

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Tecnología de los Materiales de Construcción

ACTIVIDADES DE LABORATORIO

TRABAJO PRÁCTICO Nº 4

CEMENTOS

Ing. Raúl A. López

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CEMENTOS

OBJETIVOS

Conocer las propiedades físicas y mecánicas fundamentales de los cementos, las formas de determinarlas, sus valores característicos y su utilidad práctica.

Nota: Las metodologías de ensayo descriptas son versiones simplificadas de las correspondientes normas IRAM, elaboradas con fines didácticos. Si se desea realizar el ensayo con fines profesionales o de investigación se recomienda consultar las normas IRAM citadas.

DESARROLLO

El trabajo será desarrollado en el aula, donde se darán los conceptos teóricos del tema y será complementado con presentaciones y videos ilustrativos de los diferentes ensayos. Se completará con la visita al laboratorio de una planta de cemento.

NORMAS DE REFERENCIA

IRAM 50000 – Cemento para uso general – Composición, características, evaluación de la conformidad y condiciones de recepción.

Norma IRAM 1633 – Arena normalizada

Norma IRAM 21322 – Agua para análisis – Requisitos y métodos de ensayo

CEMENTO. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD (IRAM 1624)

Objetivo

La densidad de los cemento se determina principalmente porque es un dato necesario para calcular el volumen absoluto que ocupa una determinada masa de cemento en un mortero u hormigón.

Los valores típicos de este parámetro varían entre 2,98 y 3,15 kg/dm³

1. Reactivos y Materiales:

Querosene

2. Acondicionamiento del laboratorio:

Temperatura: 20 +- 2 °C

Humedad relativa: mayor al 50%

3. Equipamiento:

Frasco de Le Chatelier (ver figura 1)

Balanza analítica

4. Procedimiento:

- 4.1. Verificar que el frasco de Le Chatelier esté limpio y seco. La muestra de cemento y el querosene deben estar a la misma temperatura que la del laboratorio.
- 4.2. Con la ayuda de un embudo se llena el frasco Le Chatelier con querosene hasta un nivel comprendido entre las marcas de 0 y 1 cm³ y se seca el interior del frasco hasta el nivel del líquido

- 4.3. Se coloca el frasco en un ambiente a temperatura constante, que garantice una variación de ésta no mayor a 0,2 °C entre la lectura inicial y final.
- 4.4. Se registra la lectura inicial (V_1), medida en la base del menisco del querosene, aproximando a la marca más cercana.
- 4.5. Se pesan al 0,01 g aproximadamente 64 g del cemento a ensayar y se introducen en el frasco. Ésta es la masa (m)
- 4.6. Se tapa el frasco y se lo hace girar en posición inclinada hasta que no suban burbujas de aire en la superficie del líquido.
- 4.7. Luego de 150 min \pm 30 min se toma la lectura final (V_2), en la base del menisco, aproximando a la marca más cercana.

5. Cálculo:

$$\delta = \frac{m}{(V_2 - V_1)}$$

6. Precisión:

- 6.1. Repetibilidad o diferencia entre diferentes determinaciones hechas por un mismo operador: máximo 0,03
- 6.2. Reproducibilidad o diferencia entre diferentes determinaciones hechas por diferentes laboratorios: máximo 0,10

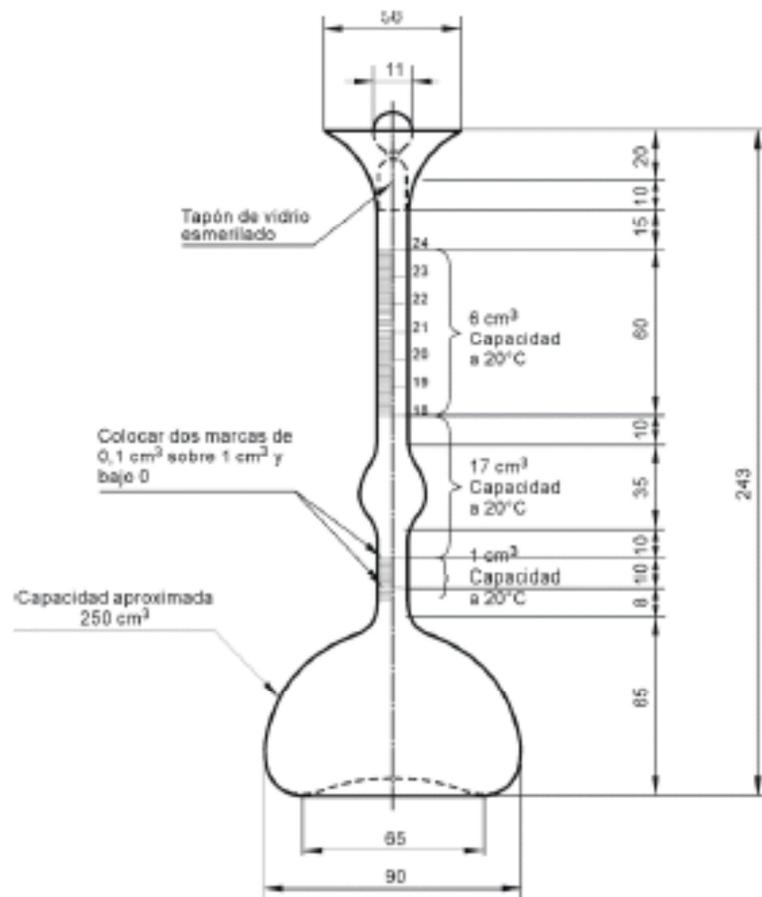


Figura 1 – Frasco de Le Chatelier
Todas las medidas en milímetros

CEMENTO. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO SUELTO Y COMPACTADO (ENSAYO NO NORMALIZADO)

Objetivo

El peso suelto o compactado es el peso que tiene un volumen unitario de cemento en las respectivas condiciones de compactación. En este volumen están incluidos los vacíos que dejan las partículas de cemento entre sí.

Este dato es de utilidad cuando se necesita saber qué masa de cemento puede ser contenida en determinado reservorio (p.e. un silo) o a la inversa para estimar cuánto cemento hay en un volumen conocido. También es de utilidad para calcular el coeficiente de aporte del cemento en cuestión, que es una medida del volumen absoluto que ocupa en un mortero u hormigón, un determinado volumen aparente del mismo.

Los valores típicos del peso suelto varían entre 1,0 y 1,3 kg/dm³ o t/m³

1. Reactivos y Materiales:

No necesarios

2. Acondicionamiento del laboratorio:

Temperatura: (20 ± 2) °C

Humedad relativa: mayor al 50%

3. Equipamiento:

Embudo

Recipiente cilíndrico

Balanza con precisión de 1g

4. Procedimiento:

- 4.1. Cubicar y tarar un recipiente cilíndrico, registrando V y Pv
- 4.2. Colocar el recipiente debajo del embudo, de manera que el gollete se ubique en el centro del recipiente
- 4.3. Verificar si el cemento contiene grumos. En tal caso, tamizarlo por tamiz de malla #16 (1,19 mm) antes del ensayo.
- 4.4. Verter el cemento en el embudo (300 a 400 g por vez), hasta llenar el recipiente cilíndrico inferior.
- 4.5. Retirar el recipiente cilíndrico, previo enrasado suave con una regla
- 4.6. Pesar el recipiente al 1 gramo y registrar este valor: Pes (peso del recipiente más material suelto)
- 4.7. Vaciar el recipiente cilíndrico y repetir las operaciones 4.2 a 4.4, pero a medida que se va llenando el recipiente, sacudir el mismo con caídas de pequeña altura, de forma tal que se compacte el material vertido, hasta que no experimente cambios de volumen.
- 4.8. Pesar el recipiente al 1 gramo y registrar este valor: Pec (peso del recipiente más material compactado)

5. Cálculo:

Peso Unitario Suelto

$$P.U.S = \frac{Pes - Pv}{V}$$

$$\text{Peso Unitario Compactado} \quad P.U.C = \frac{P_{ec} - P_v}{V}$$

Cálculo del volumen sólido (coeficiente de aporte) y del volumen de vacíos:

Material suelto:

$$\text{Volumen Sólido} \quad V_s = \text{Coef.ap.} = \frac{P.U.S.}{\partial}$$

$$\text{Volumen de Vacíos} \quad V_v = 1 - V_s$$

Material compactado:

$$\text{Volumen Sólido} \quad V's = \text{Coef.ap.} = \frac{P.U.C.}{\partial}$$

$$\text{Volumen de Vacíos} \quad V'v = \text{Coef.ap.} = 1 - V's$$

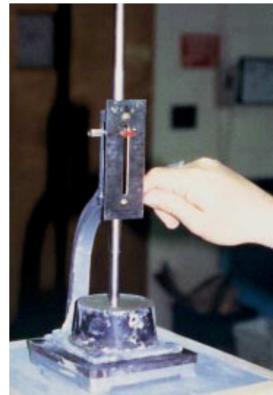
6. Precisión:

Sin referencias

CEMENTO. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL (IRAM 1612)

Objetivo

El ensayo sirve para obtener una pasta (cemento + agua) de una consistencia especificada, necesaria para la realización de los ensayos de Expansión en Autoclave (IRAM 1620) y de Tiempo de Fraguado (IRAM 1619). La pasta de cemento de consistencia normal tiene una resistencia especificada a la penetración de una sonda normalizada. El agua requerida para la confección de dicha pasta se determina por medio de sucesivos ensayos de penetración en pastas con diferentes contenidos de agua.



1. Reactivos y Materiales:

Agua para análisis

Cemento a ensayar

Los materiales deben estar a una temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$

2. Acondicionamiento del laboratorio:

Temperatura: $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$

Humedad relativa: mayor o igual a 50%

3. Equipamiento:

Balanza con precisión de 1 g.

Mezcladora, según IRAM 1622

Aparato de Vicat como el indicado en la figura 2 a), equipado con una sonda con las características indicadas en las figuras 2 c)

Molde troncocónico con las dimensiones indicadas en la figura 2 a).

Placa de base de vidrio

Cronómetro

4. Procedimiento:

- 4.1. Se pesan 500 g de cemento y separadamente una cantidad determinada de agua (normalmente entre un 25 y 28 % del peso de cemento)
- 4.2. Se introduce el agua en la mezcladora y luego el cemento. Una vez completada la carga de materiales se toma este instante como tiempo cero
- 4.3. Se mezcla de la siguiente manera:
 - 90 s a velocidad lenta y se detiene la máquina
 - Se dispone de 15 s para separar la pasta de las paredes con una espátula
 - Se mezcla otros 90 s a velocidad lenta
- 4.4. Se coloca la pasta en el molde troncocónico, llenándolo hasta rebosar sin compactación ni vibración excesivas y luego se enrasa la superficie.
- 4.5. Se coloca el molde con su placa de base en el aparato de Vicat centrados respecto a la sonda.
- 4.6. Se baja la sonda hasta que haga contacto con la parte superior de la pasta y se asegura que quede quieta sobre la misma.
- 4.7. Se libera la sonda dejando que penetre en la pasta; esto debe hacerse a los 4 minutos del tiempo cero.
- 4.8. Se lee en la escala, 30 s después de la liberación de la sonda, que indica la distancia entre la cara inferior de la sonda y la placa base y se registra este valor conjuntamente con el contenido de agua agregada a la mezcla, expresada como porcentaje respecto a la masa de cemento, con una precisión del 0,5%.
- 4.9. Se repite el ensayo con otros porcentajes de agua hasta que la sonda penetre hasta quedar a (6 ± 1) mm de la placa de base. Este contenido de agua se denomina “agua pasta normal” y es la necesaria para conseguir una “pasta de consistencia normal”

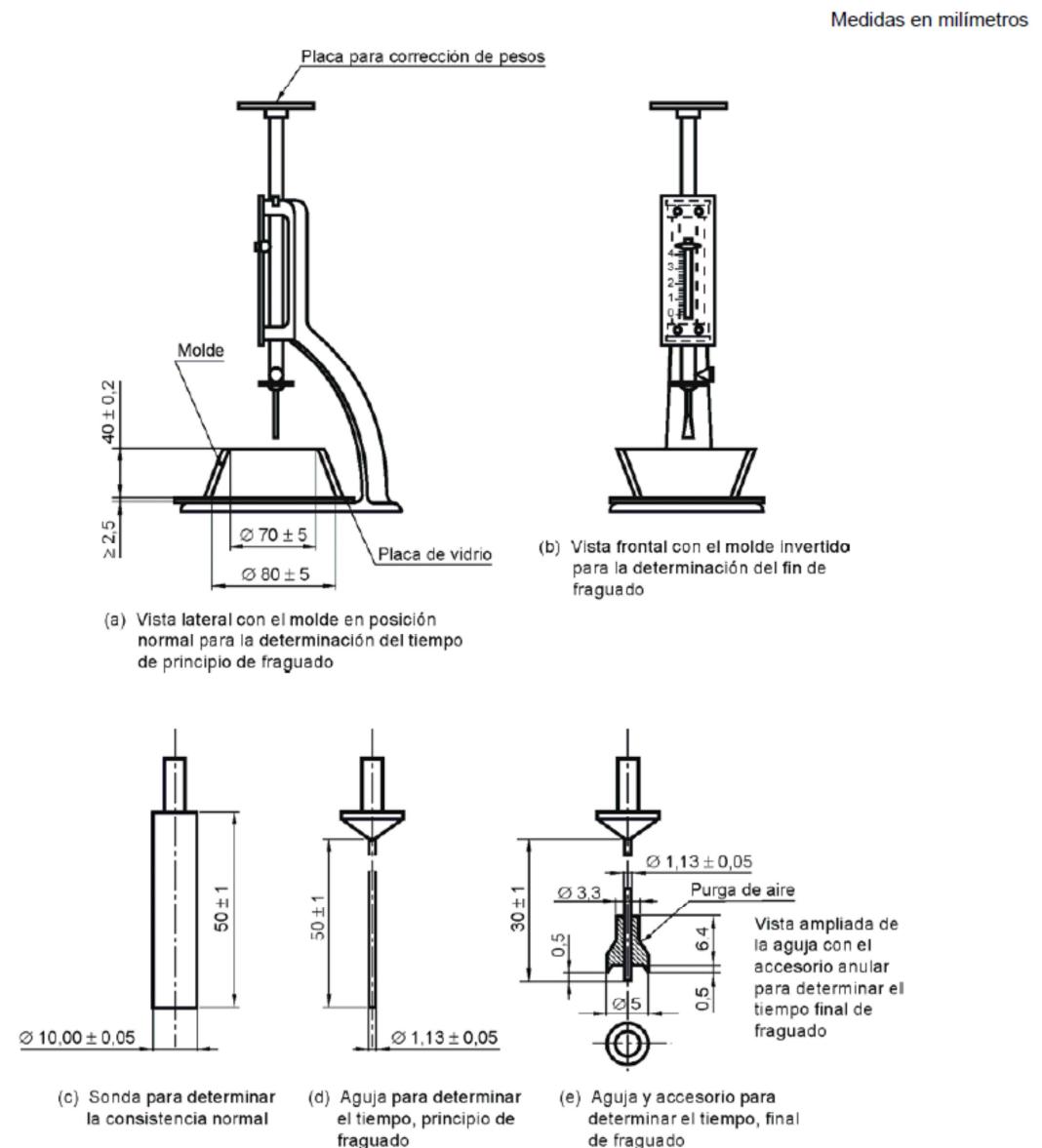


Figura 2 – Aparato de Vicat

CEMENTO. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO (IRAM 1619)

Objetivo

Determinar el tiempo de fraguado de una pasta de cemento en condiciones normalizadas. El tiempo de fraguado inicial y final se determina mediante la medición de la penetración de una aguja normalizada en una pasta de consistencia normal hasta que alcanza un valor especificado. A medida que avanza la hidratación del cemento, la pasta ofrece mayor resistencia a la penetración de la aguja y por lo tanto esta penetración es una medida del fragüe del cemento.

El tiempo de fraguado inicial es un requerimiento de la norma IRAM 50000 para todos los cementos. El valor requerido varía en función de la categoría resistente del cemento como se indica en la tabla siguiente:

Categoría resistente del cemento	Tiempo de fraguado inicial
CP30	Mayor a 75 min.
CP40	Mayor a 60 min.
CP50	Mayor a 45 min.

Tabla 1 – Tiempos de fraguado inicial mínimos según IRAM 50000

La determinación del tiempo de fraguado entre diferentes partidas de cemento sirve para controlar la uniformidad del mismo respecto a este parámetro. No es posible su correlación con el tiempo de fraguado del hormigón ya que éste depende además, de otras variables de gran influencia, como: su dosificación, relación agua / cemento y aditivos químicos utilizados, y de la temperatura ambiente y del hormigón en caso de determinarse en condiciones de obra.

1. Acondicionamiento del laboratorio:

Temperatura: $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$

Humedad relativa: mayor o igual a 50%

2. Equipamiento:

Cámara de curado a $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ y humedad relativa: mayor o igual a 90% o en su defecto un baño de agua que permita contener los moldes llenos.

Aparato de Vicat como el indicado en la figura 2 a), equipado con una aguja con las características indicadas en las figuras 2 d) y e).

Molde troncocónico con las dimensiones indicadas en la figura 2 a).

Placa de base de vidrio

Cronómetro

3. Procedimiento:

- 3.1. Se prepara una pasta de consistencia normal con el cemento a ensayar de acuerdo a IRAM 1612.
- 3.2. Se coloca el molde vacíosobre la placa base en el aparato de Vicat centrados respecto a la aguja.
- 3.3. Se baja la aguja hasta que haga contacto con la placa de vidrio y se pone a cero la escala. Se retira el molde y la placa.
- 3.4. Se llena el molde troncocónico apoyado sobre la placa de vidrio con la pasta de consistencia normal retirando la pasta sobrante. Se debe evitar cualquier compactación del molde.
- 3.5. El molde lleno se lleva a cámara húmeda o bien se sumerge en un recipiente con agua.
- 3.6. Al momento de las lecturas se coloca el molde en el aparato de Vicat. Si el molde se conserva en un recipiente con agua puede mantenerse en posición bajo el Vicat.
- 3.7. Se baja la aguja hasta que haga contacto con la parte superior de la pasta y se asegura que quede quieta sobre la misma.
- 3.8. Se libera la aguja dejando que penetre en la pasta.
- 3.9. Luego de 30 s se registra la lectura de la escala, que indica la distancia entre la aguja y la placa base y se registra el tiempo transcurrido desde el tiempo cero.

- 3.10. Se repite el procedimiento a intervalos de tiempo convenientemente espaciados, hasta que se registre una distancia entre la aguja y la placa base de (4 ± 1) mm. El tiempo transcurrido desde el instante cero hasta que ocurre esta penetración es el tiempo inicial de fraguado.
- 3.11. Para la determinación del tiempo final de fraguado se invierte el molde lleno, de manera tal que las mediciones se harán sobre la cara de la probeta que estuvo en contacto con la placa base originalmente. Se adapta la aguja con un accesorio anular como el indicado en la figuras 2 b) y e), para facilitar lectura. ⁽¹⁾
- 3.12. Se usa el procedimiento similar al del tiempo inicial de fraguado. Los intervalos de tiempo entre las determinaciones pueden ampliarse, por ejemplo, hasta 30 min.
- 3.13. Se registra, con una aproximación de 15 min, el tiempo transcurrido desde el instante cero al cabo del cual la aguja penetra, por primera vez, sólo 0,5 mm en la pasta, como el tiempo de fraguado final del cemento. Este es el tiempo al cabo del cual el accesorio anular deja de marcar la probeta por primera vez.

⁽¹⁾ El uso de equipos Vicat automáticos donde el registro del tiempo y la penetración se realizan en forma automática, permite mantener el molde en la posición inicial durante todo el ensayo y hace innecesario el uso del accesorio anular.

CEMENTO. MÉTODO DE ENSAYO DE FINURA POR DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA POR PERMEABILIDAD AL AIRE (MÉTODO DE BLAINE) (IRAM 1623)

Objetivo

El método de la permeabilidad al aire (método de Blaine) permite determinar la superficie específica (superficie relativa a la masa) por comparación con una muestra de referencia de cemento. La determinación de la superficie específica sirve principalmente para verificar la consistencia del proceso de molienda de una misma planta.

La norma IRAM 50000 establece un valor mínimo de superficie específica de $250 \text{ m}^2/\text{kg}$. En la actualidad los valores típicos de este parámetro varían entre 300 y $500 \text{ m}^2/\text{kg}$.

Para igual composición y materias primas, en general, cementos más finos resultan en mayores resistencias, principalmente a corta edad, mayor demanda de agua para obtener una consistencia dada y mayor contracción por secado.

Fundamento

La finura del cemento se mide como superficie específica, observando el tiempo (t) empleado por un volumen determinado de aire, en fluir a través de un lecho de cemento compactado, de dimensiones y porosidad (e), conocidas. Bajo condiciones normalizadas, la superficie específica del cemento es proporcional a \sqrt{t} . El flujo de aire se fuerza por una diferencia de presión generada en un manómetro.

Para la porosidad dada, la cantidad y el intervalo de tamaños de los poros individuales en el lecho especificado queda determinado por la distribución de

tamaños de las partículas del cemento, lo cual también determina el tiempo de flujo de la cantidad de aire especificada.

Este método es comparativo y no absoluto, y por lo tanto, se requiere una muestra de referencia de una superficie específica conocida para la calibración del aparato. Con esta muestra se determina la “constante K del aparato” que permite la evaluación de otros cementos.

1. Reactivos y Materiales:

Cemento a ensayar. Debe estar a una temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$
Grasa liviana, apta para vacío

2. Acondicionamiento del laboratorio:

Temperatura: $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$

3. Equipamiento:

Equipo de permeabilidad de Blaine de acuerdo a la figura 3

Balanza capaz de pesar alrededor de 3 g de cemento con precisión de 1 mg.

Cronómetro

4. Procedimiento:

- 4.1. Se pesa una cantidad de cemento calculada según:

$$m = (1 - e)\rho V$$

siendo:

m : masa de cemento a pesar

e : porosidad del lecho = 0,500

ρ : densidad del cemento en g/cm^3

V : volumen del lecho de cemento en cm^3

Para un equipo dado la masa de cemento varía sólo con la densidad (ρ) del mismo.

- 4.2. Se coloca en la celda de permeabilidad (figura 3 a) el disco perforado (figura 3 b) y un papel de filtro.
- 4.3. Se introduce el cemento en la celda de permeabilidad y se comprime lentamente haciendo presión con el émbolo (figura 3 b) hasta que éste haga contacto con la parte superior de la celda. Se coloca un papel de filtro sobre el cemento.
- 4.4. Se coloca la celda de permeabilidad sobre el manómetro y se le coloca una tapa
- 4.5. Se abre la llave de paso y por medio de una leve aspiración se eleva el nivel del líquido del manómetro hasta la marca superior (8 en la figura 3 d). Se cierra la llave de paso y se verifica que no haya variaciones en el nivel del líquido.
- 4.6. Se abre la llave de paso y si es necesario se ajusta nuevamente el nivel del líquido. Se cierra la llave de paso
- 4.7. Se retira la tapa de la parte superior de la celda de calibración y el líquido del manómetro comenzará a fluir forzando a que el aire exterior pase a través del lecho de cemento.
- 4.8. Se inicia el cronómetro cuando el líquido alcance la segunda línea grabada (9 en la figura 3 d)

- 4.9. Se detiene el cronómetro cuando alcance la tercer línea grabada (10 en la figura 3 d).
- 4.10. Se registra el tiempo con una aproximación de 0,2 s
- 4.11. Se repite el proceso para hacer una nueva medición.
- 4.12. Y luego se repite todo el proceso con una nueva muestra del cemento en ensayo.
- 4.13. Se calcula la superficie específica Blaine (SEB) con la siguiente expresión:

$$SEB = \frac{K}{\rho} \cdot \sqrt{t}$$

siendo:

SEB : superficie específica Blaine en cm^2/g

K : constante del equipo determinada en la calibración del mismo

ρ : densidad del cemento en g/cm^3

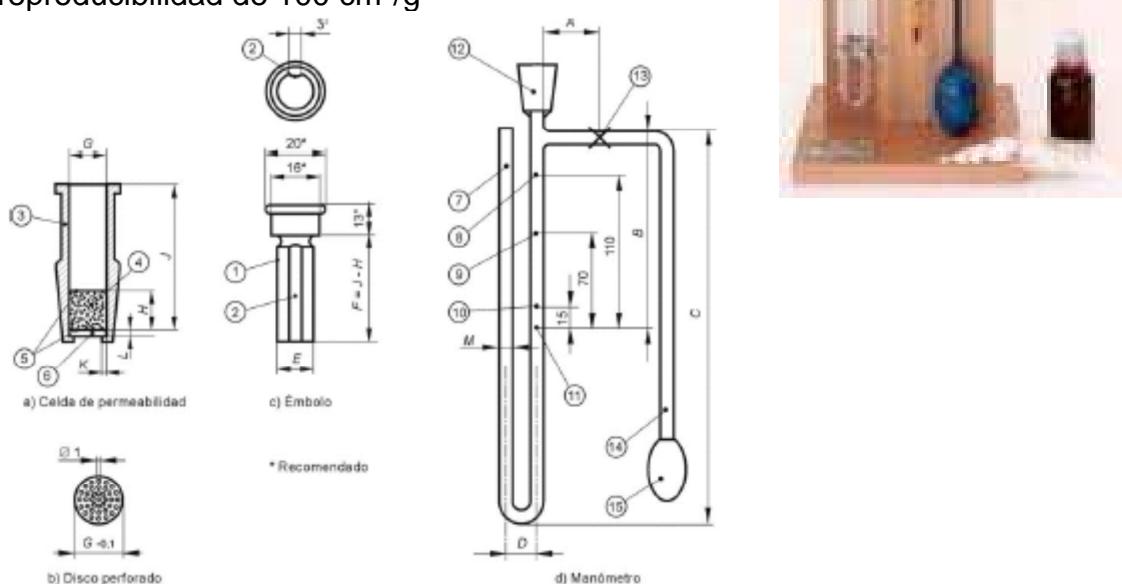
t : promedio de los tiempos medidos en el ensayo (4.9 a 4.11) en segundos

5. Expresión de los resultados:

La superficie específica Blaine se debe informar con una aproximación de $10 \text{ cm}^2/\text{g}$

Es aceptable una diferencia en SEB del 1% entre los promedios determinados para dos lechos diferentes de una única muestra del mismo cemento

La desviación estándar de la repetibilidad es de aproximadamente $50 \text{ cm}^2/\text{g}$ y la de la reproducibilidad de $100 \text{ cm}^2/\text{g}$



Item	Descripción	Item	Descripción
1	Pistón	7	Manómetro
2	Canaleta para ventilación de aire	8 a 11	Líneas graduadas
3	Celda	12	Junta cónica para celda
4	Disco con cemento compactado	13	Llave de cierre
5	Disco de papel de filtro	14	Tubo de caucho
6	Disco perforado	15	Bulbo aspirador

Figura 3 – Equipo de permeabilidad de Blaine

CEMENTO. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS MECÁNICAS (IRAM 1622)

Objetivo

describe un método para la determinación de las resistencias mecánicas a la compresión y a la flexión del mortero de cemento.

De acuerdo a la norma IRAM 50000 los cementos se clasifican en 3 categorías resistentes (CP30, CP40 o CP50), indicando el número que sigue a la sigla CP la resistencia mínima en megapascales que debe tener un cemento ensayado según la norma IRAM 1622. Los valores especificados según la norma 50000 son los de la siguiente tabla:

Categoría	Resistencia a la compresión [MPa]			Método de ensayo
	2 días	7 días	28 días	
CP30	--	Mín. 16	Mín. 30	IRAM 1622
CP40	Mín. 10	--	Mín. 40	
CP50	Mín. 20	--	Mín. 50	

En todos los casos los valores de resistencia obtenidos a 28 días deben ser mayores que los obtenidos a 2 y 7 días

Tabla 2 – Requisitos mecánicos de los cementos de diferentes categorías resistentes según IRAM 50000

La resistencia a la compresión determinada por éste método no implica un límite en las resistencias que se pueden alcanzar en hormigón.

Características principales del método

El método comprende la determinación de las resistencias a la compresión y opcionalmente a la flexión de probetas prismáticas, de medidas 40 mm por 40 mm por 160 mm.

Las probetas se fabrican con un mortero plástico, compuesto de una parte de cemento y tres partes de arena normalizada (IRAM 1633), en masa y con una relación agua/cemento en masa de 0,50. Se pueden utilizar arenas de diferentes orígenes y regiones, con la condición de que, al ser utilizadas, los resultados de las resistencias mecánicas no se diferencien en una forma significativa (5%) de los obtenidos usando la arena normalizada.

El mortero se prepara por mezclado mecánico, y se compacta en un molde utilizando una compactadora normalizada.

El molde que contiene las probetas se conserva en cámara húmeda durante 24 h, y las probetas desmoldadas se sumergen inmediatamente en agua hasta el momento de realizar los ensayos de resistencia.

1. Acondicionamiento del laboratorio:

Temperatura de la sala de moldeo: $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$

Humedad relativa de la sala de moldeo y rotura: mayor o igual a 50%

Temperatura de la cámara de curado y del agua del recipiente donde se conservarán las probetas: $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$

Humedad relativa de la cámara de curado: mayor o igual a 90%

2. Equipamiento:

- 2.1. Mezcladora: consta esencialmente de un recipiente de capacidad aproximada 5 litros y una paleta de mezclado accionada por un motor eléctrico que permite el mezclado a dos velocidades e imprime a la paleta un movimiento sobre su propio eje u otro planetario alrededor de los bordes del recipiente. (ver figuras 4 y 5)
- 2.2. Moldes: de acero que permitirán el moldeo simultáneo de 3 probetas prismáticas de 40 mm x 40 mm x 60 mm con la adecuada exactitud en sus dimensiones. Los moldes serán desarmables y se untaran ligeramente con aceite mineral para facilitar el desmolde de las probetas. (ver figuras 6 y 7). Se contará con un sobremolde que permitirá llenar los moldes por encima de su nivel para la compactación.
- 2.3. Compactadora: se compone básicamente de una placa de acero (mesa) donde se fija el molde, la que está unida rígidamente por dos brazos a un eje de rotación. Durante el funcionamiento la mesa es levantada por una leva que le permite una caída libre desde una altura de $(15,0 \pm 0,3)$ mm. La velocidad de la leva será de 1 vuelta por segundo. (ver figuras 8 y 9)
- 2.4. Máquina de ensayo de resistencia a la compresión: es una prensa de accionamiento hidráulico, con la capacidad de carga adecuada para el ensayo a realizar y una velocidad de carga de (2400 ± 200) N/s. Tendrá un dispositivo indicador de carga, con una precisión en la medición de $\pm 1,0\%$ de la carga registrada y con registro de la carga máxima de rotura alcanzada. La presión sobre la probeta de mortero en ensayo se ejercerá a través de dos placas de sección cuadrada de lado $(40,0 \pm 0,1)$ mm (ver figuras 10 y 11)
- 2.5. Balanza con precisión de 0,1 g.
- 2.6. Cronómetro

3. Reactivos y Materiales:

Cemento a ensayar

Arena normal que cumpla con la norma IRAM 1633

Aqua para análisis (IRAM 21322)

Todos los materiales al momento del ensayo deben estar a una temperatura de (20 ± 2) °C

4. Procedimiento:

- 4.1. Se pesan $450 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ de cemento, $1350 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$ de arena y $225 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ de agua.
- 4.2. Preparación del mortero: se mezcla mecánicamente el mortero utilizando la mezcladora descripta, según una secuencia de ingreso de materiales y de velocidades de mezclado definidas por la norma IRAM 1622. El tiempo total de preparación del mortero es de 4 minutos.
- 4.3. Preparación de las probetas: las probetas serán prismáticas de 40 mm por 40 mm por 160 mm. Se fija el molde previamente aceitado en su interior con el sobremolde, a la placa de la compactadora. Se llena

- 4.4. en cada uno de los compartimentos del molde con mortero hasta la mitad de su altura y se somete esta primera capa a 60 caídas de la compactadora durante 60 segundos. Se agrega una segunda capa de mortero y se compacta de igual manera. Se retira el molde y se quita el sobremolde. Se enrasa el mortero con una espátula.
- 4.5. Curado de las probetas:
 - 4.5.1. terminado el moldeo se cubre el molde con una placa de vidrio, se identifica y se lo traslada a la cámara de curado.
 - 4.5.2. Desmolde: para ensayos a 24 hs, el desmolde se realizará como máximo 20 minutos antes del ensayo. Para otras edades de ensayos el desmolde se hará entre 20 y 24 hs después del moldeo. Luego de desmoldadas las probetas son identificadas.
 - 4.5.3. Las probetas se sumergen en agua a (20 ± 1) °C y se retirarán del agua como máximo 15 minutos antes del ensayo.
- 4.6. Ensayo de las probetas:
 - 4.6.1. Las mismas pueden ensayarse primero a flexión, pero dado que este dato normalmente no es de utilidad, ni tampoco es un requerimiento normativo, lo común es efectuar la rotura a flexión de los prismas sin registro de carga. (ver dispositivo de rotura en la figura 12)
 - 4.6.2. Rotura a compresión: se ensayan los semiprismas a compresión, aplicando la fuerza sobre las caras que fueron laterales durante el moldeo. Se aumenta la carga con una velocidad de (2400 ± 200) N/s durante todo el tiempo de aplicación de la carga, hasta la rotura. Se calcula la resistencia a la compresión como:

$$Rc = \frac{F_c}{1600}$$

Siendo:

Rc : resistencia a la compresión en megapascales [MPa]

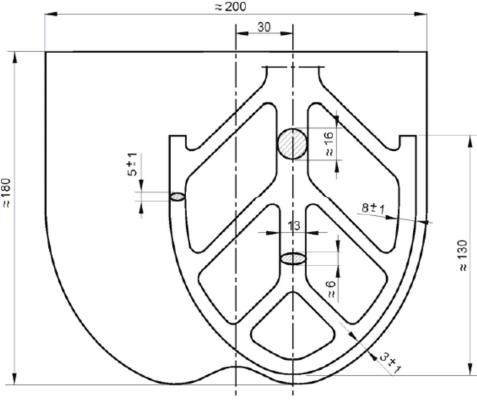
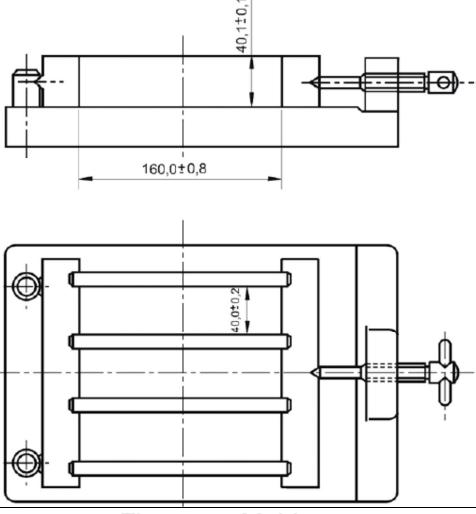
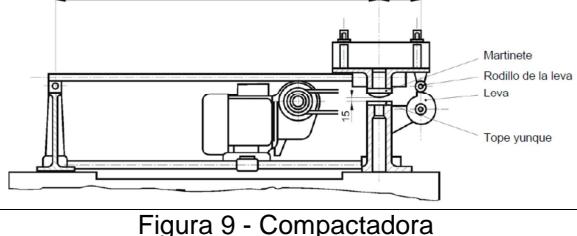
F_c : carga máxima de rotura en Newtons [N]

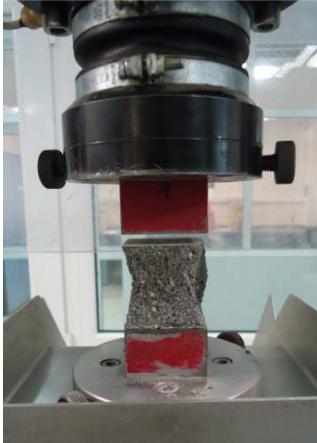
1600: superficie de las placas de carga en milímetros cuadrados [mm²]

- 4.7. Definición del resultado de ensayo: se define un resultado de ensayo como el promedio, redondeado al 0,1 MPa, de seis determinaciones realizadas sobre una serie de 3 prismas. Se descartará aquel resultado que difiera en más del 10% de la media.
 - 4.7.1. Repetibilidad del método: es una expresión cuantitativa del error asociado a los resultados de ensayos obtenidos en un laboratorio, con muestras de cemento nominalmente idénticas, y bajo condiciones nominalmente idénticas: mismo operador, mismo equipo, misma arena, corto intervalo de tiempo, etc. La repetibilidad, bajo estas condiciones, para la resistencia a la compresión a 28 días, en un laboratorio experimentado, expresada como coeficiente de variación, puede esperarse que esté comprendida entre el 1% y 3%.
 - 4.7.2. Reproducibilidad La reproducibilidad del método de determinación de la resistencia a la compresión, es una expresión cuantitativa del error asociado a los resultados del ensayo, obtenidos con muestras de cemento nominalmente idénticas, por diferentes operarios, trabajando en diferentes laboratorios, en tiempos distintos, utilizando arenas normalizadas de distintos orígenes y con diferentes equipos.

En estas condiciones se puede estimar que, para la resistencia a la compresión a 28 días, la reproducibilidad entre laboratorios experimentados, expresada como coeficiente de variación, será menor que el 6%.

Esto supone que pueda estimarse con una probabilidad del 95%, que la diferencia entre dos resultados de ensayos correspondientes, obtenidos en distintos laboratorios, sea menor que el 15%.

	
<p>Figura 4 – mezcladora de mortero</p>	<p>Figura 5 – Recipiente y paleta (medidas en mm)</p>
	
<p>Figura 6 - Molde</p>	<p>Figura 7 - Moldes</p>
	
<p>Figura 8 - Compactadora</p>	<p>Figura 9 - Compactadora</p>

	
Figura 10 – máquina de ensayo de resistencia a compresión	Figura 12–dispositivo de rotura a flexión de los primas

Referencias

Trabajos Prácticos Cátedra de Tecnología de los Materiales de Construcción Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales– Universidad Nacional de Córdoba

Norma IRAM 50.000 – Cemento de uso general - Composición, características, evaluación de la conformidad y condiciones de recepción.

Norma IRAM 1624 - Cemento. Método de ensayo para la determinación de la densidad Cemento.

Norma IRAM 1612 - Método de ensayo para la determinación de la consistencia normal.

Norma IRAM 1619 - Cemento. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado.

Norma IRAM 1623 - Cemento. Método de ensayo de finura por determinación de la superficie específica por permeabilidad al aire (método de Blaine)

Norma IRAM 1622 - Cemento. Determinación de resistencias mecánicas.

Norma IRAM 1633 –Arena normalizada

Norma IRAM 21322 –Agua para análisis – Requisitos y métodos de ensayo