



*Profesor Titular:* Ing. Maximiliano Segerer  
*Jefe de Trabajos Prácticos:* Ing. Carlos Aluz

## ASIGNATURA: **TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN**

### TRABAJO PRÁCTICO N° 6

## CEMENTOS

### I. OBJETIVOS

Métodos de ensayos mecánicos, físicos y químicos sobre el control de calidad y aceptación de cementos. Manejo de las normas IRAM 50.000 y 50.001. Clasificación general de cementos para uso general y con propiedades especiales.

### II. DESARROLLO

El trabajo práctico será desarrollado en clase mostrando aparatos de ensayos. Luego de dictada la parte teórica de la Unidad 4 "Cementos", especialmente las normas IRAM 50.000 y 50.001, se pasará a explicar la metodología de ensayos de control de calidad de cementos. Asimismo se explicarán los ejercicios propuestos que serán resueltos con la ayuda de la Guía de Clases entregada a los alumnos.

### III. NORMAS A CONSULTAR

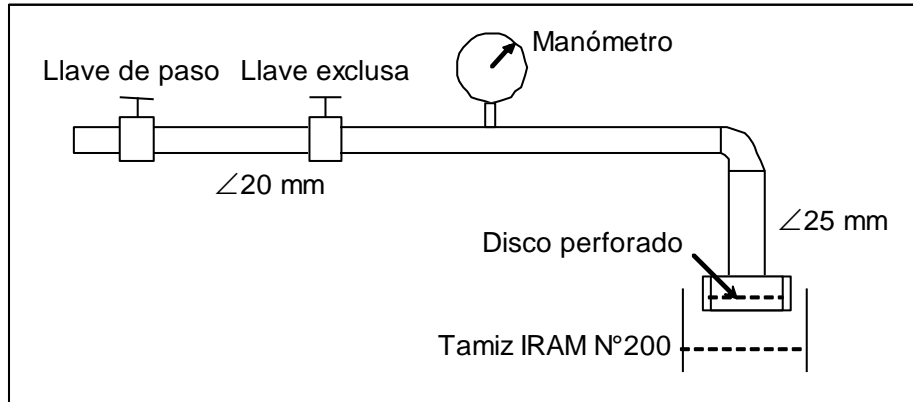
- **Norma IRAM 50.000** – Cementos para uso general
- **Norma IRAM 50.001** – Cementos con propiedades especiales
- **Norma IRAM 1612** – Método de determinación de la consistencia normal
- **Norma IRAM 1619** – Método de determinación del tiempo de fraguado
- **Norma IRAM 1620** – Método de determinación de constancia de volumen en autoclave
- **Norma IRAM 1621** – Método de ensayo de finura por tamizado húmedo
- **Norma IRAM 1622** – Método de determinación de resistencias a flexión y a compresión
- **Norma IRAM 1623** – Método de ensayo de finura por permeimetría (Blaine)
- **Norma IRAM 1624** – Determinación del peso específico

### IV. NORMAS IRAM DE ENSAYO

#### **IRAM 1621: Cemento Portland. Método de ensayo de finura por tamizado húmedo.**

Esta norma determina el retenido sobre el tamiz IRAM 74  $\mu\text{m}$  (N°200), mediante un tamizado húmedo. Se utiliza un aspersorio que consiste en una cañería de 20 mm de diámetro interior, que lleva conectados una llave de paso, una válvula exclusiva, un manómetro, un cono de reducción, una cañería de 25 mm de diámetro interior y una pieza con un disco perforado con 69 orificios de 0,5 mm de diámetro cada uno. Además se utilizan: balanza de precisión al 0,01 g, tamiz IRAM N°200 y una estufa. En la figura 1 se muestra un esquema del aspersorio y disposición del ensayo.

Se pesan aproximadamente 50 g de la muestra seca a estufa con una precisión de 0,01 g; y se los coloca en el tamiz IRAM N°200, que deberá estar limpio y seco. Se abre la llave de paso y se regula la presión del agua de la válvula exclusiva a 0,05 MPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>). El tamiz debe estar colocado, de manera tal que el borde superior del mismo debe sobrepasar al disco perforado colocado en la boca del aspersorio. Se mueve con la mano el tamiz con movimiento rotatorio, a una velocidad de 1 vuelta por segundo, durante 5 minutos.



**Figura 1** - Esquema del aspersorio y disposición de ensayo de IRAM 1621

El tamiz con el residuo se seca por calentamiento a una temperatura menor a 100°C, durante 15 minutos, para que el residuo pueda ser desprendido con facilidad. Se transfiere el residuo a un vidrio de reloj, se coloca en estufa entre 120 y 180°C, hasta peso constante. Se deja enfriar y se pesa al 0,01 g.

$$R_{(\%)} = \frac{G_1}{G} \quad \text{donde } G_1 = \text{peso del residuo húmedo}$$

$$G = \text{peso de la muestra original}$$

### **IRAM 1623: Cemento Portland. Método de ensayo de finura por determinación de superficie específica por permeametría (Método de Blaine)**

Consiste en hacer circular un fluido, que es el aire, a través de los granos del cemento. El permeabilímetro es un dispositivo para conducir una cantidad de aire a través de una capa preparada de cemento de porosidad establecida. El número y tamaño de la capa preparada, de definida porosidad, es una función del tamaño de las partículas y determina el caudal de aire que pasa a través de la capa en un tiempo dado. O sea que dicho caudal de aire verá dificultado su pasaje según sea el número y tamaño de los poros.

La circulación del aire es provocada por el descenso del líquido de un tubo manométrico en cuya rama se encuentra la célula de permeabilidad que contiene la capa de cemento, determinándose la velocidad del caudal de aire midiendo el tiempo de descenso del líquido manométrico entre dos referencias contenidas en la rama del tubo.

El **permeabilímetro de Blaine** en una serie de dispositivos:

- *Celda de permeabilidad*, constituida por un cilindro rígido de un diámetro interior de  $1,27 \pm 0,10$  cm construido de vidrio o de metal no corrosible. La parte superior de la celda está cortada perpendicularmente al eje de la misma. La parte inferior del tubo ajustará herméticamente con la parte superior del manómetro. En el interior del tubo y a  $5,0 \pm 1,5$  cm de la parte superior, se encuentra un reborde de 0,5 a 1 mm de ancho para soportar el disco metálico perforado.
- *Disco perforado*, de metal no corrosible, de superficie plana y tendrá un espesor de  $0,9 \pm 0,1$  mm, provisto de 30 a 40 orificios de 1 mm de diámetro distribuidos uniformemente en su superficie. El disco ajustará suave y perfectamente al interior de la celda.
- *Émbolo*, de material indeformable y no atacable por el cemento y ajustable en la celda con una holgura máxima de 0,1 mm. La parte inferior del émbolo será plana y formará un ángulo recto con su eje principal. Tendrá una ranura, según su generatriz, que permita el escape del aire. La parte superior del émbolo tendrá un reborde en forma tal que, cuando el émbolo sea colocado en el tubo y el reborde esté en contacto con la parte superior del mismo, la distancia entre el fondo del émbolo y la parte superior del disco perforado sea de  $1,5 \pm 0,1$  cm.
- *Papel filtro*, de textura media. Los discos de papel filtro serán del mismo diámetro que el diámetro interior de la celda de permeabilidad y tendrán bordes lisos.
- *Tubo Manométrico*, tubo en forma de "U", empleando tubo de vidrio de 9 mm de diámetro nominal interior y pared delgada. La parte superior de una de las ramas del manómetro tendrá una conexión hermética con el tubo de permeabilidad. Esta rama tendrá una marca grabada

alrededor del tubo, a una distancia de la parte superior de la rama lateral de 12,5 a 14,5 cm y a partir de ésta marca y hacia arriba deben estar grabadas otras marcas a distancias de 1,5; 7,0 y 11,0 cm. La rama lateral, que está colocada de 25,0 a 30,5 cm arriba de la parte inferior del manómetro, sirve para succionar el aire de la rama del manómetro conectada al tubo de permeabilidad y debe estar provista de una válvula que haga un cierre hermético y ubicada a una distancia no mayor de 5 cm de la rama del manómetro. El manómetro debe estar firmemente instalado y en forma tal que sus ramas queden verticales.

- *Líquido para el manómetro*, El manómetro se llenará hasta su punto medio con un aceite mineral liviano o con un líquido que no sea volátil ni higroscópico y que tenga viscosidad y densidad baja. Puede ser ftalato de dibutilo o aceite mineral
- *Cronómetro*, Con mecanismo de arranque y de parada que permita lecturas con aproximación de 0,5 seg o menos.

La **calibración del aparato** se hace empleando una muestra patrón. En el momento del ensayo, la muestra estará a la temperatura ambiente. El procedimiento es el mismo que para el ensayo; pero con la muestra de cemento patrón.

- *Preparación de la capa compactada de cemento patrón*: Asentar el disco perforado en el reborde de la celda de permeabilidad. Colocar un disco de papel filtro sobre el disco perforado, y los bordes se presionan hacia abajo con una barra cilíndrica de diámetro ligeramente inferior al diámetro del tubo. Poner luego en la celda la cantidad de cemento que se determina para porosidad igual a 0,500 y pesar con una tolerancia de  $\pm 0,001$  gr. Golpear suavemente el tubo a fin de nivelar la capa de cemento. Colocar encima del cemento otro disco de papel filtro y comprimir el cemento con el émbolo, hasta que el reborde de éste asiente en la parte superior del tubo. Sacar lentamente el émbolo. Usar discos nuevos de papel filtro en cada determinación.
- *Ensayo de permeabilidad con la muestra patrón*: Conectar la celda de permeabilidad con el manómetro, cerciorándose que se ha tenido una conexión hermética y tener cuidado que la capa de cemento no se altere. Dejar salir lentamente el aire contenido en la rama del manómetro hasta que el líquido alcance la marca más alta. Cerrar herméticamente la válvula. Poner el cronómetro en marcha en el momento en que el menisco del líquido en el manómetro llegue a la segunda marca, es decir, a la marca que sigue a la más alta, y el cronómetro se detiene en el momento en que el menisco llegue a la tercera marca. Anotar el intervalo de tiempo observado, en seg. Anotar también la temperatura ambiente a que se hizo el ensayo en grados centígrados. Para la calibración del aparato hacer como mínimo tres determinaciones del tiempo de flujo usando cada vez porciones diferentes de la misma muestra. La calibración debe hacerla la misma persona que efectúe las determinaciones de la superficie específica. Podrá usarse la misma muestra en la preparación de la capa compactada de cemento, se mantendrá seca y todo el ensayo se hará dentro de 4 horas después de haber abierto la muestra.

De esta manera, se conoce K, en función de la superficie específica del cemento patrón conocida y el tiempo medido. El aparato será recalibrado a intervalos periódicos para corregir el desgaste posible en el émbolo o en la celda de permeabilidad, si hay alguna pérdida en el líquido del manómetro, y si se efectúa algún cambio en el tipo o calidad del papel filtro empleado en los ensayos

Para la determinación de la superficie específica, se procede como sigue:

Se coloca papel de filtro en la célula de permeabilidad, sobre el disco perforado. Luego se incorpora la muestra de cemento en una cantidad total, tal que la porosidad sea  $0,500 \pm 0,005$ , debiendo pesarlo con una precisión de 0,001 g. Es recomendable introducir la muestra de cemento en un frasco vacío y agitarla para que no existan grumos.

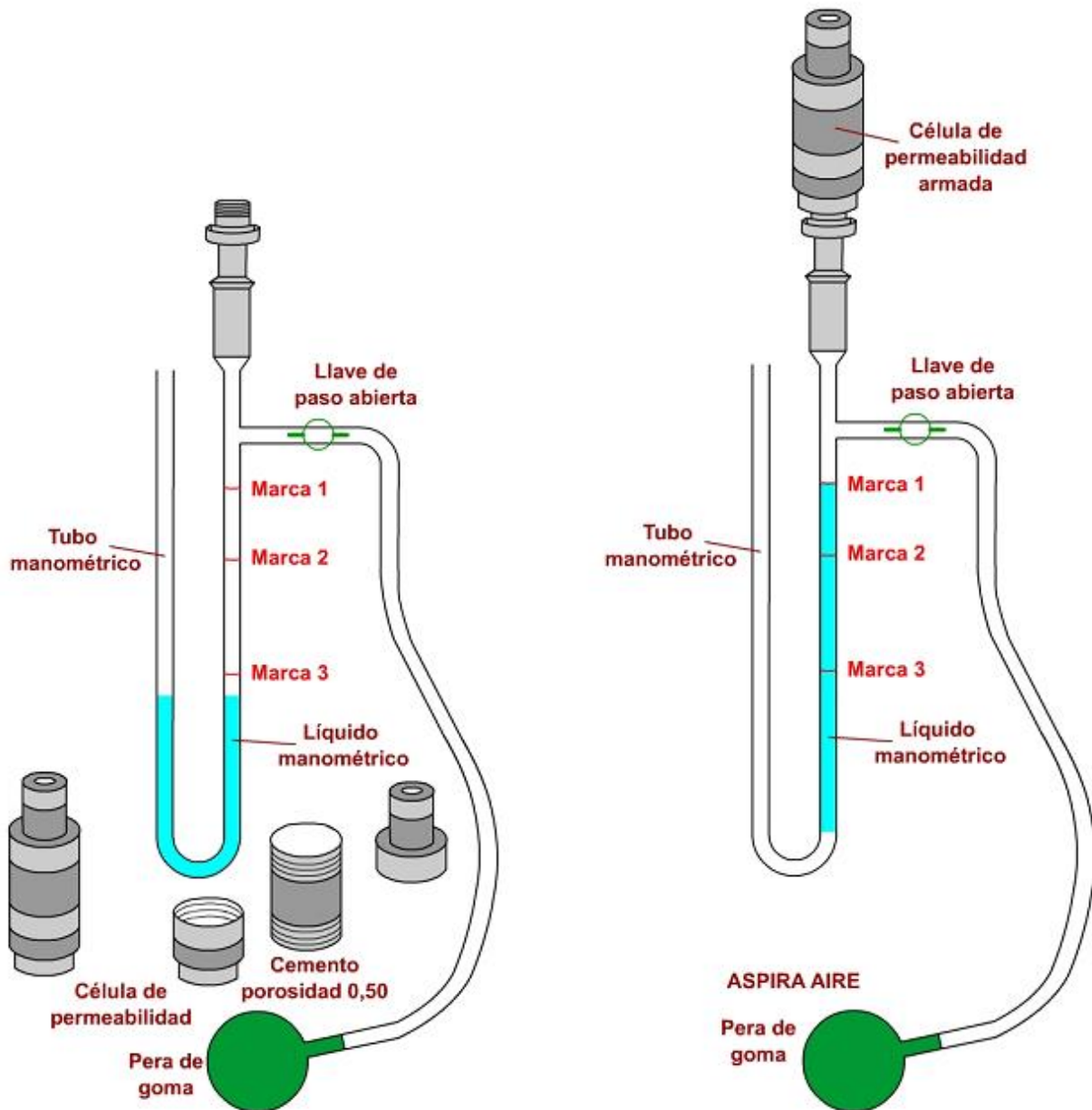
$$\text{Peso del cemento} = \text{Peso específico del cemento} \times \text{Volumen de la célula} \times (1 - 0,500)$$

Se coloca otro papel de filtro, se compacta con un pisón suavemente y se coloca el otro disco perforado. Se cierra la célula de permeabilidad y se enrosca sobre el tubo manométrico. A continuación, se abre la llave de paso de la rama lateral y se aspira hasta que el líquido alcance el enrase superior, denominado Marca 1. Inmediatamente, se cierra la llave de paso y se mide el tiempo de descenso del líquido entre la Marca 2 y la Marca 3, enrasadas en el tubo. En función del tiempo, mediante la siguiente fórmula se determina la superficie específica.

$$Se = K \cdot (t)^{1/2}$$

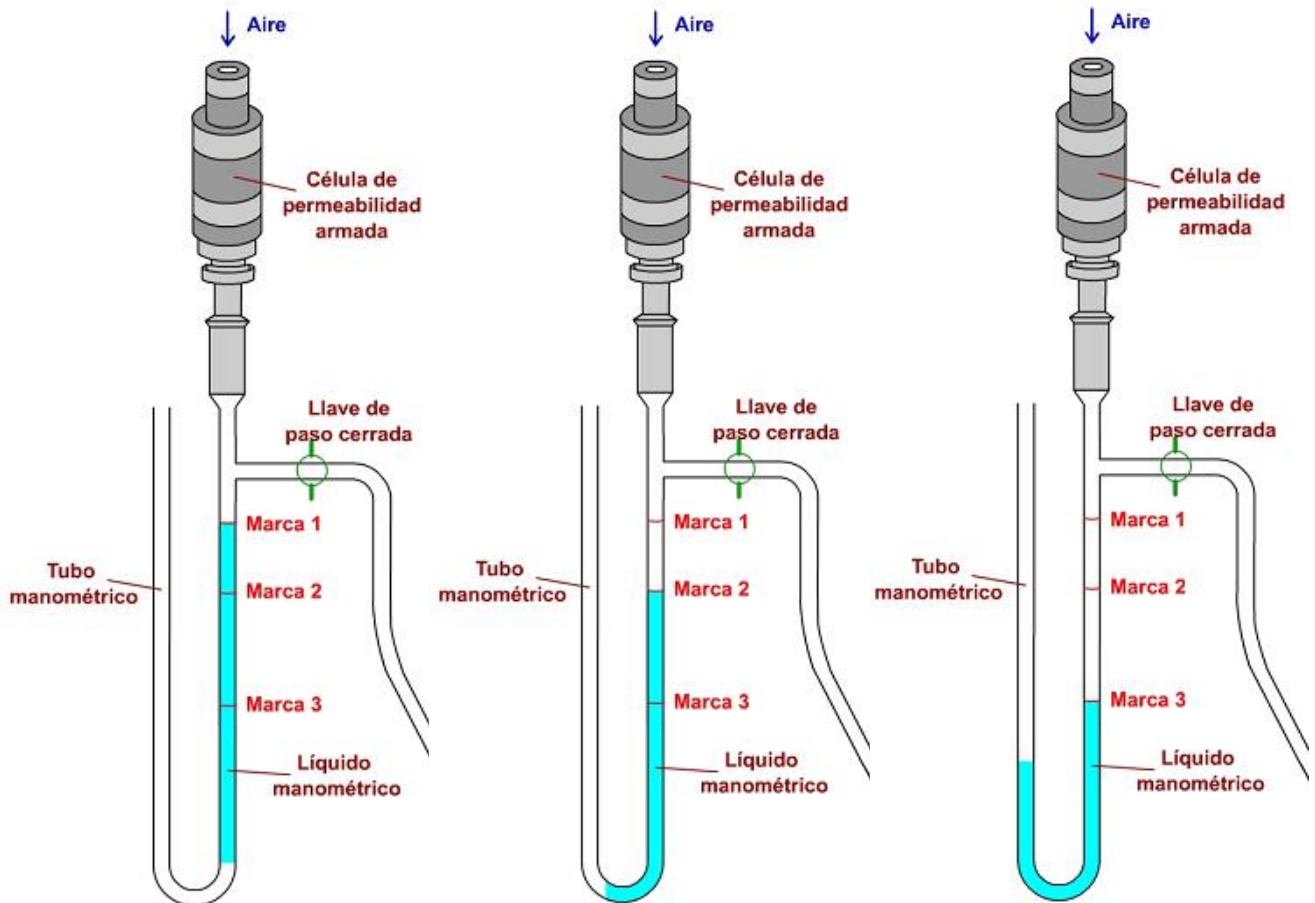
donde:  $t$  = tiempo de escurrimiento de la caída manométrica; y  $K$  = constante que se determina mediante la calibración del aparato. Tomará valores distintos según el ensayo se realice a temperaturas que difieran en  $3^{\circ}$  C respecto de la de calibración o varíe la porosidad de la muestra respecto a la utilizada con el cemento patrón durante la calibración.

Debe recordarse que uno de los factores que interesan en la reacción química es la velocidad de reacción, que en el caso del cemento Portland, depende de su composición. Influye también en dicha velocidad de reacción la superficie específica; cuanto más pequeñas son las partículas, mayor es la superficie específica y por lo tanto mayor la superficie reaccionante (mayor velocidad de reacciones de fragüe y endurecimiento).



**Figura 2** - Esquema del permeabilímetro de Blaine y de la célula de permeabilidad (IRAM 1623)

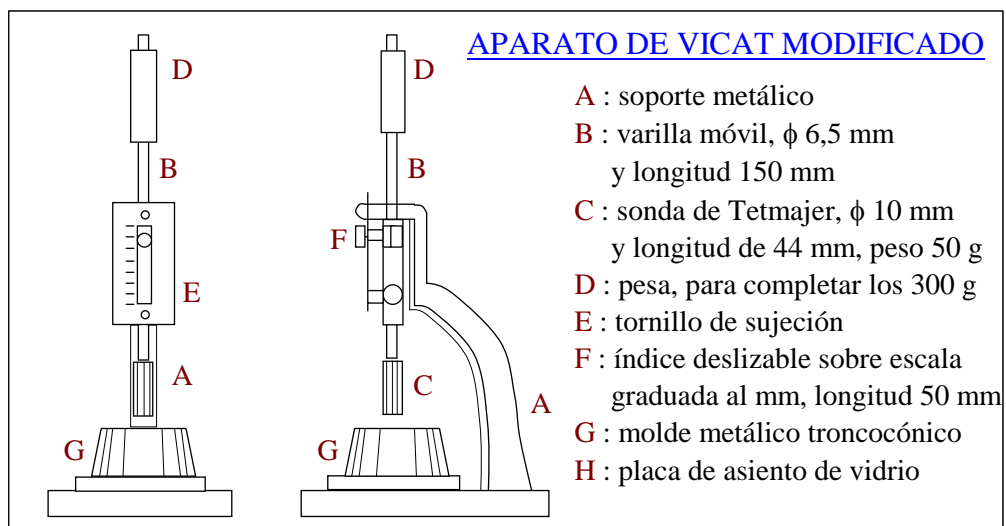
En la figura 2 se muestra los dispositivos antes de la realización del ensayo (izquierda) y justo antes de comenzar el ensayo (derecha); es decir, cuando se aspira aire con la pera de goma hasta llevarlo al ensare superior; momento en el que se cierra la llave de paso. La figura 3, muestra la llave de paso cerrada y sucesivamente (de izquierda a derecha) como va descendiendo la columna del líquido manométrico entre las Marcas 2 y 3, que es el tiempo a medir en el ensayo; hasta volver a la situación inicial de la figura 2 cuando el líquido se encuentra a presión atmosférica.



**Figura 3** – Etapas principales en el descenso del líquido manométrico (IRAM 1623)

### **IRAM 1612: Cemento Pórtland. Método de determinación de la consistencia normal.**

Se define como pasta de consistencia normal a aquella en la cual la sonda de Tetmajer penetra  $10 \pm 1$  mm a los 30 segundos de haber sido soltada. La figura 4 muestra las características del aparato de Vicat modificado, utilizado en este ensayo.



**Figura 4** - Aparato de Vicat modificado para determinar la consistencia normal (IRAM 1612)

Para prepararla se colocan en la mezcladora: agua, aproximadamente un 28% del peso del cemento, se incorporan 500 g de cemento y se mezcla según lo dispuesto en la norma. Se introduce la pasta en un molde troncocónico, con la base mayor sobre una superficie de vidrio por medio de una espátula. El molde tiene 80 y 65,5 mm de diámetro inferior y superior respectivamente, con una altura de 40 mm. Se alisa la superficie superior con una llana colocada verticalmente sobre el borde de la base menor del molde y se enrasa con movimiento de vaivén no comprimiendo la pasta.

Se coloca el conjunto debajo del aparato de Vicat modificado, haciendo que la sonda de Tetmajer haga contacto con la superficie de la pasta y se fija el vástago, leyendo la posición del índice sobre la escala. Se libera el vástago y a los 30 segundos de haber sido soltado, se toma la nueva lectura del índice. El vástago debe liberarse a los 30 segundos de finalizada la mezcla. Si la sonda penetra en más o en menos el valor  $10 \pm 1$  mm, deberá rechazarse la mezcla, corrigiendo la cantidad de agua hasta determinar el porcentaje de agua que cumpla con el valor de penetración establecido para lograr la pasta de consistencia normal.

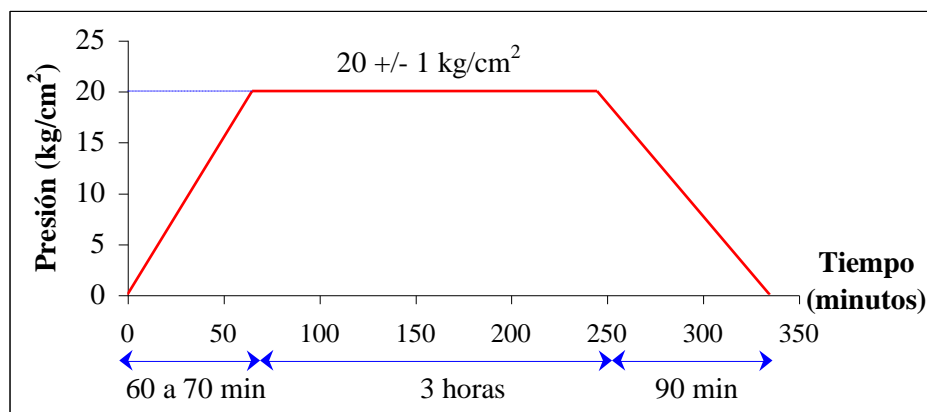
La pasta de consistencia normal se utiliza para efectuar los ensayos de tiempo de fraguado y constancia de volumen en autoclave.

### **IRAM 1620: Cemento Portland. Método de determinación de la constancia de volumen mediante el ensayo en autoclave.**

El objeto es verificar la constancia de volumen. Se debe a que la presencia de CaO y MgO libres, que pueden deberse a una defectuosa cocción del crudo o a una mala dosificación en el proceso de fabricación del cemento, producen expansiones a mediano y largo plazo. La variación de volumen del cemento Portland se determina mediante la medida de expansión que experimenta una probeta de cemento fraguado, sometida a la acción del vapor de agua saturado, a presión, en una autoclave.

La autoclave es una caldera de vapor de alta presión, provista de un regulador automático de presión y una válvula de seguridad. El agua que se coloca en su interior, debe ser la suficiente para conservar la atmósfera saturada de vapor durante todo el tiempo del ensayo y es en general del 7 al 10% del volumen de la autoclave. Tiene además un elemento calefactor que es el que permite elevar la temperatura y la presión.

Se preparan 3 probetas prismáticas de sección cuadrada de 25 x 25 x 254 mm (1 x 1 x 10"), de pasta de consistencia normal (IRAM 1.612) y luego de 24 horas se las ensaya.



**Figura 5 - Ciclo de presiones en el tiempo para el ensayo de expansión (IRAM 1620)**

Se mide la longitud inicial de la probeta (luego de 24 horas de confeccionada) con un comparador que tenga una precisión del 0,01%, que para la probeta de 250 mm es de 0,025 mm. Se la introduce en la autoclave y se la somete a un ciclo como el graficado en la figura 5.

Se saca la probeta de la autoclave y se la sumerge en agua a temperatura mayor de 90°C y se agrega agua fría hasta que la temperatura descienda a 20°C en un período de 15 a 20 minutos. Luego se la mantiene otros 15 a 20 minutos con agua a temperatura constante de 20°C. Se mide la longitud final. El valor de la expansión se calcula mediante:

$$e = \frac{\text{lectura final} - \text{lectura inicial}}{\text{lectura inicial}} \times 100$$

### **IRAM 1619: Cemento Portland. Método de determinación del tiempo de fraguado.**

Para efectuar este ensayo, debe utilizarse la pasta de consistencia normal.

- **Tiempo inicial de fraguado:** Es, en condiciones normalizadas de ensayo, el lapso transcurrido

desde que se agrega el agua al cemento hasta comenzar el fraguado de la pasta.

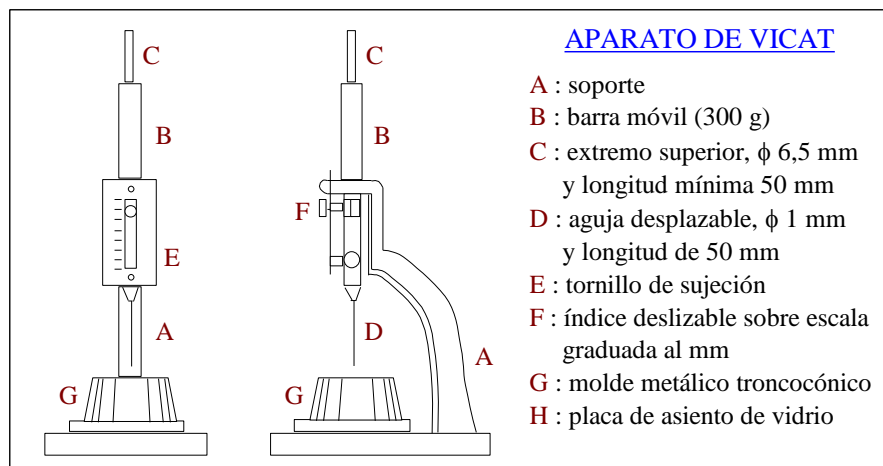
- **Tiempo final de fraguado:** Es el lapso transcurrido desde que se agrega el agua al cemento hasta que se completa el fraguado de la pasta.

El aparato utilizado para determinar los tiempos de fraguado definidos anteriormente, es el aparato de Vicat, es decir, el mismo que el utilizado para la determinación de la consistencia normal, pero el vástago lleva la aguja de Vicat de 1 mm de diámetro y no la sonda de Tetmajer. El aparato de Vicat se muestra en la figura 6.

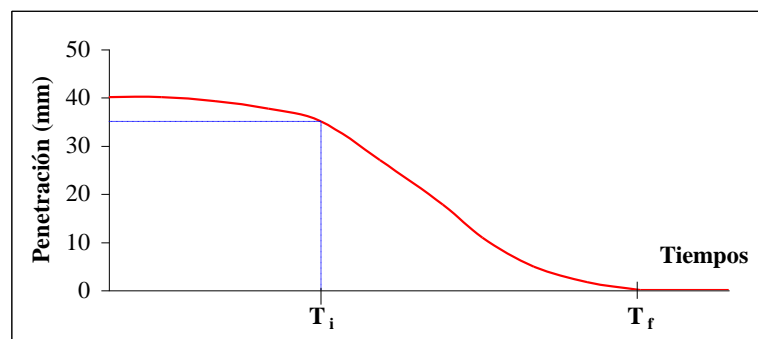
Durante las determinaciones, la temperatura debe mantenerse a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Se prepara la pasta de consistencia normal. Se aplica una capa de aceite mineral sobre la placa de vidrio y la superficie interna del molde (el mismo que el utilizado en la determinación de la pasta de consistencia normal). Se coloca el molde, apoyando la base mayor sobre la placa de vidrio. Se introduce la pasta en el molde por la base menor hasta llenarlo totalmente, quitando el sobrante con espátula, cuidando de no comprimir la pasta durante estas operaciones. Se coloca la probeta en cámara húmeda.

Para cada determinación, se coloca la probeta debajo de la aguja. Se hace descender ésta hasta que establezca contacto con la superficie de la pasta y se suelta el vástago. Se toma la lectura de la penetración a los 30 segundos de soltado el vástago, al mm. Se repite la operación cada 15 minutos y en puntos separados entre sí 6 y 9 mm del borde como mínimo.

Las primeras determinaciones pueden efectuarse haciendo descender la aguja de manera que penetre suavemente en la pasta, evitando que se acelere su movimiento y choque contra la placa de vidrio. Se considera finalizado el ensayo cuando la aguja no deje señales apreciables en ambas caras de la probeta.



**Figura 6** - Aparato de Vicat para determinar los tiempos de fraguado (IRAM 1619)



**Figura 7** - Gráfico penetración - tiempo para determinar los tiempos de fraguado

Se considera iniciado el fraguado, cuando 30 segundos después de soltar el vástago, la aguja queda retenida a 5 mm de la placa de vidrio. Se registra entonces, el tiempo transcurrido desde que se agregó agua al cemento y se expresa como **tiempo inicial de fraguado**. Como difícilmente la aguja quede a 5 mm del fondo en una determinación, se calcula por interpolación matemática o gráfica.

Se considera completado el fraguado cuando la aguja no produce impresión apreciable en la superficie de la probeta, realizando esta verificación en ambas bases de la probeta. Se registra entonces el tiempo transcurrido desde que se agregó el agua al cemento y se expresa como **tiempo de fraguado final**.

Debe realizarse un gráfico penetración - tiempo, como el de la figura 7, en el que se determinan gráficamente los tiempos inicial ( $T_i$ ) y final ( $T_f$ ) de fraguado.

### **IRAM 1622: Cemento Portland. Método de determinación de las resistencias a la flexión y a la compresión.**

#### **Resistencia a flexión:**

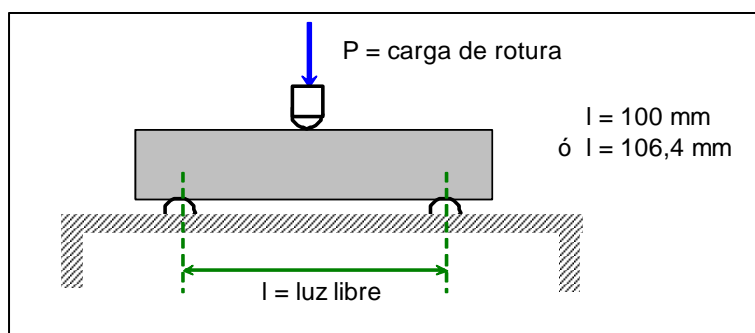
La verificación de la resistencia a la flexión del cemento, se realiza a través de probetas confeccionadas con mortero elaborado con el cemento en estudio y una arena normalizada, a los efectos de que los resultados obtenidos sean comparables para todos los cementos a ensayar. Esta arena, designada **arena normal**, debe cumplir con los requisitos granulométricos de tabla 1.

MATERIAL RETENIDO SOBRE EL TAMIZ	Retenidos acumulados (%)	Fracción de arena
IRAM 2 mm (N°10)	0	Fracción I
IRAM 1,7 mm (N°12)	5 +/- 5	
IRAM 1 mm (N°18)	33 +/- 5	
IRAM 500 $\mu\text{m}$ (N°18)	67 +/- 5	Fracción II
IRAM 149 $\mu\text{m}$ (N°35)	88 +/- 5	Fracción III
IRAM 88 $\mu\text{m}$ (N°170)	98 +/- 5	

**Tabla 1 - Requisitos granulométricos de la arena normal.**

El mortero para el ensayo debe estar constituido por: 1 parte de cemento, 3 partes de arena normal secada a estufa hasta peso constante y 1/2 parte de agua potable (relación agua/cemento = 0,5), medidas en peso. A este mortero se lo denomina **mortero normal**.

Para realizar el ensayo de flexión es necesario: una mezcladora de dos velocidades accionada eléctricamente; moldes de acero de tres compartimentos, que permiten preparar tres probetas prismáticas de 4 x 4 x 18 cm; dispositivo de compactación; dispositivo de flexión, que permite apoyar la probeta y ser ensayada bajo una carga vertical ubicada a mitad de la luz entre apoyos (figura 8); y una prensa para aplicar la carga P con una velocidad entre 150 y 200 kg/seg y que las mediciones tengan un error máximo de 1,5%.



**Figura 8 - Esquema del dispositivo de flexión (IRAM 1622)**

Se prepara el mortero y se moldea un juego de 3 probetas para cada edad de ensayo (2 ó 7 y 28 días). La elaboración del mortero se efectúa con la mezcladora, las probetas deben ser compactadas con el dispositivo mencionado. Para todo ello, existe una metodología y técnica normalizada.

El desmolde se efectúa entre 20 y 24 horas después de confeccionadas las probetas y se sumergen en agua saturada de cal a una temperatura de 20°C, hasta la edad de ensayo. A la edad de ensayo, se retiran las probetas del agua y se las ensaya con el dispositivo de flexión, cuidando cada vez, que estén perfectamente centradas y que la carga P sea vertical. Se aumenta progresivamente la carga y



se toma lectura a la correspondiente a la rotura.

La tensión de rotura se calcula, mediante la siguiente fórmula:

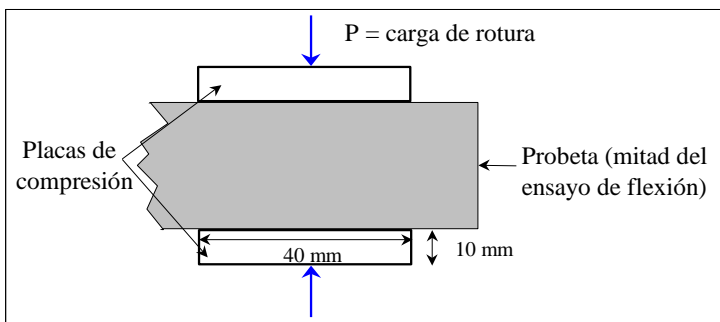
$$F = 0,234 \cdot P \quad \text{cuando } l = 100 \text{ mm}$$

$$F = 0,250 \cdot P \quad \text{cuando } l = 106,4 \text{ mm}$$

Estos coeficientes surgen de la aplicación de la ecuación de resistencia de materiales de  $F = M/W$ , con el momento flector  $M = P.l/4$  y con el módulo resistente  $W = bd^2/6$ . Ingresando la luz y las dimensiones de la sección en cm y la carga de rotura  $P$  en kg, se obtiene la tensión de rotura  $F$  en  $\text{kg/cm}^2$ . Se toma como resistencia a flexión la media de los 3 ensayos.

### Resistencia a compresión:

Los equipos necesarios son los mismos que para el ensayo de flexión, con el agregado del dispositivo para compresión, que consiste en dos planchuelas de 40 mm de ancho por 10 mm de espesor y soporte guía (figura 9). Se aclara que es esquemática la figura. Se aplica en la mitad de probeta a flexión, en una superficie de 40 x 40 mm una carga en la parte media de la probeta, ejerciendo un esfuerzo de compresión, con la rótula esférica correspondiente en el cabezal superior. La probeta "no apoya" en toda la superficie inferior, solo en una placa de 40 x 40 mm, al igual que en la parte superior.



**Figura 9 - Esquema del dispositivo de compresión (IRAM 1622)**

Después del ensayo de flexión, las dos mitades de cada probeta, se ensayan a compresión. Se indica el valor promedio de los 6 ensayos de compresión, que determinan a los 7 y 28 días, la resistencia a compresión.

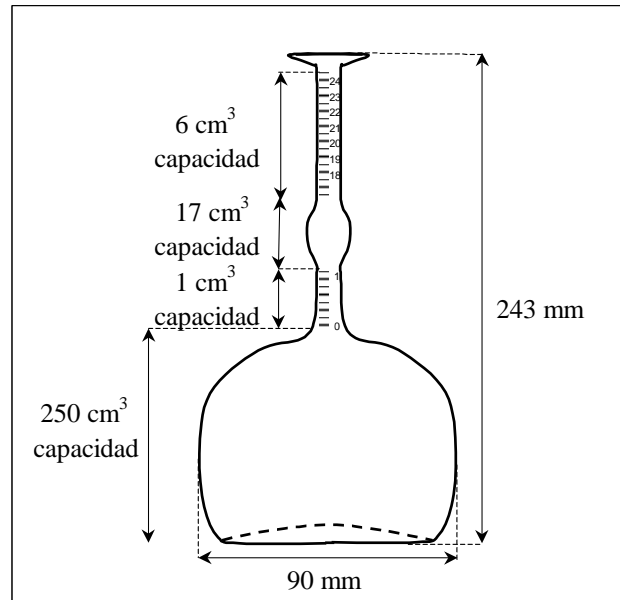
### **IRAM 1624: Cemento Portland. Determinación del peso específico.**

#### **Peso específico:**

El peso específico es el peso por unidad de volumen del cemento, sin vacíos. Para su determinación se utiliza el frasco de Le Chatelier (figura 10); colocando querosene o nafta (sin agua) hasta un nivel comprendido entre las marcas de 0 y 1  $\text{cm}^3$ . Se seca el interior del frasco sobre el nivel del líquido y se coloca el frasco en baño de agua de igual temperatura que la ambiente, en posición vertical y se mantiene sumergido hasta que las variaciones de temperatura del líquido en el frasco, no hagan variar la lectura del mismo.

Se retira el frasco del baño y se toman las lecturas hasta constancia de éstas,  $V_1$ , que se registra. Se pesan 64 g de cemento (al 0,01 g) m, que se introduce en pequeñas porciones en el frasco, a la misma temperatura del líquido, cuidando de que no se produzcan salpicaduras ni que se adhiera a las paredes interiores del frasco sobre el nivel del líquido. Se tapa el frasco y se lo hace girar en posición ligeramente inclinada en círculos, hasta que suban las burbujas de aire a la superficie del líquido. Se registra la lectura final  $V_2$ , luego de llevar la temperatura del conjunto (líquido + cemento + frasco) a la ambiente. Se determina el peso específico  $\gamma$  mediante la siguiente expresión:

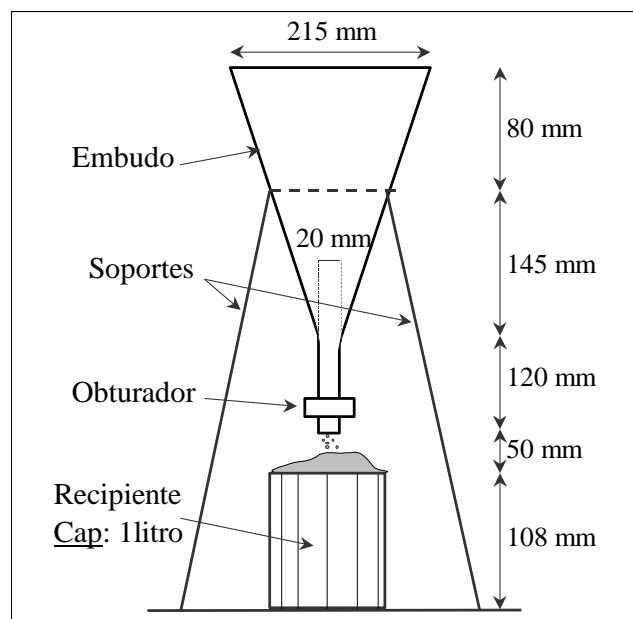
$$\gamma = \frac{m}{V} \quad \text{donde } V = (V_2 - V_1)$$



**Figura 10** - Frasco de Le Chatelier para la determinación del peso específico (IRAM 1624)

### Densidad aparente:

La densidad aparente es el peso por unidad de volumen de cemento, considerando el volumen de vacíos. La densidad disminuye con el aumento de la finura, disminuye con el tiempo, cuando el cemento se almacena al aire, y aumenta con el tamaño del recipiente (autocompactación).



**Figura 11** - Dispositivo para la determinación de la densidad relativa (IRAM 1624).

Existen dos tipos de densidades: *suelta* ( $0,8$  a  $1,4$   $\text{g/cm}^3$ ) y *compacta* ( $1,3$  a  $2,0$   $\text{g/cm}^3$ ). Estos límites extremos son muy diferentes, lo que señala el riesgo de adoptar la densidad para dosificar una mezcla en volumen. El dispositivo a utilizar para esta determinación se muestra en la figura 11. El recipiente inferior tiene un volumen de  $1$   $\text{dm}^3$ , mientras que la criba posee agujeros de  $2$   $\text{mm}$  de diámetro. La altura entre el obturador y el recipiente es de  $50$   $\text{mm}$  cuando el último está lleno, y de  $158$   $\text{mm}$  cuando las primeras partículas de cemento comienzan a caer (respecto del fondo).

Para determinar la **densidad suelta**: se depositan por vez entre  $300$  y  $400$   $\text{g}$  de cemento y se hace pasar con ayuda de una espátula. Se pone cemento hasta que la base del cono llegue a los bordes del recipiente, retirándose con una regla el excedente. Se pesa el contenido del recipiente  $P_s$ :

$$D_s = \frac{P_s}{1} \quad (\text{kg} / \text{dm}^3)$$

Para la **densidad compactada** se coloca un anillo en el borde del recipiente de unos 30 mm de altura y se sacude el recipiente con movimientos vaivén y caídas de pequeña altura, hasta constatar que no haya más aumento de peso. Se retira el anillo y el excedente de cemento, y se pesa  $P_c$ .

$$D_c = \frac{P_c}{1} \quad (\text{kg} / \text{dm}^3)$$

## V. ACTIVIDADES Y EJERCICIOS

- Clasificar según IRAM 50.000 los siguientes cementos y establecer en qué tipos de hormigones pueden ser empleados (simple, armado y/o pretensado)
  - Clinker Portland + Yeso = 70% - Puzolanas = 15% - Escoria de Alto Horno = 15%
  - Clinker Portland + Yeso = 70% - Filler calcáreo = 30%
  - Clinker Portland + Yeso = 85% - Cenizas Volantes = 15%
  - Clinker Portland + Yeso = 50% - Escoria de Alto Horno = 50%
  - Clinker Portland + Yeso = 65% - Puzolanas naturales = 35%
- Clasificar la categoría resistente del cemento CPE ensayado según IRAM 1622
  - Resultados de ensayo a flexión a 2 días: 1,9 - 1,8 - 1,8 MPa
  - Resultados de compresión 2 días: 18,1 - 17,9 - 14,2 - 18,5 - 16,7 - 17,0 MPa
  - Resultados de ensayo a flexión a 28 días: 6,9 - 7,5 - 7,0 MPa
  - Resultados de compresión 28 días: 54,1 - 52,9 - 50,9 - 49,2 - 50,9 - 48,0 MPa
- Una fábrica que produce CPN 40 brindó los siguientes resultados de ensayos químicos, físicos y mecánicos; indicar si el cemento en estudio cumple con la norma IRAM 50.000, verificando los parámetros que esta norma exige. Los resultados se muestran como mínimo / máximo de la serie de ensayos

ANÁLISIS QUÍMICOS	UNIDAD	DATOS DE FÁBRICA
Pérdida por calcinación	%	1,30
Residuo insoluble	%	0,50
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	%	1,80
Óxido de magnesio (MgO)	%	0,90
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	%	23,5
Óxido de calcio (CaO)	%	64,5
Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	2,9
Óxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	3,3
Óxido de sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0,31
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	%	0,53
Óxido de calcio libre (CaO libre)	%	< 0,50
Alcalis equivalente Na <sub>2</sub> O	%	< 0,80

ENSAYOS FÍSICOS	UNIDAD	DATOS DE FÁBRICA
Retenido tamiz 32 μm	%	16,00
Retenido tamiz 75 μm	%	1,20
Superficie específica	cm <sup>2</sup> /g	3350
Expansión en autoclave	%	0,050
Agua para pasta consistencia normal	%	26,00
Tiempo de fraguado Inicial	hs : min	mín. 2 : 00
Final	hs : min	máx. 4 : 50

Contracción por secado	%	< 0,09
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	3,12


ENSAYOS MECÁNICOS		UNIDAD	DATOS DE FÁBRICA
Resistencia a la flexión	7 días	MPa	6,5
	28 días		8,3
Resistencia a la compresión	2 días	MPa	14,5
	28 días		42,0

- Indicar si con los datos presentados anteriormente se puede inferir que el cemento CPN 40 tiene alguna propiedad especial según IRAM 50.001 y si se puede descartar alguna propiedad especial, que según estos resultados no puede poseer. Recordar que para determinar algunas de sus propiedades hay que determinar la composición potencial con la ayuda de las fórmulas de Bogue ( $\%C_4AF = 3,04Fe_2O_3$  ;  $\%C_3A = 2,65 Al_2O_3 - 1,69 Fe_2O_3$  ;  $\%C_3S = 4,07 CaO - 7,60 SiO_2 - 1,43 Fe_2O_3 - 6,72 Al_2O_3$  ;  $\%C_2S = 2,86 SiO_2 - 0,75 C_3S$ )
- ¿Qué datos o ensayos adicionales pediría como consumidor para que el cemento pueda cumplir con alguna otra propiedad especial según IRAM 50.001?
- Se realizan las siguientes determinaciones para obtener los tiempos inicial y final de fragüe según IRAM 1619 sobre pasta de consistencia normal (IRAM 1.612). Trazar una curva Penetración de la aguja de Vicat vs. Tiempo y determinar los tiempos inicial y final de fragüe del cemento en estudio y verificar que cumpla con IRAM 50.000. Indicar los resultados con resolución de 10 minutos

Penetración (mm) a los 30 segundos	Tiempo de la medición (horas : minutos)
40	0 : 15
40	0 : 32
40	0 : 44
39	1 : 00
39	1 : 16
37	1 : 31
36	1 : 48
36	2 : 01
34	2 : 15
31	2 : 30
27	2 : 46
28	2 : 59

Penetración (mm) a los 30 segundos	Tiempo de la medición (horas : minutos)
22	3 : 15
19	3 : 34
15	3 : 46
11	4 : 01
8	4 : 15
7	4 : 31
5	4 : 57
3	5 : 01
1	5 : 17
1	5 : 30
0	5 : 45
0	6 : 05

- Adjuntar Normas IRAM 50.000 e IRAM 50.001 provistas en su versión vigente.
- Adjuntar fotografías de los instrumentos de ensayo mostrados durante la clase práctica.
- Para finalizar, se adjuntan 4 protocolos de calidad de las 4 empresas productoras de cemento. Identificar tipo de cemento, categoría resistente, adición predominante y propiedades especiales si están indicadas en el protocolo.

	Administración y Ventas: Defensa 113 - 6° Piso Ciudad Autónoma de Buenos Aires T.E.: (011) 4339-1209 - FAX: (011) 4339-1215 Atención al Cliente: 0800-333-2363	<b>INFORME DEL AREA DE ASISTENCIA TECNICA</b>
---	---	---

Buenos Aires, 11/05/15

Sr. Cliente

Presente

Referencia: **Informe de nuestro cemento pórtland con filler calcáreo CPF40 Avellaneda, norma IRAM 50000, a granel**


De mi mayor consideración:

Tengo el agrado de dirigirme a UD. a efectos de hacerle llegar un resumen de los resultados de los ensayos de caracterización de nuestro CEMENTO PORTLAND CON FILLER CALCAREO AVELLANEDA (GRANEL), CPF40 IRAM 50000, procedente de planta Olavarría, correspondientes al período 02/03/15 al 08/05/15.

Fecha	R200	Blaine	AUT	FIN	FFI	C1	C28	PPC	MG	SO3	RI
02/03/15	3,0	355				13,4	51,7	8,1			
03/03/15	1,2	353				13,0	52,2	7,8	0,7	2,5	
04/03/15	1,6	365				12,6	51,7	8,7			
05/03/15	1,0	355				13,0	51,9	7,9	0,7	2,4	
06/03/15	1,0	387				13,1	54,0	9,3			
07/03/15	1,8	376	-0,01	145	200		53,1	8,4	0,7	2,5	1,8
09/03/15	3,0	349				13,3	52,8	8,3			
10/03/15	1,2	387				12,0	50,4	9,0	0,7	2,7	
11/03/15	1,4	370				13,9	52,6	8,6			
12/03/15	1,1	380				14,9	52,2	8,4	0,7	2,7	
13/03/15	1,0	355				14,7	51,7	7,6			
14/03/15	0,5	385	-0,02	150	195		51,3	9,0	0,7	2,6	1,9
16/03/15	0,7	382				13,9	51,2	8,4			
17/03/15	2,0	357				12,8	50,0	8,4	0,7	2,6	
18/03/15	1,1	353				14,1	51,9	7,0			
19/03/15	1,4	342				12,9	51,9	8,5	0,8	2,5	
20/03/15	1,8	332				13,3	52,0	7,5			
21/03/15	1,3	361	-0,01	130	200		52,1	7,9	0,7	2,5	1,8
25/03/15	1,1	365				12,5	51,8	9,0			
26/03/15	1,3	361				12,9	50,8	8,6	0,7	2,5	
27/03/15	1,1	370				13,1	52,4	7,7			
28/03/15	1,0	374	0,02	155	190		51,6	8,2	0,7	2,6	1,8
30/03/15	1,3	378				13,7	50,6	8,1			
31/03/15	0,9	380				12,6	52,3	8,4	0,8	2,5	
01/04/15	1,1	367				13,7	52,5	8,6			
04/04/15	1,7	361	0,01	165	195		52,4	6,9	0,8	2,6	2,0
06/04/15	1,2	370				13,3	53,1	7,5			
07/04/15	1,4	361				14,1	52,0	7,5	0,8	2,6	
08/04/15	1,1	363				14,7	51,9	7,6			
09/04/15	0,7	367				14,7	52,0	7,6	0,8	2,5	
10/04/15	5,8	342				14,6	51,0	6,9			
11/04/15	1,2	359	0,03	160	185			8,9	0,8	2,5	1,6

Página 1 de 2

**Cuadro 2.1 (1/2) – Protocolo del cemento CPF 40 de Avellaneda – Planta Olavarría**

	Administración y Ventas: Defensa 113 - 6° Piso Ciudad Autónoma de Buenos Aires T.E.: (011) 4339-1209 - FAX: (011) 4339-1215 Atención al Cliente: 0800-333-2363	<b>INFORME DEL AREA DE ASISTENCIA TECNICA</b>
---	---	---

13/04/15	0,7	374				14,3		9,0			
14/04/15	1,0	374				13,0		6,7	0,8	2,6	
15/04/15	1,1	359				14,5		7,8			
16/04/15	2,4	384				14,1		7,9	0,8	2,6	
17/04/15	8,9	316				14,2		6,7			
18/04/15	1,4	384	0,01	160	200			8,9	0,9	2,6	1,7
20/04/15	2,0	386						8,0			
21/04/15	1,4	376				14,5		7,3	0,8	2,6	
22/04/15	0,7	380				15,2		7,6			
23/04/15	1,3	353				14,4		7,4	0,7	2,5	
24/04/15	4,3	368				15,1		7,0			
25/04/15	3,0	374	-0,02	135	190			7,7	0,8	2,6	1,9
27/04/15	1,3	393				14,3		9,0			
28/04/15	1,2	365				13,3		9,0	0,7	2,5	
29/04/15	2,1	376				15,0		8,1			
30/04/15	1,1	376				14,3		9,0	0,8	2,6	
02/05/15	2,1	395	0,00	145	190			8,1	0,8	2,7	1,7
04/05/15	1,6	384				12,6		8,5			
05/05/15	2,2	370				12,0		8,6	0,7	2,6	
06/05/15	1,5	365				12,0		8,7			
07/05/15	3,3	382				13,7		7,4	0,8	2,7	
08/05/15	5,2	372				14,5		7,4			

R200: Residuo sobre tamiz 75  $\mu\text{m}$  (%); Blaine: Superficie específica por permeametría Blaine ( $\text{m}^2/\text{kg}$ ); AUT: Expansión en autoclave (%); SO3: Óxido de azufre (%); PPC: Pérdida por calcinación (%); MG: Óxido de magnesio (%); RI: Residuo insoluble (%); FIN y FFI: Tiempos de fraguado inicial y final (minutos); C1 y C28: Resistencia a 1 y 28 días (MPa).


NOTA: El presente protocolo constituye una certificación de cumplimiento de la norma IRAM 50000 correspondiente al cemento CPF40. Los resultados de resistencia a compresión del cemento, que se informan en el protocolo adjunto, son obtenidos a partir del ensayo IRAM 1622, empleando para ello arena normalizada (DIN EN 196-1), de procedencia Alemana, agregado que también es utilizado por el Organismo de Certificación del INTI-Construcciones para el control del producto y la entrega de la licencia de uso de los certificados de conformidad.

Sin más, quedando desde ya a vuestra entera disposición, lo saludo atte.

Mg. Ing. Carlos Milanesi  
Jefe Departamento Técnico

 Loma Negra CIASA Fábrica L'Amali	<b>PROTOCOLO DE ENSAYOS</b>	FECHA
		29/01/2016

**1049 - CPN40 TAR GRANEL PAVIMENTO  
CPN40TAR - IRAM 50.000**

ANÁLISIS QUÍMICO				
SEMANA		19/01/2016 al 24/01/2016		
CARACTERÍSTICA	UM	RESULTADO	Requisito IRAM	
Oxido de Magnesio	%PP	0,74	< 6	
Oxido de Sodio	%PP	0,11	NO HAY	
Oxido de Potasio	%PP	1,10	NO HAY	
Oxido de Azufre	%PP	2,38	< 3,5	
Pérdida por Calcinación <IRAM 1504>	%PP	2,23	< 5	
Oxido de Aluminio	%PP	4,04	NO HAY	
Oxido de Hierro	%PP	3,99	NO HAY	
Oxido de Calcio	%PP	62,55	NO HAY	
Oxido de Silicio	%PP	21,02	NO HAY	
ENSAYOS FÍSICOS				
SEMANA		18/01/2016 al 24/01/2016		
CARACTERÍSTICA	UM	RESULTADO	Requisito IRAM	
Blaine < IRAM 1623 >	M2K	343,00	> 250	
Retenido Seco 75 micras	%	2,42	< 15	
ENSAYOS MECÁNICOS				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
SEMANA	DIAS	UM	RESULTADO	Requisito IRAM
18/01/2016 al 24/01/2016	2	MPA	24,60	> 10
11/01/2016 al 17/01/2016	7	MPA	43,73	NO HAY
21/12/2015 al 27/12/2015	28	MPA	51,37	> 40 Y < 60
<p>Los Resultados de los ensayos mostrados en esta planilla corresponden al promedio aritmético de los resultados parciales obtenidos sobre muestras de conjuntos diarios del cemento despachado la semana que se indica en cada caso.</p>				
Observaciones:				
<p>La determinacion de Tiempos de Fraguado se estan realizando de acuerdo a las Normas Iram 1612 : 2006 y 1619 : 2006</p>			 <p>Ariel Mahon Coordinador de Laboratorio Planta L'Amali</p>	
<p>** Los Ensayos de Resistencia son realizados con Arena de Origen Aleman DIN EN 196-1 La misma arena es utilizada por el ente de control INTI - CECON</p>				

**Cuadro 2.2 – Protocolo cemento – Planta L'Amali (Buenos Aires)**

Centro Tecnológico  
Coordinador de Laboratorio



Holcim (Argentina) S.A. Teléfono +5493515227164  
Casilla de Correo 16 X5101ACE Fax  
Malagueño - Córdoba

## Protocolo de ensayos físicos, químicos y mecánicos

Producto: Cemento Portland Puzolánico CPP40 – IRAM 50.000
Despacho: Granel
Origen: Planta Capdeville
Autor: <b>Matias Serricchio</b> matias.serricchio@holcim.com
Fecha de reporte: 10 de febrero de 2016
Período de análisis: 28 de diciembre de 2015 al 2 de febrero de 2016

Análisis químicos	Unidad	Valor medio	Requisitos IRAM 50000
Perdida por calcinación (IRAM 1504)	%	3,02	≤ 14,5
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ) (IRAM 1504)	%	2,22	≤ 3,50
Óxido de magnesio (MgO) (IRAM 1504)	%	0,86	≤ 6,00
Coefficiente puzolánico (IRAM 1651-2)	-	1,03	≤ 1,00
Residuo insoluble (IRAM 1504)	%	16,94	≤ 50,00

Ensayos físicos	Unidad	Valor medio	Requisitos IRAM 50000
Retenido tamiz 75μ (IRAM 1621)	%	1,48	≤ 15,00
Superficie específica Blaine (IRAM 1623)	m <sup>2</sup> /kg	374	≥ 250
Tiempo de fraguado inicial (IRAM 1619)	minutos	170	≥ 60
Expansión en autoclave (IRAM 1620)	%	0,01	≤ 0,80
Contracción por secado 28 días (IRAM 1651-2)	%	0,01	≤ 0,15
Requerimiento de agua (IRAM 1651-2)	%	28,32	≤ 64,0

Quedan reservados todos los derechos de reproducción de este documento y apéndices a Holcim (Argentina) S.A.

1/2

### Cuadro 2.3 (1/2) – Protocolo cemento HOLCIM – Planta Mendoza



Centro Tecnológico  
Coordinador de Laboratorio



Holcim (Argentina) S.A. Teléfono +5493515227164  
Casilla de Correo 16 X5101ACE Fax  
Malagueño - Córdoba

Ensayos mecánicos		Unidad	Valor medio	Coefficiente de variación (%)	Requisitos IRAM 50000
Resistencia a la compresión (IRAM 1622)	2días	MPa	20,7	8,9	≥ 10
	28días	MPa	46,8	5,4	≥ 40 y ≤ 60

Ensayos adicionales

Ensayos especiales		Unidad	Valor medio	Requisitos IRAM 50001
Resistencia a los sulfatos (en Clinker)	(IRAM 1504)			
	C <sub>3</sub> A	%	2,80	≤ 4,00
	C <sub>3</sub> A+FAC <sub>4</sub>	%	18,20	≤ 22,00

1. La información suministrada en el presente documento corresponde al promedio de los resultados de ensayos del cemento despachado en el período indicado.
2. La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al promedio de ensayos del período anterior.

Planta Capdeville tiene certificado por BVC su Sistema de Gestión de la Calidad bajo ISO 9001: 2008.

Tec. Const. Serricchio Matías  
Coordinador de Laboratorio  
Holcim (Argentina), Planta Malagueño

2/2

**Cuadro 2.3 (2/2) – Protocolo cemento CPP 40 (ARS) Cemento HOLCIM – Planta Mendoza**



Informe Mensual de Ensayos Físicos de Cementos  
dic-15



EMPRESA: PETROQUIMICA  
FABRICA: COMODORO RIVADAVIA  
PAIS ó PROVINCIA: CHUBUT

**Puzolanico Prod.**

Día	Flexión 2 Dias MPa	Compresión 2 Dias MPa	Flexión 7 Dia MPa	Compresión 7 Dia MPa	Flexión 28 Dias MPa	Compresión 28 Dias MPa	Fraguado Inicial Minutos	Fraguado Final Minutos	SEB gr/cm <sup>2</sup>	#15µ Retenido %	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	Agua Normal %	SO <sub>3</sub>	PPC	R.I	MgO
03-dic	5,2	23,1	7,2	38,5	8,3	47,7	225	345	4520	3,6	2,96	32,8	2,42	3,2	13,88	3,02
06-dic	4,3	20,9	6,9	36,4	7,9	46,6	220	345	4450	4,2	2,96	32,7	2,42	3,59	13,32	3,11
14-dic	4,6	21,6	7,0	37,2	8,2	46,0	220	345	4460	4,4	2,96	32,7	2,47	3,72	13,43	2,93
20-dic	4,6	20,2	6,7	37,2	8,1	46,3	210	330	4470	4,6	2,96	32,7	2,44	2,90	12,45	2,99
28-dic	4,8	21,3	7,0	36,0	8,2	48,1	220	345	4440	4,8	2,96	32,6	2,40	3,16	12,60	2,89

Alberto Saiz  
Gte. Control de Calidad PCR SA

Clinker 30 Enero 2016



HORA	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> S	C <sub>4</sub> AF	C <sub>4</sub> AF+C <sub>3</sub> A
09:00	63,33	21,55	2,73	3,81	5,20	0,40	0,41	0,35	1,3	16	60	16	17
11:00	62,94	21,11	2,75	3,89	4,98	0,79	0,50	0,83	1,9	15	60	15	17
13:00	63,50	21,53	2,67	3,87	5,20	0,36	0,37	0,29	1,5	16	61	16	17
15:00	63,07	21,98	2,65	3,81	5,05	0,44	0,39	0,40	1,6	21	56	21	17
17:00	62,97	21,60	2,71	3,85	5,06	0,58	0,46	0,56	1,6	19	57	15	17
19:00	62,99	21,31	2,87	3,93	4,94	0,67	0,44	0,63	2,1	16	59	15	17
21:00	63,00	22,17	2,66	3,71	4,97	0,47	0,42	0,38	1,4	22	55	22	17
23:00	62,99	21,86	2,65	3,71	4,90	0,61	0,46	0,61	1,5	20	57	15	16
01:00	62,92	21,44	2,95	3,95	5,01	0,54	0,46	0,53	2,0	18	58	15	17
03:00	62,93	21,82	2,85	4,93	4,93	0,48	0,43	0,39	2,1	21	56	15	17
05:00	62,64	21,80	2,91	3,91	4,88	0,61	0,46	0,60	2,1	21	54	15	17
07:00	62,87	21,45	2,92	3,96	4,99	0,56	0,45	0,55	2,1	18	58	15	17
Media Aritmética	63,01	21,64	2,78	3,86	5,01	0,54	0,44	0,51	1,8	19	58	15,2	17

IRAM 50001									< 4				< 22
------------	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	------

Alberto Saiz  
Gte. Control de Calidad PCR SA

Cuadro 2.4 – Protocolo de Cementos PCR – Planta Comodoro