L} \Rightarrow D_r = \frac{P}{V_r}$

- ❑ **Determinación del volumen relativo y del volumen aparente mediante la balanza hidrostática directa**



- ❑ **DENSIDAD DE CONJUNTO:** en materiales granulares o molidos, formados por partículas separadas entre sí por huecos, es la relación entre el peso del conjunto de partículas y el volumen que ocupa dicho conjunto, incluidos los huecos existentes entre las partículas

$$D_C = \frac{P}{V_C}$$



- ❑ Su valor tiene expresiones muy diferentes según el recipiente que se use para medir el volumen y la forma de llenarlo
- ❑ De forma que $D_R \geq D_r \geq D_a \geq D_C$

2. POROSIDAD

❑ **POROSIDAD**: relación entre el volumen de poros del cuerpo y su volumen aparente

❑ Porosidad **absoluta**: $P_a = \frac{h_a + h_i}{V_a}$

❑ Porosidad **relativa**: $P_r = \frac{h_a}{V_a}$

❑ **COMPACIDAD**: complemento a la unidad de la porosidad

❑ Compacidad **absoluta**:

$$C_a = 1 - P_a = 1 - \frac{h_a + h_i}{V_a} = \frac{V_a - h_a - h_i}{V_a} = \frac{V_R}{V_a} = \frac{\frac{P}{D_R}}{\frac{P}{D_a}} = \frac{D_a}{D_R}$$

❑ Compacidad **relativa**:

$$C_r = 1 - P_r = 1 - \frac{h_a}{V_a} = \frac{V_a - h_a}{V_a} = \frac{V_r}{V_a} = \frac{\frac{P}{D_r}}{\frac{P}{D_a}} = \frac{D_a}{D_r}$$

❑ Muestra unitaria

- **Índice de poros**: relación entre volumen total de poros y el de la parte sólida de la muestra

$$I = \frac{h_a + h_i}{V_R} = \frac{h_a + h_i}{V_a - h_a - h_i} \left\{ \begin{array}{l} P_a = \frac{h_a + h_i}{V_a} \\ C_a = 1 - P_a = \frac{V_a - h_a - h_i}{V_a} \end{array} \right\} I = \frac{V_a \cdot P_a}{V_a \cdot C_a} = \frac{P_a}{C_a}$$

❑ Material granular

- **Oquedad**: relación entre volumen de huecos (H) y volumen de conjunto

$$O = \frac{H}{V_C} = \frac{V_C - V_a}{V_C} = 1 - \frac{V_a}{V_C} = 1 - \frac{\frac{P}{D_a}}{\frac{P}{D_C}} = 1 - \frac{D_C}{D_a}$$

- **Compacidad**: complemento a la unidad de la oquedad

$$C = 1 - O = \frac{D_C}{D_r}$$

- ❑ **ABSORCIÓN:** porcentaje del peso de agua tomada por el cuerpo hasta saturación, respecto del peso del mismo totalmente seco

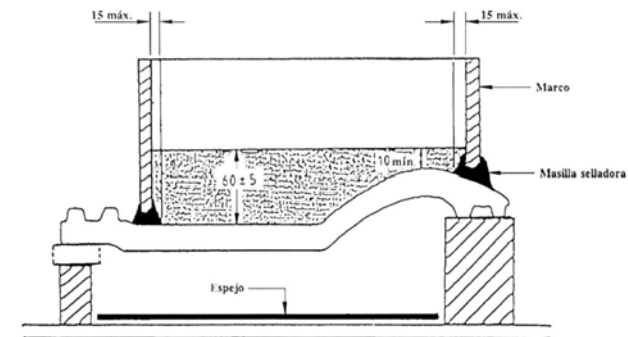
$$A (\%) = \frac{P_s - P_c}{P_c} 100$$

- ❑ **HUMEDAD:** porcentaje del peso de agua que contiene el cuerpo, respecto del peso del mismo totalmente seco

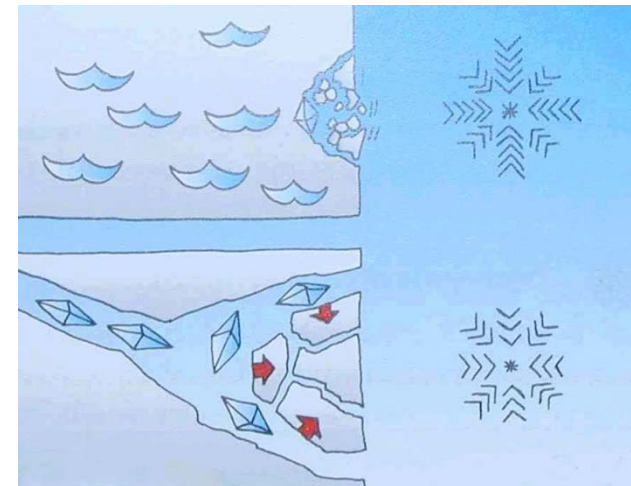
$$H (\%) = \frac{P_H - P_c}{P_c} 100$$

- ❑ **CONTRACCIÓN O RETRACCIÓN:** reducción de las dimensiones del material al ser extraído el líquido que contiene
- ❑ **HINCHAMIENTO:** aumento de las dimensiones de un material al absorber una cierta cantidad de líquido

- **PERMEABILIDAD:** resistencia que opone un sólido poroso a que un fluido bajo presión le atraviese



- **RESISTENCIA A LA HELADA:** capacidad de un sólido de soportar ciclos de hielo-deshielo, sin deteriorarse



3. ABSORCIÓN CAPILAR

- ❑ (Aditivos para hormigones, morteros y pastas)
- ❑ Objetivo: efecto de los aditivos sobre la absorción capilar de los morteros
- ❑ Equipos:
 - Balanza,
 - Recipiente con dispositivo para mantener constante el nivel
 - Armario climatizado: 20 ± 2 °C y 65 ± 5 % HR
- ❑ Probetas: de mortero de 160 x 40 x 40 mm sin molde engrasado
 - 6 probetas de mortero de referencia (testigo)
 - 6 probetas de mortero de ensayo (con aditivo y debe tener la misma consistencia ó misma relación agua/cemento que el testigo)
 - Se desmoldan las probetas a las 24 h y se conservan 7 y 90 días a 20°C y 65 % HR. 6 se ensayan a los 7 días y 6 a los 90 días

3. ABSORCIÓN CAPILAR

□ Procedimiento:

- Se colocan en el baño de forma que se permita que el agua acceda libremente a la base
- El nivel se debe mantener 3 mm por encima de la base y se cierra el recipiente
- M_0 : Se pesan al salir del armario a los 7 y 90 días
- M_j : Se pesan las probetas tras la absorción en los tiempos establecidos secando previamente las superficies
 - ❖ Las de 7 días: tras 1 y 7 días de contacto
 - ❖ Las de 90 días: tras 1, 7 y 28 días
- La absorción capilar se obtiene de la expresión: (media de las 3)

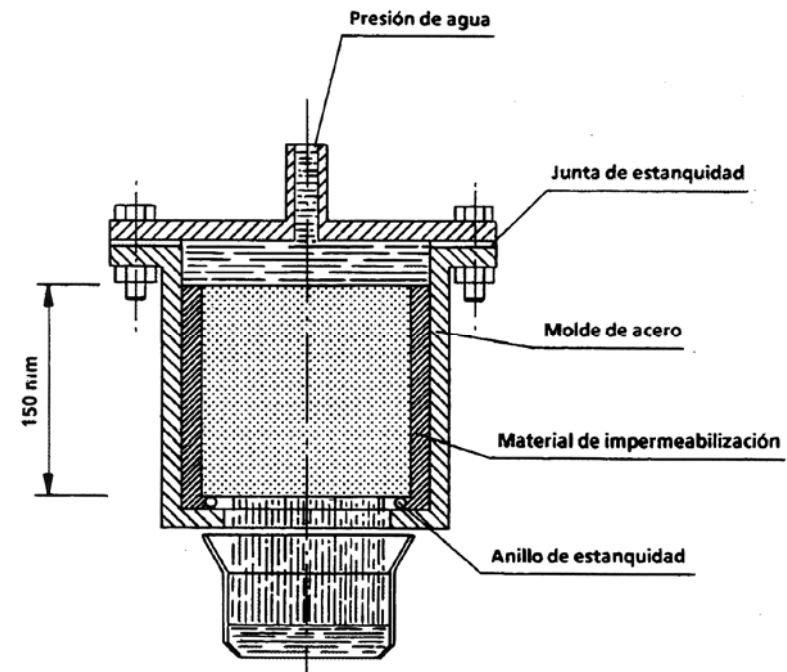
$$C_A = \frac{M_j - M_0}{1600}$$

4. PERMEABILIDAD

- ❑ (HORMIGÓN)
- ❑ Objetivo: determinación de la permeabilidad al agua bajo presión del hormigón endurecido

- ❑ Equipos:

- Dispositivo de la figura
- Recipiente que reciba el agua permeada y que permita la medida de su volumen



- ❑ Probeta:

- Cúbicas o cilíndricas de 150, 200 ó 300 mm de arista/diámetro
- Pueden ser fabricadas o testigos (3 por ensayo)

4. PERMEABILIDAD

□ Realización:

- Se realiza a una edad superior a 28 días
- Se determina la D_a calculando el volumen geoméricamente
- Se aplican sucesivamente las siguientes presiones $P/3$, $2P/3$, P y $4P/3$ durante 24 horas cada una de ellas
- El valor de P es la P máxima a tener en cuenta (P.e. la de servicio)
- En el momento que se advierte la salida de agua en la cara opuesta, se anota la presión y el tiempo al que ocurre
- Si no llega a atravesar, se parte la probeta (ensayo brasileño) y se comprobaría la profundidad de penetración alcanzada por el agua

□ Resultado:

- Permeabilidad para cada presión: volumen total de agua que atraviesa la probeta por unidad de tiempo

5. PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN

□ (Hormigón)

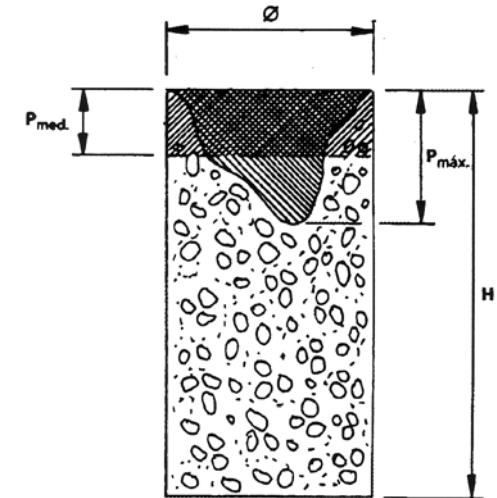
□ Definiciones:

- Frente de penetración: lugar geométrico de los pto hasta donde llega el agua
- Profundidad de penetración: distancia de cada pto del frente a la superficie
- Profundidad máxima de penetración
- Profundidad media de penetración:

$$P_{med} = \text{Area}_{\text{penetración}} / \text{diámetro}$$

□ Probetas

- Cúbicas o cilíndricas de 150, 200 ó 300 mm
- Relación $h/\varnothing \geq 0.5$; $h > 100$
- Recomendable 3 probetas por ensayo

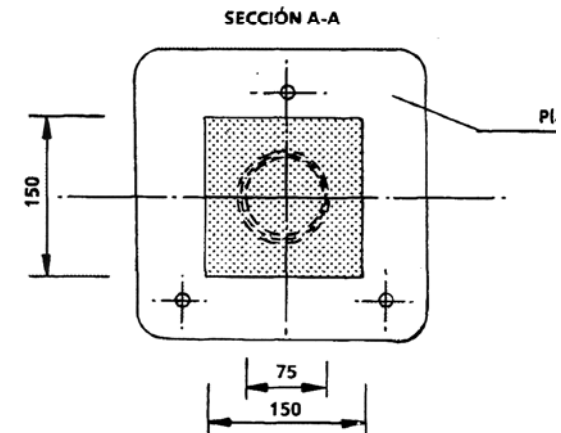
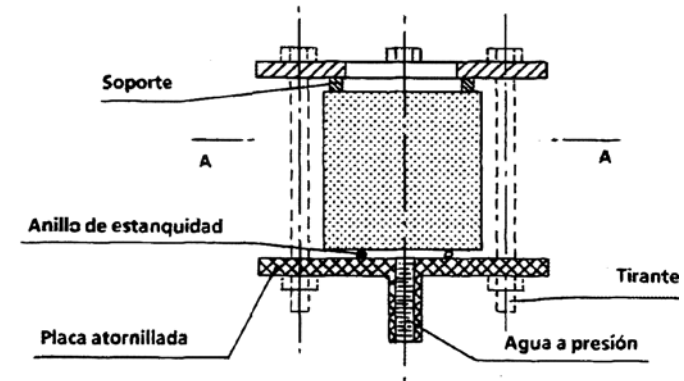


5. PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN

❑ Equipo

❑ Procedimiento:

- Se realiza a edad superior a 28 días
- 24 horas previas secado a 50 °
- Se aplica una presión de 100 KPa durante 48 h
- Después 300 y 700 KPa durante 24 h
- Se saca la probeta del dispositivo y se rompe (Ensayo Brasileño)
- Se marca con rotulador el frente
- Se mide la P_{\max} y se calcula la P_{med}
- En caso de fuga de agua el ensayo se para



6. RETRACCIÓN DE SECADO E HINCHAMIENTO EN AGUA

- (Cementos)
- El ensayo consiste en medir, en función del tiempo, la variación de longitud de probetas prismáticas de pasta pura o mortero
- Equipo:
 - Balanza, amasadora, molde y accesorios
 - Comparador de longitudes
 - Armario para conservación de probetas en molde (20 °C y 90 %HR)
 - Cámara de conservación para probetas (20 °C y 50 %HR)
 - Baño de agua (20 °C y nivel de agua > 5 mm sobre la probeta)
- Probeta:
 - Probetas de pasta dura: consistencia normal (UNE 80 102)
 - Probetas de mortero: (UNE 80-101)

6. RETRACCIÓN DE SECADO E HINCHAMIENTO EN AGUA

❑ Conservación de las probetas:

- Retracción: 4 probetas en cámara (20 °C y 50 % HR)
- Hinchamiento: 4 probetas en agua a 20 °C

❑ Procedimiento:

- L_1 : medida de la probeta al sacarla del molde
- L_2 : Medidas a la edad de 3, 7 y 28 días
- Antes de cada serie de medidas, el comparador de longitudes se calibre con una barra metálica de 285 mm de longitud cuyos extremos tengan la forma de las piezas de referencia que se acoplan a las probetas

❑ Resultados

- La variación de longitud (retracción o hinchamiento) se calcula a cada edad:

$$V(\%) = 100 \cdot (\Delta L / L_1)$$

7. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE PARTÍCULAS

- ❑ Tela metálica trenzada: tela de hilos metálicos en ángulo recto formando aberturas cuadradas
- ❑ Chapa perforada: chapa con agujeros cuadrados uniformes y simétricos
- ❑ Los tamices con aberturas ≥ 4 mm → **chapa perforada**
- ❑ Los tamices con aberturas < 4 mm → **tela trenzada**
- ❑ Tamices nominales: medidas en mm
 - 0.063 – 0.125 – 0.250 – 0.500 – 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 31.5 – 63 – 125
- ❑ Serie ASTM : medidas en pulgadas
 - 3 - 1 ½ - 3/4 - 3/8 - n°4 – n°8 – n°16 – 30 - 50 - 100 (serie TAYLOR)
 - El n° ASTM indica n° de mallas por pulgada cuadrada

7. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE PARTÍCULAS

- ❑ Se aplica a áridos de origen natural o artificial de hasta 63 mm
- ❑ Principio: el ensayo consiste en dividir y separar, mediante tamices, un material en varias fracciones granulométricas de tamaño decreciente
 - método: lavado del árido y su posterior tamizado en vía seca
 - Si el lavado puede alterar las propiedades de los finos → no aplicar
- ❑ Equipos:
 - Tamices (EN 933-2), tapas y fondos herméticos
 - Estufa ventilada (110 °C)
 - Dispositivo de lavado, bandejas, cepillos
 - Balanza
 - Máquina de tamizar (opcional)

7. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE PARTÍCULAS

☐ Muestra:

- La masa de cada muestra para áridos de ρ entre 2 y 3 Mg/m³ será

Tamaño máximo (mm)	63	32	16	8	≤ 4
Masa mínima (kg)	40	10	2.6	0.6	0.2

- Secar la muestra a 110 °C hasta P cte, enfriar y pesar $\rightarrow M_1$

☐ Realización : **Lavado**

- Cubrir la muestra con agua
- Agitar la muestra par conseguir suspensión de finos
- Verter sobre el tamiz de 63 μ m (protegido con uno de 2 mm)
- Continuar lavando hasta que el agua que fluye por el tamiz sea clara
- Secar residuo a 110 °C hasta P cte y pesar $\rightarrow M_2$

7. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE PARTÍCULAS

❑ Realización : **Tamizado**

- Columna de tamizado: tamices ensamblados de arriba abajo en orden decreciente de tamaño con fondo y tapa
- Verter el material lavado y secado en la columna de tamizado
- El lavado no elimina todos los finos → coloca tamiz de 63 μm
- Se agita la columna (manual o mecánicamente)
- Retirar los tamices uno a uno y agitar manualmente sobre un fondo, lo que pase se añade al tamiz inferior
- Para evitar sobrecargas las fracciones retenidas $< (A \cdot \sqrt{d})/200$ donde A es el área del tamiz y d su abertura

7. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE PARTÍCULAS

□ Realización : **Pesado**

➤ Retirar el material retenido por el tamiz y registrar su masa → R_i

- Porcentaje de material retenido: $t_i = 100 \cdot R_i / M_1$
- Porcentaje que pasa: $100 - (100 \cdot R_i / M_1)$
- Porcentaje acumulado retenido: $r_i = \sum_1^i t_i$
- Porcentaje acumulado que pasa: $P_i = 100 - r_i$
- Masa retenida en el fondo: P
- Porcentaje de finos: $f = 100 \cdot ((M_1 - M_2) + P) / M_1$

➤ Validación:

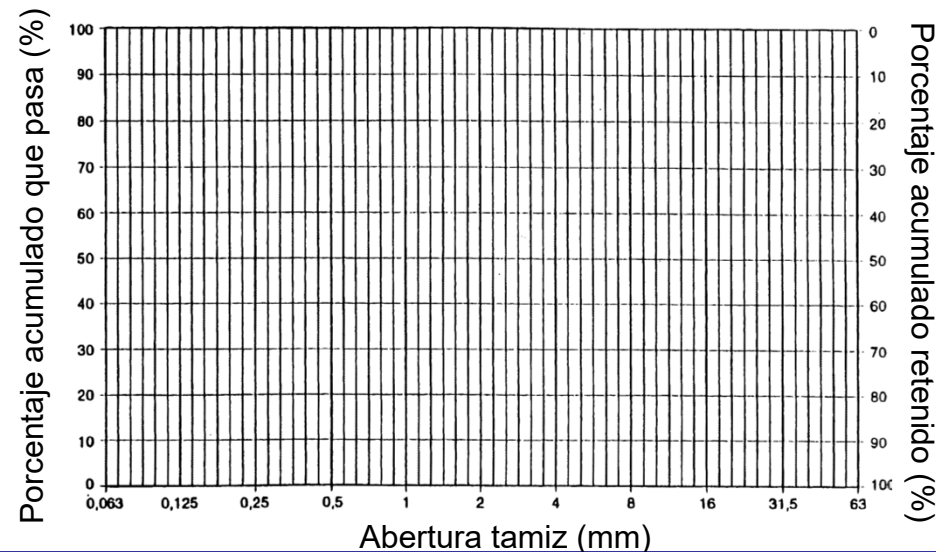
- si $\sum R_i + P$ difiere en más de 1 % de M_2 → **Repetir ensayo**

7. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE PARTÍCULAS

- Representación gráfica de los resultados



Peso retenido	Ret acum.	Pasa acum.	
R_1	$t_1 = 100 \cdot R_1 / M_1$	$r_1 = t_1$	$p_1 = 100 - r_1$
.....
R_i	$t_i = 100 \cdot R_i / M_1$	$r_i = t_1 + t_2 + \dots + t_i$	$p_i = 100 - r_i$
.....
R_n	$t_n = 100 \cdot R_n / M_1$	$r_n = \sum_{1}^n t_i$	$p_n = 100 - r_n$



8. RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN

□ (Áridos)

8.1. Método 1: COEFICIENTE DE LOS ÁNGELES (LA)

□ Equipo

➤ Máquina para el ensayo de los ángeles: • Cilindro de $L = 508$ y

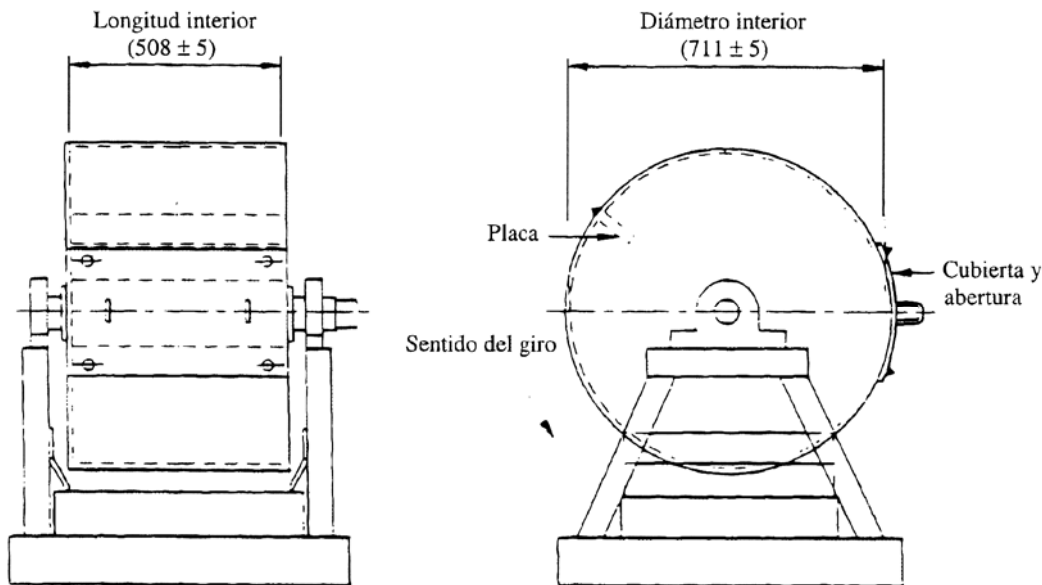
$\varnothing = 711$ mm

• Apertura de 150 mm y cierre hermético

• Placa de 90x508x25 mm

• Carga abrasiva: 11 bolas de acero esféricas de $\varnothing=45-49$ mm y masa entre 400 y 445 g

• Motor: 31-33 rpm



➤ Tamices de ensayo, balanza, estufa (110 °C)

8. RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN

8.1. Método 1: COEFICIENTE DE LOS ÁNGELES (LA)

□ Muestra

- Se envían 15 kg con granulometría entre 10 y 14 mm (selección del árido que pase por el tamiz de 14 y sea retenido por el de 10)
- Se tamiza la muestra con tamices de 10, 12.5 y 14 para obtener dos fracciones diferenciales
- Se lavan por separado, se secan a 110 °C hasta $P = \text{cte}$ y se dejan enfriar a T^a ambiente
- Se mezclan las dos fracciones para obtener la siguiente curva granulométrica: entre el 60 y 70 % debe pasar por el tamiz 12.5
- La muestra de ensayo será de 5 kg con las propiedades anteriores

8. RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN

8.1. Método 1: COEFICIENTE DE LOS ÁNGELES (LA)

□ Ensayo

- Se limpia el tambor y se colocan las bolas y la muestra
- Se dan 500 vueltas a una velocidad entre 31 y 33 rpm
- Se vierte el árido sobre un bandeja, limpiando bien los finos
- El árido se lava y tamiza con el 1.6 mm
- Se seca la masa retenida en el tamiz de 1.6 mm a 110 °C (P=cte)

□ Resultado:

$$LA = (5000-m)/50$$

donde m es la masa retenida por el tamiz de 1.6 mm

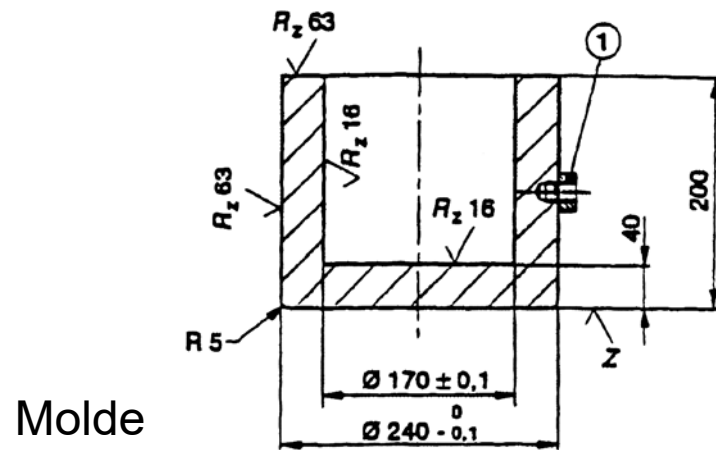
8. RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN

8.2. Método 2: ENSAYO DE IMPACTO

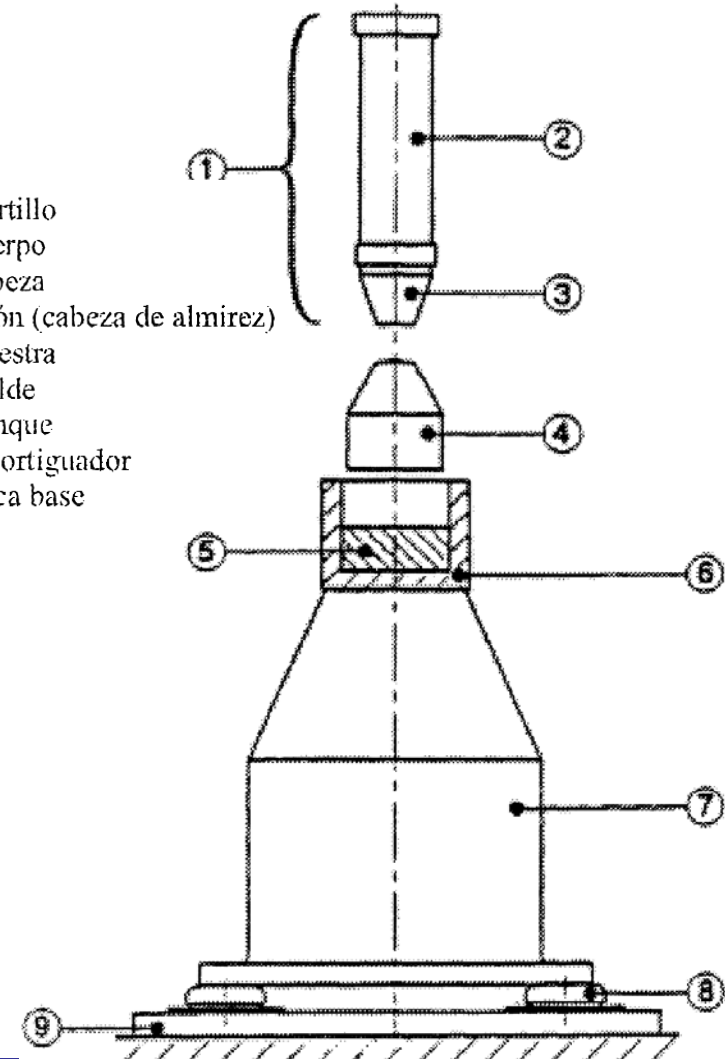
□ Equipo:

- Máquina de impacto
- Tamices, balanza y estufa
- Escobilla o cepillos

- 1 Martillo
- 2 Cuerpo
- 3 Cabeza
- 4 Pisón (cabeza de almirez)
- 5 Muestra
- 6 Molde
- 7 Yunque
- 8 Amortiguador
- 9 Placa base



Molde



8. RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN

8.2. Método 2: ENSAYO DE IMPACTO

☐ Muestra:

- La muestra de laboratorio debe contener al menos **5 kg** de la fracción granulométrica entre 8-10 y **2.5 kg** de las fracciones 10-11.2 y 11.2-12.5
- Se lavan y secan a 110 °C hasta P cte. Se enfrían a T^a ambiente
- Tres submuestras de composición
 - 50% de la fracción granulométrica 8-10 mm
 - 25 % de la fracción 10-11.2 mm
 - 25% de la fracción 11.2 -12.5 mm
- Se mezclan uniformemente las fracciones
- La masa de la submuestra en kg será $0.5 \cdot D_R$ [Mg/m³] del árido

8. RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN

8.2. Método 2: ENSAYO DE IMPACTO

□ Ensayo:

- Se coloca la muestra en el molde y se nivela la superficie
- Se apoya el pistón sobre la superficie
- Se levanta el martillo 370 mm y se golpea 10 veces desde esa h
- Se extrae el molde y se recogen todas las pequeñas partículas
- Se pesa
- Se tamiza empleando 5 tamices (0.2, 0.63, 2, 5 y 8 mm)
- Se pesa la parte retenida en cada uno de los 5 tamices

➤ Resultados:

$$\mathbf{SZ = M/5 [5\%]}$$

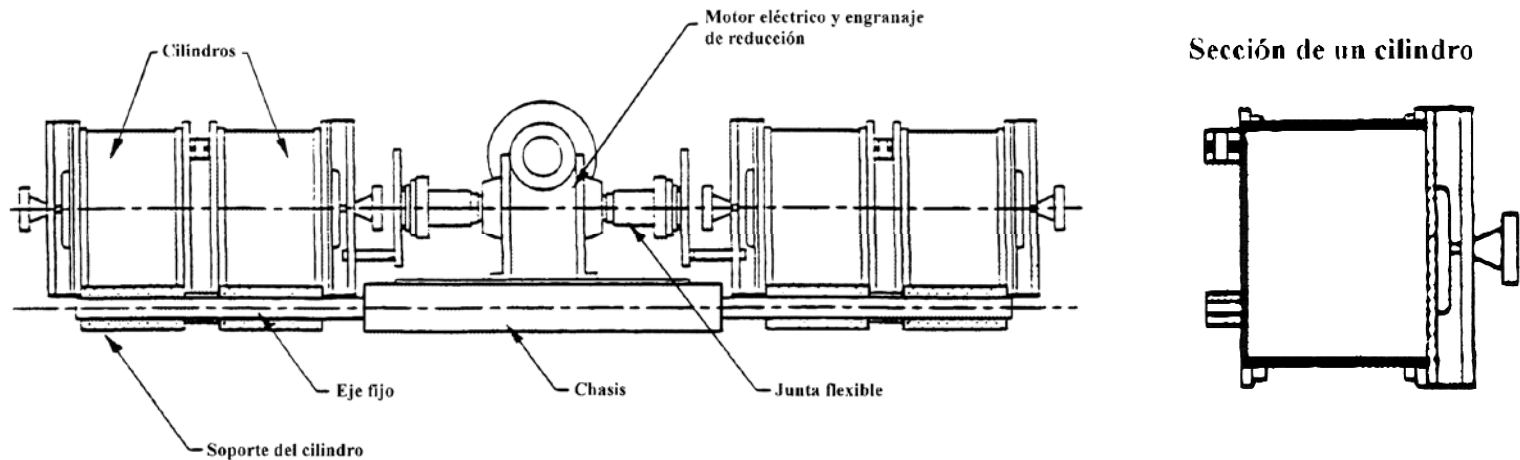
- Donde M es la suma de los porcentajes de la masa que hayan pasado a través de cada uno de los 5 tamices de ensayo

9. RESISTENCIA AL DESGASTE (MICRO-DEVAL)

- ❑ (Áridos)
- ❑ Fundamento: el ensayo determina el coeficiente Micro-Deval (% de la muestra original que se reduce a tamaños inferiores a 1.6 mm)
- ❑ Equipos
 - Aparato micro-Deval
 - Balanza
 - Serie de tamices: 1.6, 8, 10, 11.2 (ó 12.5) y 14 mm
 - Estufa ventilada (110 °C)
 - Probetas de vidrio graduada para la medida de 2.5 l de agua
 - Equipos para reducir muestras de laboratorio a muestras de ensayo
 - Medios para el lavado de la muestra tamizada

9. RESISTENCIA AL DESGASTE (MICRO-DEVAL)

□ Aparato Micro-Deval, propiedades:



- De 1 a 4 cilindros de eje horizontal cerrados por un extremo
- Acero inoxidable con $e > 3\text{ mm}$; Interior sin rugosidad
- $\varnothing = 200$ y $L = 154$ mm
- Tapa plana de $e = 8$ mm y junta que asegure estanqueidad
- Carga abrasiva: bolas esféricas de $\varnothing = 10$ mm (acero inoxidable)
- Velocidad de rotación: 100 rpm

9. RESISTENCIA AL DESGASTE (MICRO-DEVAL)

☐ Muestra

- La muestra de laboratorio > 2 kg para los áridos pertenecientes a la fracción granulométrica comprendida entre 10 y 14 mm
- El ensayo se realiza sobre árido de granulometría comprendida entre 10 y 14 mm y responderá a una de las exigencias siguientes:
 - Entre el 60 y 70 % de los áridos pasan a través del tamiz 12.5
 - Ó entre el 30 y 40 % pasa a través del de 11.2 mm
- Se tamiza con 10, 11.2 (12.5) y 14 para obtener dos fracciones
- Se lavan las fracciones por separado y se secan a 110 °C
- Se enfrían a T^a ambiente y se mezclan para obtener la granulometría adecuada
- La muestra de ensayo debe consistir en dos fracciones de masa de 500 g cada una

9. RESISTENCIA AL DESGASTE (MICRO-DEVAL)

□ Ensayo

- Se introduce cada fracción en un cilindro
- Se añaden las bolas necesarias hasta obtener una carga de 5 kg
- Se añaden 2.5 l de agua por cilindro
- Se dan 12000 vueltas a 100 rpm (2 horas)
- Se recoge y lava el árido y las bolas, recuperando el agua de lavado
- Se vierte el material + el agua de lavado sobre el tamiz de 1.6 mm, protegido por el de 8 mm
- Se lava el material bajo chorro de agua limpia
- Se separan las bolas con imanes
- Secar lo retenido por los tamices a 110 °C y se pesa (**m**)

□ Resultado

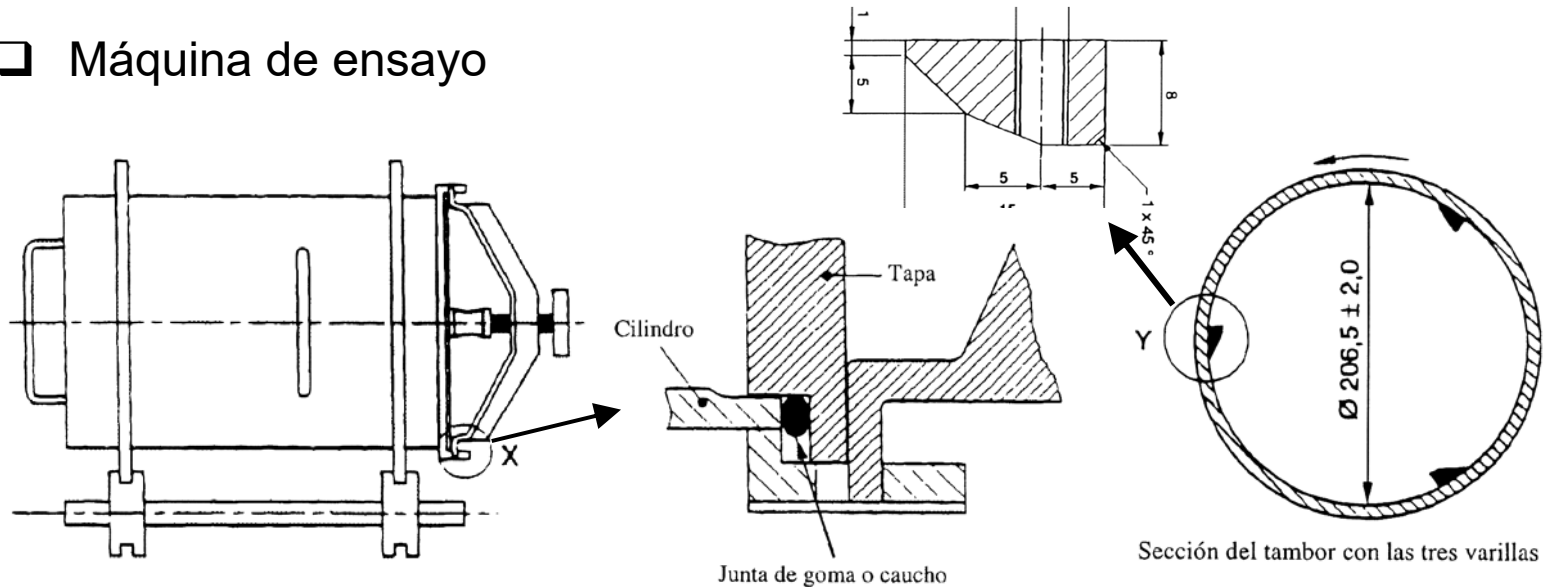
- Coeficiente : $M_{DE} = (500-m)/5$ (media de las 2 fracciones)
- M_{DE} en presencia de agua y M_{DS} sin adicción de agua

10. RESISTENCIA AL DESGASTE (Abrasión por neumático claveteado)

- ❑ ENSAYO NÓRDICO (Áridos)
- ❑ Simulación de la acción de los neumáticos claveteados sobre áridos gruesos empleados en una capa de rodadura.
- ❑ Aplicación a áridos triturados con granulometrías entre 11.2 y 16 mm
- ❑ Equipos
 - Máquina de ensayo (pg siguiente)
 - Balanza
 - Conjunto de tamices: (2 – 8 - 11.2 - 14 - 16 mm)
 - Estufa ventilada (110 °C)
 - Medios para el lavado de la muestra tamizada
 - Equipos para la reducción de muestras de laboratorio
 - Probeta graduada para la medida de 2 l de agua

10. RESISTENCIA AL DESGASTE (Abrasión por neumático claveteado)

❑ Máquina de ensayo



- Tambor estanco de $\text{Ø} = 206.5$ y $L = 335$ mm y espesor > 6 mm
- Tapa plana de espesor mínimo de 8 mm provista de juntas
- Tres varillas de $L = 333$ mm separadas a intervalos iguales
- Carga abrasiva: rodamientos de bolas de 15 mm de Ø

10. RESISTENCIA AL DESGASTE (Abrasión por neumático claveteado)

☐ Muestra

- La muestra enviada será suficiente para preparar **4 submuestras**
- Granulometría: 65 % pase por tamiz de 14, es decir que el 35 % estará formado por partículas entre 14 y 16 mm
- Tamizar con 11.2, 14 y 16 para obtener fracciones 11.2-14 y 14-16
- Lavar por separado y secar a 110 °C hasta P cte.
- Enfriar a T^a ambiente y mezclar para obtener una muestra modificada entre 11.2 y 16 mm cuyo 65 % pase por el tamiz 14
- La masa de la submuestra: $m_i = (1000 \cdot \rho_s) / 2.66$ [g];

Donde ρ_s es la densidad de las partículas [Mg/m³]

10. RESISTENCIA AL DESGASTE (Abrasión por neumático claveteado)

□ Ensayo

- Se coloca la muestra en el tambor y se añaden bolas hasta que la carga sea de **7000 g**
- Se añaden **2 litros** de agua y se cierra el tambor
- Dar 5400 revoluciones a 90 rpm (1 hora)
- Lavar producto y tambor
- Verter todo el material y producto del lavado sobre tamiz de 14 encajado sobre el de **2 mm** y protegido por el de 8
- Retirar la bolas retenidas por el tamiz (imán)
- Colocar las partículas retenidas por los 3 tamices en bandejas y secar a 110 °C
- Determinar la masa retenida por cada tamiz. **m₂: suma de todas**

□ Resultado

- Coeficiente Nórdico de abrasión: **$A_N = 100 \cdot (m_i - m_2) / m_i$**

donde m_i es la masa inicial en seco

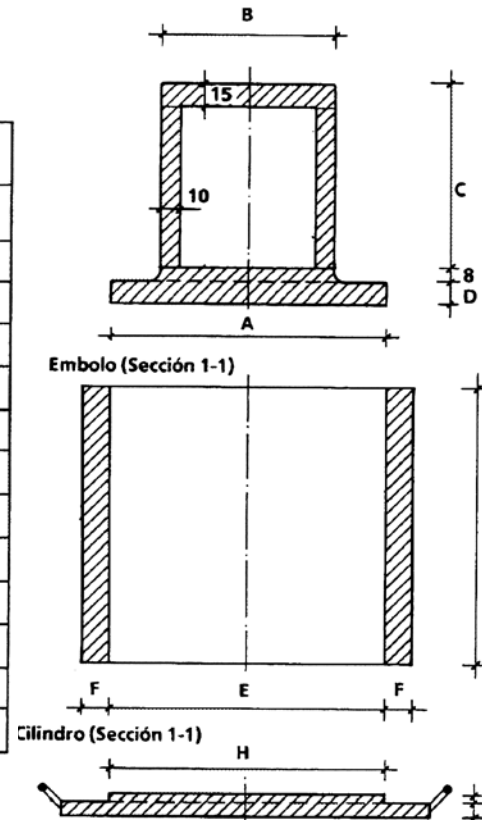
11. INDICE DE MACHACABILIDAD

- (áridos para hormigón)
- Valor indicativo de la resistencia del árido a la compresión
- Equipos

Pieza	Dimensión	Medidas	
		Pequeño	Grande
		mm	mm
Émbolo	A	(E)-2	(E)-2
	B	45 ± 5	95 ± 5
	C	50	100
	D	20	25
Cilindro	E	75 ± 3	150 ± 10
	F	10	15
	G	1)	2)
Base	H	(E)-1	(E)-1
	I	100	200
Barra	J	300	600
	∅	8	16

1) Tal que el volumen del cilindro = 375 cm³

2) Tal que el volumen del cilindro = 2 642 cm³



- Prensa hidráulica (100- 400 kN)
- 2 moldes cilíndricos (grande y pequeño)
- 2 émbolos de acero
- 2 varillas para compactar
- Estufa (110 °C)
- Balanza
- Conjunto de tamices

11. INDICE DE MACHACABILIDAD

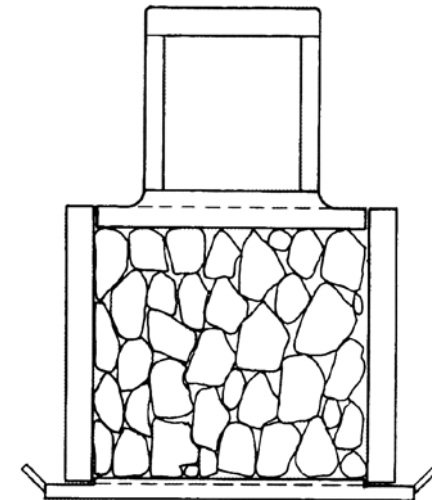
❑ Muestra:

(a) Fracción del árido	(b) Cantidad mínima de muestra de envío a laboratorio	(c) Tamices UNE 7-050 empleados para obtener la muestra de ensayo		(d) Cantidad mínima de muestra de ensayo para una determinación	(e) Cilindro empleado en el ensayo	(f) Velocidad de carga en el ensayo	(g) Carga tope de ensayo	(h) Tamiz UNE 7-050 para separar finos después del machaqueo
		d/D	g			Superior	Inferior	
14/20	64 000	20	14	4 000	Grande	40	400	3,55
10/14 ¹⁾	64 000	14	10	4 000	Grande	40	400	2,50
6,3/10	12 000	10	6,3	750	Pequeño	10	100	1,80
5/6,3	12 000	6,3	5	750	Pequeño	10	100	1,25

❑ Ensayo:

- Se seca la submuestra a 110° C hasta P cte
- Llenar el molde y compactar hasta enrase
- Se aplica la carga tope a la v establecida
- Se pasa por el tamiz para separar finos
- La masa retenida: m_f ; la masa inicial: m_i

❑ Resultado:
$$M_{\%} (d/D) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100$$



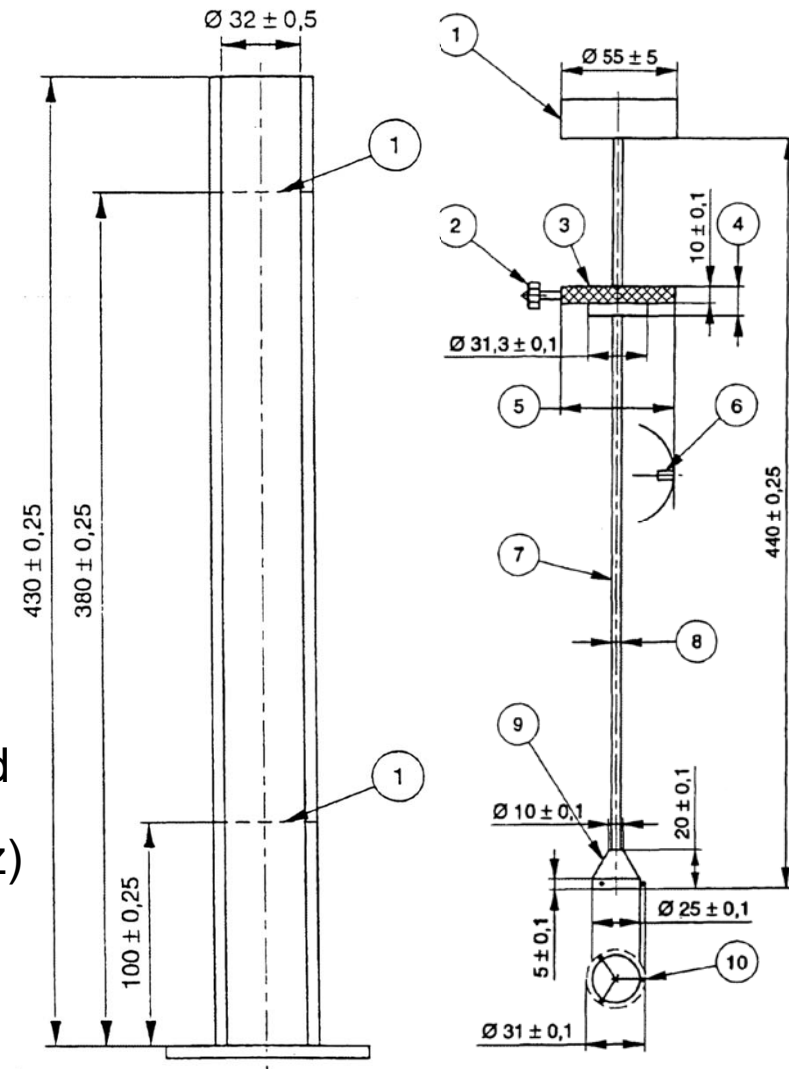
Disposición del conjunto antes
de comenzar a aplicar la carga

12. EVALUACIÓN DE LOS FINOS (EQUIVALENTE DE ARENA)

- (áridos)
- Fino: fracción granulométrica de un árido que pasa por tamiz de 63 μm
- Aplicación : fracción granulométrica 0/2 mm. Aridos naturales
- Principio: se disuelve la muestra en una solución floculante con objeto de liberar los recubrimientos de arcilla de las partículas de la muestra.
- Reactivos:
 - Solución concentrada: volumen total 1 litro
 - Cloruro de calcio (cristalino ó anhidro): 219 g ó 111 g
 - Glicerina, 99 % de glicerol: 480 g
 - Solución de formaldehido, 40 % en volumen: 12.5 g
 - Agua destilada o desmineralizada
 - Disolución lavadora
 - Disolución de **125 ml** de solución concentrada en agua destilada o desmineralizada hasta obtener **5 litros**

12. EVALUACI3N DE LOS FINOS (EQUIVALENTE DE ARENA)

- ❑ Equipos:
 - Probeta cilíndrica graduada
($\varnothing = 32$, $h = 430$ mm)
marcas a 100 y 380 mm
 - Pist3n tarado (1 kg parte movil)
 - Tubo lavador ($L = 500$ mm,
 $\varnothing_i = 4$ y $\varnothing_e = 6$ mm)
 - Embudo
 - Máq. agitaci3n horizontal (amplitud
del movimiento 200 mm y $f = 3$ Hz)
 - Cron3metro, regla, tamiz de 2 mm
 - Term3metro, balanza, escobilla



12. EVALUACIÓN DE LOS FINOS (EQUIVALENTE DE ARENA)

❑ Muestra:

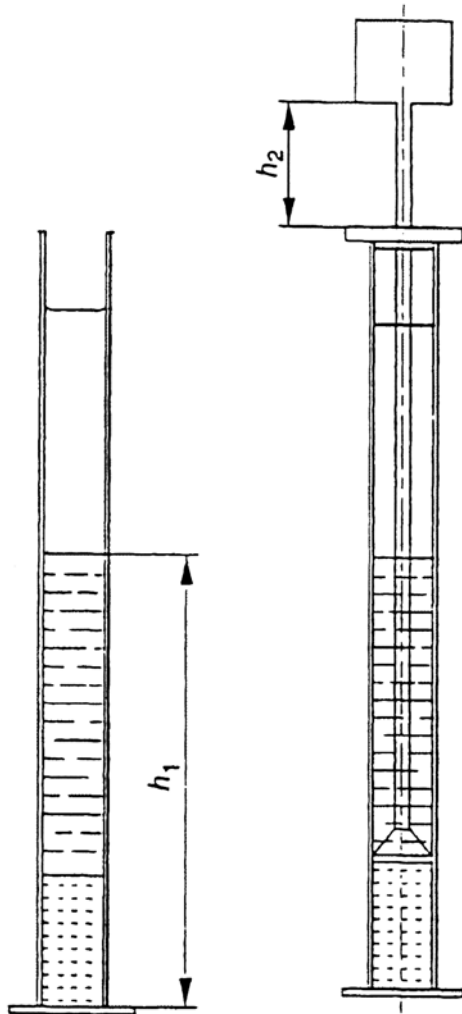
- Fracción granulométrica 0/2 con contenido de humedad < 2%
- La muestra no se seca en estufa
- La masa de cada submuestra: $m = \frac{12Q(100 + w)}{100}$; w: humedad

❑ Ensayo:

- Se sifona la solución lavadora hasta la marca inferior (100 mm)
- Se vierte la submuestra con embudo, golpeando para eliminar burbujas, se reposa 10 min
- Se tapa y se somete a la máq. de agitación durante 30 s (90 ciclos)
- Lavado: Se retira a la vertical y se procede al lavado de la muestra
 - Con el tubo se enjuagan las paredes y se empuja hasta el fondo
 - Se aplica un movimiento lento de rotación y hacia arriba
 - Se rellena hasta la marca superior (380 mm)
 - Se reposa 20 minutos

12. EVALUACIÓN DE LOS FINOS (EQUIVALENTE DE ARENA)

Medidas:



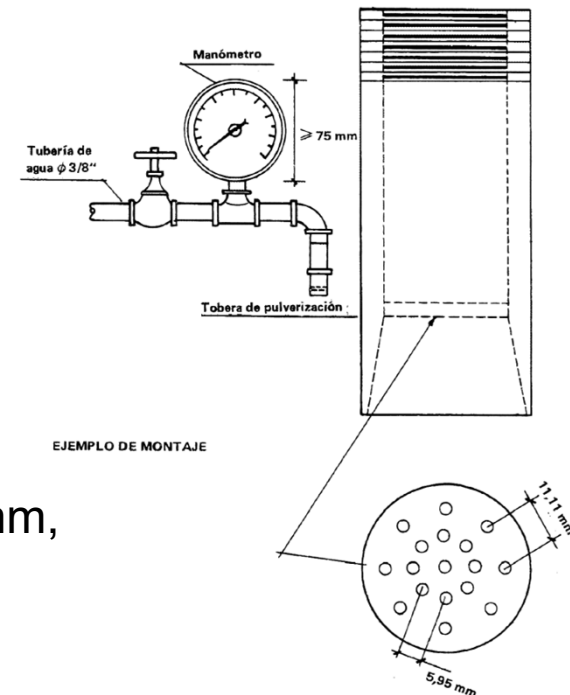
- Se mide inicialmente la altura h_1 del nivel superior del floculado con relación a la base
- Se baja suavemente el pistón hasta que repose sobre el sedimento
- Se mide la altura del sedimento h_2
- Se calcula SE por la expresión:

$$SE = \frac{h_2}{h_1} \cdot 100$$

- Se calcula SE como la media de los valores obtenidos para dos submuestras
- Si ambos valores difieren más de 4 se debe repetir el ensayo

13. FINURA DE MOLIDO POR TAMIZADO HÚMEDO

- ❑ (cementos)
- ❑ Empleo del tamiz de 45 μm y corriente de agua
- ❑ Fundamento: una masa seca de cemento se coloca sobre el tamiz y se le somete a una corriente de agua. La fracción con partículas de menor tamaño atraviesa la malla. Se seca y se pesa la fracción retenida
- ❑ Equipos:
 - Balanza
 - Estufa
 - Cápsulas (porcelana)
 - Tamiz de 45 μm
 - Manómetro (207 kPa)
 - Tobera de pulverización ($\text{Ø}_i = 17.46 \text{ mm}$, 17 agujeros de 0.51 mm de Ø)



13. FINURA DE MOLIDO POR TAMIZADO HÚMEDO

□ Ensayo:

- Se coloca 1 g de cemento seco y se moja con corriente suave
- Se separa el tamiz y se ajusta la presión a 69 kPa
- Se coloca bajo el chorro y se lava 1 minuto moviendo el tamiz con movimientos circulares a razón de un movimiento por segundo
- Situar la tobera a 12.5 mm por encima del bastidor del tamiz
- Se lava con 50 cm³ de agua destilada
- Se seca el tamiz, primero con papel por debajo y luego en estufa
- Se separa el residuo con un cepillo y se pesa

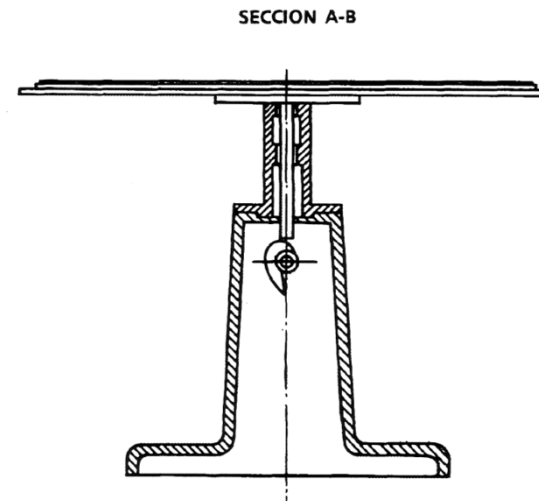
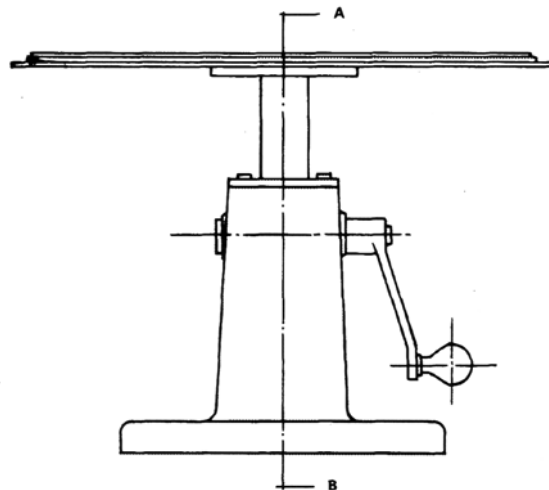
□ Resultado: $R_c = R_a \cdot (100 + C)$ $\left\{ \begin{array}{l} R_c: \text{residuo corregido (C: corrección)} \\ R_a: \text{residuo de la muestra retenido} \end{array} \right.$

Finura (F) : 100 - R_c

- Calibración del tamiz: Se coloca 1 g (patrón) en el tamiz limpio y seco
- El factor de corrección es la diferencia entre el residuo obtenido sobre el tamiz que se calibra y el indicado en el patrón

14. CONSISTENCIA POR MESA DE SACUDIDAS

- ❑ Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Morteros: determinación de la consistencia por medio de la mesa de sacudidas
- ❑ Equipos:
 - Amasadora
 - Molde: tronco-cónico de material no atacable por el mortero con $h=60$ mm; $\varnothing_{\text{sup}} = 70$ mm y $\varnothing_{\text{inf}} = 100$ mm (aconsejable asas y tolva)
 - Pisón: taco cilíndrico de madera de 40 mm de \varnothing y 250 g
 - Mesa de sacudidas: parte móvil de 3.3 kg y altura de caída 10 mm

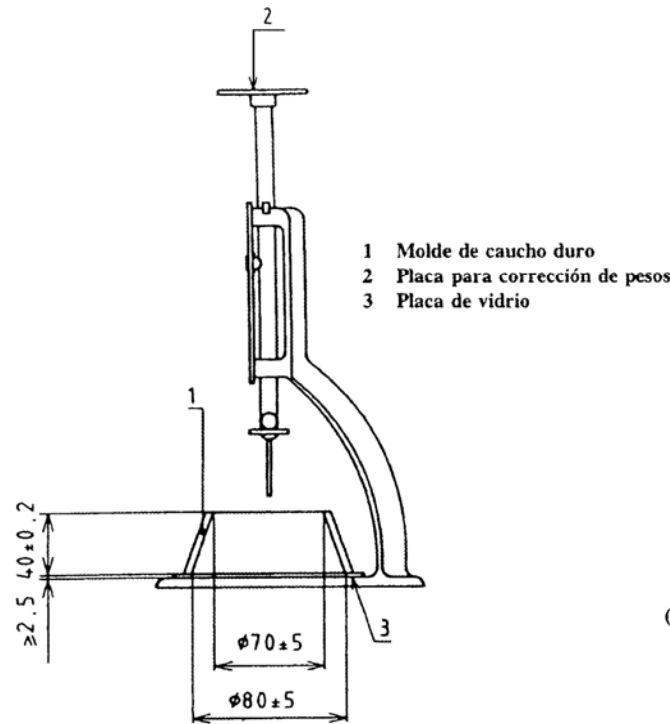


14. CONSISTENCIA POR MESA DE SACUDIDAS

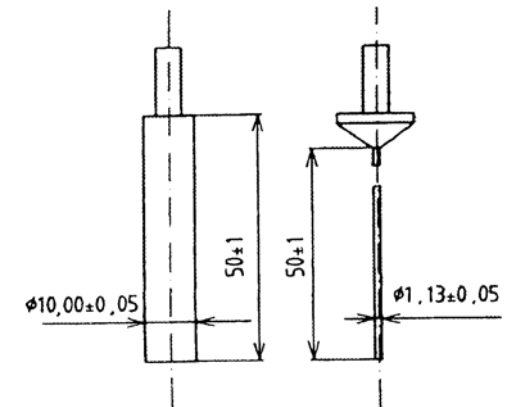
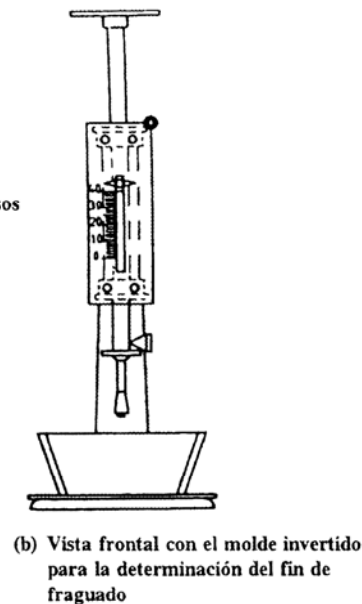
- ❑ Preparación de los morteros testigo y de referencia
- ❑ ENSAYO DE ESCURRIMIENTO
 - Se coloca el molde con su tolva en el centro de la mesa apoyado en su base mayor
 - Se llena en dos capas, cada una se apisona con 10 golpes de pistón
 - Se retira la tolva y se enrasa
 - Se separa el molde verticalmente
 - Se deja caer el tablero de la mesa 15 veces, durante 15 s
 - Se miden 2 diámetros perpendiculares de la masa extendida, se calcula la media (**M**)
- ❑ Resultados:
 - Consistencia de los morteros: $C(\%) = M - 100$
 - Aumento de la consistencia: $AC(\%) = (C_R - C_T)/C_T$ (ref./testigo)
 - Reducción de agua de amasado: $RAA(\%) = (A_T - A_R)/A_T$

15. TIEMPO DE FRAGUADO

- ❑ (cementos)
- ❑ El tiempo de fraguado se determina observando la penetración de una aguja en una pasta de cemento hasta que alcance un valor especial
- ❑ Equipos: Balanza, bureta, amasadora y **aparato de Vicat**



(a) Vista lateral con el molde en posición normal para la determinación del tiempo de principio de fraguado.



(c) Sonda para determinar la consistencia normal

(d) Aguja para determinar el tiempo principio de fraguado

15. TIEMPO DE FRAGUADO

15.1 Ensayo de consistencia normal

- ❑ Será la pasta sobre la que se realice el ensayo de fraguado
- ❑ Aparato de Vicat
 - Se coloca la sonda (cilindro de $\varnothing = 10$ mm y $h = 50$ mm)
 - La masa total de las partes móviles: 300 g
 - Movimiento vertical sin rozamiento y mismo eje que la sonda
 - Molde troncocónico con $h = 40$ mm y \varnothing sup e inf de 70 y 80 mm
 - Base plana y mayor que el molde
- ❑ Amasado
 - Se pesan 500 g de cemento y una cantidad de agua (p.e.: 125 g)
 - Se introduce el agua en la amasadora
 - Entre 5 y 10 s se añade el cemento al agua (sin pérdidas)
 - Se anota el instante final de la adición cono **TIEMPO CERO (t_0)**
 - Se pone en marcha la amasadora 90 s a velocidad lenta
 - Se detiene la máquina 15 s para rascar los bordes
 - Se pone en marcha la amasadora 90 s a velocidad lenta

15. TIEMPO DE FRAGUADO

- ❑ Llenado del molde
 - Se transfiere inmediatamente la pasta al molde (+placa plana)
 - Se llena sin compactación ni vibración excesiva
 - Se retira el exceso de pasta con un movimiento de serrado

- ❑ Ensayo de penetración
 - Se calibra el aparato de Vicat bajando la sonda hasta la placa y poniendo en esa situación el cero de la escala de penetración
 - Se levanta la sonda y se coloca debajo el molde con la pasta
 - Se baja el molde suave hasta enrasar con la superficie de pasta
 - Se fija y se espera entre 1 y 2 s en esa situación (evitar vel. inicial)
 - Se libera la parte móvil y la sonda penetra verticalmente en la pasta
 - Esta operación se realizará 4 minutos después del t_0
 - Cuando se detenga o transcurridos 30 s se mide la distancia entre la sonda y la placa base
 - Si la distancia es de 6 ± 1 → **pasta de consistencia normal**
 - Si no es la distancia se repite con pastas con diferentes contenidos de agua

15. TIEMPO DE FRAGUADO

15.2 Ensayo de Tiempo de Fraguado

❑ Equipos: (Vicat)

- Se retira la sonda y se coloca la aguja ($\varnothing = 1.13 \text{ mm}$ y $h = 50 \text{ mm}$)
- La masa total de las partes móviles: 300 g
- Cámara: $T^a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ y $\text{HR} > 90 \%$

15.2.1. Determinación del tiempo principio de Fraguado

- Se calibra el aparato: aguja sobre la placa → distancia cero
- Se llena el molde tal como se indico anteriormente
- Se introduce el molde lleno en la cámara y transcurrido un tiempo adecuado se coloca el molde lleno bajo el aparato
- Se coloca la aguja sobre la pasta y se libera
- Se mide la distancia entre aguja y placa base cuando termine la penetración o 30 s después de liberar la aguja
- Se anota la distancia junto con el tiempo desde t_0
- Se repite el ensayo de penetración sobre la misma probeta en posiciones separadas más de 10 mm del borde y entre ellas
- ~~Entre los sucesivos ensayos la probeta se guarda en la cámara~~

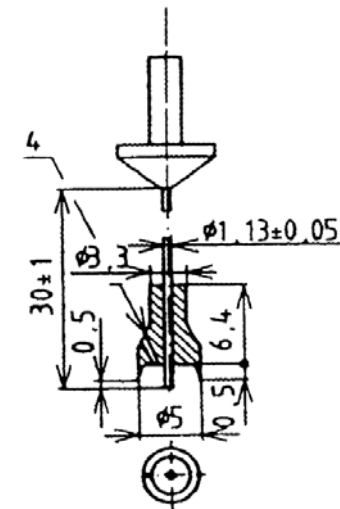
15. TIEMPO DE FRAGUADO

15.2.1. Determinación del tiempo principio de Fraguado (II)

- El intervalo entre ensayos se espaciará 10 minutos (p.e.)
- Tiempo de principio de fraguado se considera cuando la distancia entre la aguja y la placa base sea de 4 ± 1 mm
- La precisión del método será de 5min. Si se quiere incrementar la precisión habrá que reducir los tiempos entre medidas

15.2.2. Determinación del tiempo final de Fraguado

- Se adapta la aguja con un accesorio anular
- Se invierte el mismo molde
- Se aumentan los intervalos de tiempo (30 min)
- Entre ensayos se mantiene en cámara
- Se calibra respecto a la sup. de la pasta
- Tiempo de final de fraguado: cuando la aguja penetra, por primera vez, sólo 0.5 mm
- Corresponde al tiempo en el que el molde anular no deja muestra sobre la pasta por 1ª vez
- La precisión del método: 15 min

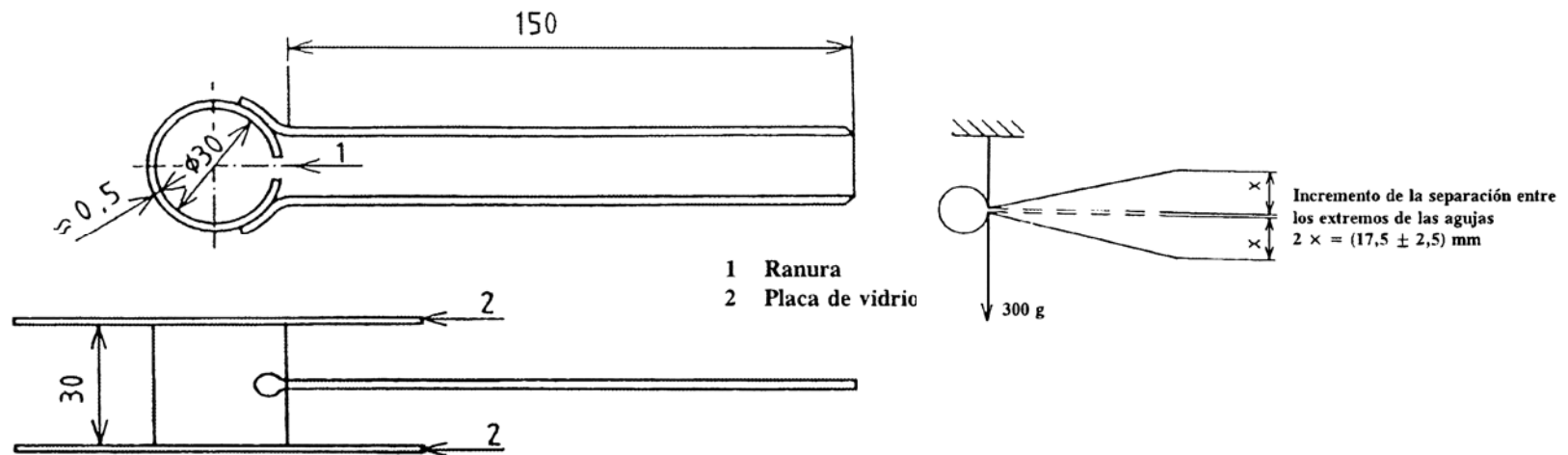


(e) Aguja y accesorio para determinar el tiempo final de fraguado

16. ESTABILIDAD DE VOLUMEN

- (cementos)
- Equipos

- Aparato de Le Chatelier: será de lat3n elástico. Su elasticidad será tal que la acci3n de una masa de 300 g aplicada como se muestra en la figura incrementa la distancia entre extremos en 17.5 mm



- Baño de agua: capaz de contener sumergidas las probetas de Le Chatelier y elevar la Tª de 20 °C hasta ebullici3n
- Armario húmedo: 20 °C y HR > 98 %

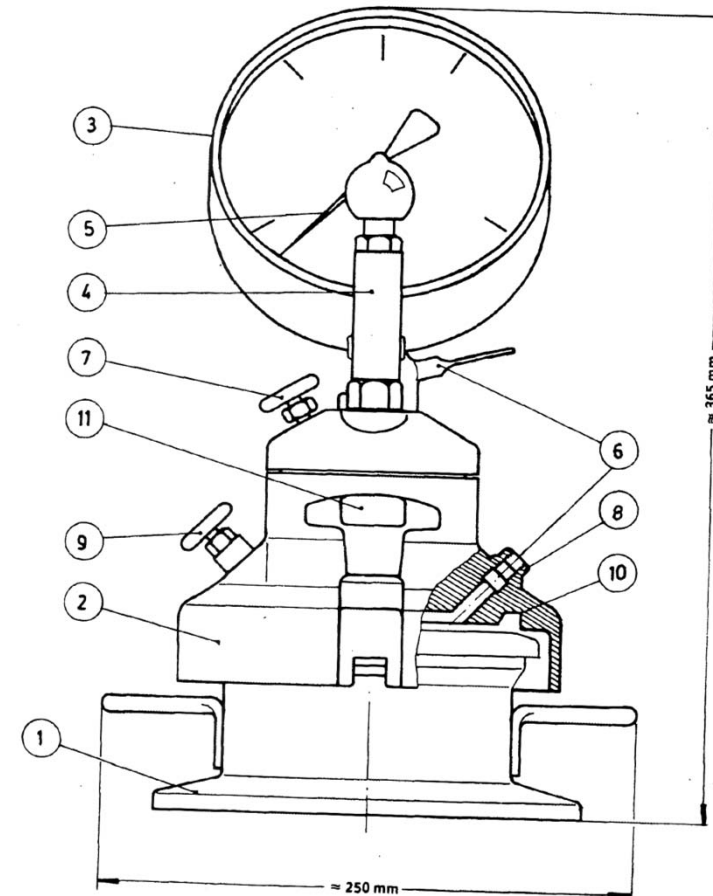
16. ESTABILIDAD DE VOLUMEN

□ Procedimiento

- Se realiza el ensayo simultáneamente en 2 probetas
- Se prepara una pasta de consistencia normal
- Se coloca el molde Le Chatelier sobre placa ligeramente aceitados
- Se llena sin compactación o vibración y se enrasa la superficie
- Durante el relleno evitar que la ranura del molde se abra
- Se cubre el molde con placa aceitada (peso adicional hasta 75 g)
- Se introduce en el armario y se mantiene 24 horas a 20 °C y 98 %
- Se mide la distancia entre puntas (**A**)
- Se calienta el molde hasta ebullición 30 min y se mantiene 3 horas
- Se mide la distancia ente puntas (**B**)
- Se deja enfriar el molde a 20 °C y se mide las distancia (**C**)
- Se calcula la media de los dos valores de **C-A**
- **Finalidad:** se estima el posible riesgo de expansión tardía debido a la hidratación del óxido de calcio y óxido de magnesio libre

17. CONTENIDO DE AIRE OCLUIDO

- ❑ (Aditivos para hormigones, morteros y pastas)
- ❑ Equipos: Picnómetro de aire, dos partes principales
 - El calderín (1) de 1l de vol.
 - La tapa (2): cámara de aire de 200 ml
 - La cámara puede variar la presión con una bomba (4)
 - La presión de aire viene dada por un manómetro (3)
 - Una válvula permite efectuar la descompresión de la cámara (7)
 - Entre cámara y calderín hay una válvula que iguala las presiones (6)
 - 2 canalillos (8) que comunican el calderín con exterior cerrados por una válvula (9)
 - Junta de goma para cierre hermético (10)



17. CONTENIDO DE AIRE OCLUIDO

- ❑ Materiales: Arena natural normal, agua, cemento y aditivo
- ❑ Muestras: tres por ensayo
- ❑ Procedimiento:
 - Preparación de los morteros testigo y de referencia: UNE-EN 480-1
 - La muestra de mortero se introduce en el calderín en dos capas
 - Cuanto más lleno esté el calderín, menor es el volumen del aire restante y mayor la precisión del ensayo
 - Se cierra la tapa con la válvula (9) abierta
 - Se pone la cámara de la tapa a $P = 23.5 \text{ mm H}_2\text{O}$ con la bomba
 - Abriendo cuidadosamente la válvula (7) se ajusta la P exacta
 - Para realizar la medida se cierra la válvula (9) y se abre la válvula de igualar la presión (6). La P se iguala en unos 5 s
 - Si la presión descende será debido a un cierre defectuoso (limpiar)
- ❑ Resultados
 - Las lecturas obtenidas en el manómetro se llevan a una tabla confeccionada al efectuar el calibrado del aparato y por diferencia a 100 se obtiene el tanto por ciento del aire ocluido

18. CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN FRESCO (CONO DE ABRAMS)

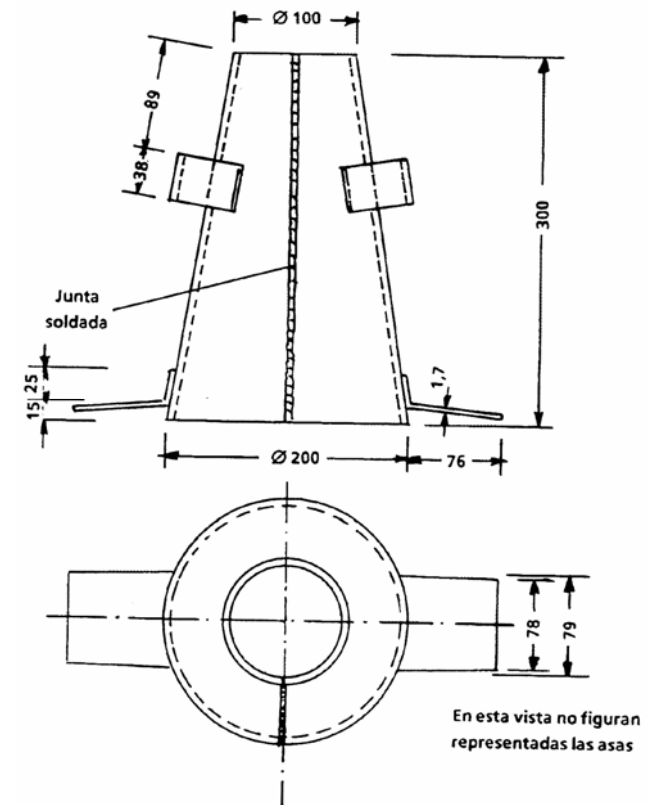
- ❑ (Hormigón)
- ❑ Fundamento: disminución de altura que experimenta un tronco de cono de hormigón fresco cuando se deja la masa libre

❑ Equipos:

- Molde: de chapa de hierro galvanizada de espesor $>$ de 1.5 mm

Forma de tronco de cono:
h = 300 mm y diámetros de 100 y 200 mm

- Barra compactadora
- Material auxiliar



18. CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN FRESCO (CONO DE ABRAMS)

❑ Procedimiento:

- Se humedece el molde y se coloca sobre la bandeja sujetándola
- Se rellena el molde en tres capas (cada una ocupando $1/3$ del V_{cono})
- Cada capa se compacta mediante 25 golpes distribuidos uniformemente penetrando hasta la capa inferior
- Se retira el hormigón sobrante y se alisa la superficie con espátula
- Se saca el molde levantándolo en la dirección vertical

❑ Resultado

- Índice de consistencia: midiendo la diferencia entre la altura del molde y la del punto más alto de la muestra tras el ensayo
- El resultado se expresa en cm, redondeando a 0.5 cm
- Si se produce una caída o desprendimiento lateral se repite
- Si se produce dos veces seguidas se considera que el hormigón carece de la plasticidad y cohesión necesarias
- Interpretación: 2-0 (seca); 3-5 (plástica); 6-9 (blanda); 10-15 (fluida)
> 15 (líquida)

19. EXUDACIÓN DEL HORMIGÓN

- ❑ (Aditivos para hormigones, morteros y pastas)
- ❑ Objeto: Determinar la cantidad de relativa de agua de amasado susceptible de exudar una muestra de hormigón fresco.
- ❑ Equipos:
 - Recipiente cilíndrico, material no absorbente ($\varnothing = 250$ y $h = 280$ mm)
 - Balanza
 - Pipeta u otro aparato que permita extraer el agua que ha exudado
 - Probeta de vidrio graduada para recoger y medir el agua
 - Varilla de compactación de $\varnothing = 16$ mm con terminación semiesférica
 - Paleta y crono
- ❑ Procedimiento:
 - Llenar el recipiente con una muestra representativa del hormigón objeto de ensayo hasta una altura de 250 mm:
 - Llenar el recipiente en 3 capas, cada capa corresponde a 1/3 del volumen total. Compactando con 25 golpes de la varilla

19. EXUDACIÓN DEL HORMIGÓN

- Distribuir los golpes uniformemente y compactar las capas de tal modo que la varilla penetre hasta la superficie de la capa subyacente y no más
 - La compactación del hormigón se puede completar por vibrado
 - Nivelar y alisar la superficie
 - Pesar la muestra
- Se tapa y se mantiene a 20 °C y HR > 65 %
 - Se extrae el agua acumulada en la superficie del hormigón por medio de una pipeta a intervalos de 10 min durante los primeros 40 y posteriormente cada 30 min hasta que cese la exudación
 - Para facilitar la operación se puede inclinar el recipiente (cuña 50 mm)
- Resultado: $B = 100 \cdot m_w / (w + m_s)$
- m_w : masa del agua de exudación (g), m_s : masa de la muestra (g) y w es la proporción del agua del hormigón fresco en % de la masa