

Ensayos paso a paso: Muestreo y contenido de humedad de agregados

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

En este número de *Hormigonar* comenzaremos con la Serie "Ensayos paso a paso", en la cual se explicará, con procedimientos completos y sencillos, la forma de realizar los diferentes ensayos de acuerdo con las normas de ensayo vigentes. Los primeros ensayos que se describirán serán los correspondientes a agregados para hormigones, ya que es la materia prima más crítica e influyente en la calidad de los hormigones. Además, como pocas veces poseen algún control previo, en las plantas de hormigón es de vital importancia caracterizar los agregados finos y gruesos para que sus propiedades incidan positivamente en las dosificaciones propuestas, que en función de los resultados de ensayos de arena o agregado grueso podrán sufrir ajustes o modificaciones. Con excepción del muestreo de agregados, todas las fichas de ensayos de agregados se irán estudiando según el siguiente orden:

1. Elementos necesarios para los ensayos: indicando tipo de instrumental con resolución y capacidad, necesidad o no de calibración, accesorios y cualquier elemento que se requiera según normas.
2. Preparación de la muestra: los diferentes procesos necesarios para contar con una muestra representativa y apta para el ensayo en estudio.

3. Procedimiento del ensayo: indicación paso a paso, acompañado por fotografías propias de cómo se realiza todo el ensayo.
4. Cálculos: expresiones, unidades y determinaciones para el informe de resultados.

Los ensayos de agregados que se describirán en esta serie de artículos son los más corrientes a realizar periódicamente en plantas hormigoneras:

- Muestreo de agregados y contenido de humedad (en el presente número de *Hormigonar*).
- Densidades y absorción de agregados finos y gruesos.
- Peso unitario y contenidos de finos pasa tamiz # 200.
- Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.
- Índices de forma y resistencia al desgaste de agregados gruesos.

Consideramos que brindará una herramienta muy útil para los laboratoristas y responsables de control de calidad, como así también medios para la capacitación continua del personal y su evaluación, indispensable cuando se implementa un sistema de gestión de calidad en plantas hormigoneras. « »

Muestreo de agregados Según Norma IRAM 1509

1- Elementos necesarios para el ensayo

- 1 Palas de acuerdo con el tipo de agregado a muestrear
- 2 Bolsas de arpillera u otro material resistente de 50 kg de capacidad aproximadamente
- 3 Para el cuarteo manual: lona de 2,5 x 2,5 m; o superficie metálica lisa de apoyo, escoba o cepillo
- 4 Para la partición mecánica: partididor de Jones de dimensiones adecuadas y bandejas metálicas
- 5 Bolsas pequeñas que impidan la pérdida de humedad y puedan ser fácilmente identificadas
- 6 Etiquetas autoadhesivas, precintos u otro método para la fácil identificación de las muestras

2- Procedimiento para el muestreo de pilas de agregados de acopios

- 1 El procedimiento de muestreo debe asegurar que la muestra sea realmente representativa del acopio
- 2 Debe identificarse la ubicación del acopio y nombre corriente de la fracción de agregado a muestrear
- 3 Las muestras de diferentes acopios o visualmente dispares en color o textura no deben ser mezcladas
- 4 El procedimiento es aplicable a depósitos comerciales, acopios de obra y plantas de hormigón
- 5 Muestreo del agregado grueso:
 - 5.1 Se recomienda por algún medio mecánico (ej: cargadora frontal) formar una nueva pequeña pila
 - 5.2 Se compondrá al menos de agregados del tercio superior, la parte media y tercio inferior de la pila
 - 5.3 Al menos deben extraerse de 5 lugares diferentes, evitando siempre la segregación de las partículas
 - 5.4 Deben quitarse las partículas superficiales (capa de 4 piedras) y no formarán parte de la muestra
 - 5.5 Si se realizan ensayos físicos o químicos, el peso mínimo de la muestra será de 100 kg
 - 5.6 Para estudio de dosificación de hormigones, al menos se deberán extraer 200 kg de cada fracción
 - 5.7 Si sólo se desea realizar un análisis granulométrico de rutina, con una muestra de 20 kg basta
- 6 Muestreo del agregado fino:
 - 6.1 Siempre que sea posible, las muestras de agregado fino deben ser tomadas en estado húmedo
 - 6.2 Al menos deben extraerse de 5 lugares diferentes, evitando siempre la segregación de las partículas
 - 6.3 Las muestras deberán ser extraídas quitando al menos los 30 cm superficiales del acopio de arena
 - 6.4 Si se realizan ensayos físicos o químicos, el peso mínimo de la muestra será de 50 kg
 - 6.5 Para estudio de dosificación de hormigones, al menos se deberán extraer 200 kg de cada fracción

6.6 Si sólo se desea realizar un análisis granulométrico de rutina, con una muestra de 6 kg basta

3- Obtención de la muestra de ensayo

- 7 Los ensayos se realizan sobre pequeñas cantidades, por lo que las muestras deben reducirse
- 8 La obtención de la muestra puede realizarse por un procedimiento mecánico u otro manual
- 9 Partidor mecánico para agregado fino y agregado grueso:
 - 9.1 Se coloca la muestra sobre la parte superior del partididor y éste la divide en dos partes
 - 9.2 Se repite la operación con la cantidad de agregado de una de las bandejas metálicas
 - 9.3 El agregado de la otra bandeja puede desecharse o guardarse para otros ensayos
 - 9.4 Se repiten las operaciones hasta llegar a la cantidad de muestra necesaria para diferentes ensayos
- 10 Cuarteo manual de agregados gruesos:
 - 10.1 Se coloca la muestra sobre una superficie lisa y limpia que impida la pérdida de material
 - 10.2 Con el total del material, se forma una pila cónica dejando caer los áridos en su parte central
 - 10.3 Se repite la operación anterior 3 veces y la pila se aplan con el reverso de la pala
 - 10.4 Con la ayuda de la pala, se divide y se parte en 4 la pila de agregado ya aplanada
 - 10.5 Se eliminan dos cuartos opuestos con ayuda de la escoba, desechándolos
 - 10.6 El material de los cuartos sobre la superficie se remezcla y se procede como se describió
 - 10.7 Se repite el proceder hasta lograr un tamaño de la muestra adecuado para el ensayo a realizar
- 11 Cuarteo manual de agregados finos:
 - 11.1 El agregado fino debe cuartearse en estado húmedo
 - 11.2 El procedimiento es el mismo que el descrito arriba, sólo que puede realizarse sobre una mesa
 - 11.3 Los cuartos opuestos se desechan y es necesario un cepillo para eliminar las partículas menores

4- Identificación de la muestra

- 12 Cada muestra será convenientemente identificada mediante un rótulo o tarjeta adherida a la bolsa:
 - 12.1 Designación del material, yacimiento, cantera o identificación del acopio
 - 12.2 Masa de la muestra y cantidad de material aproximada que representa
 - 12.3 Fecha del muestreo, responsable y cualquier otro dato que se crea relevante



Homogeneización previa del acopio



Muestra compuesta de diferentes sectores



Cuarteo manual



Desechado de cuartos opuestos



Partidor de Jones para arena



Partidor en campaña para agregados gruesos



Pesaje aproximado de la muestra



Rotulado y embalaje



Determinación del contenido de humedad de agregados Según Normas ASTM C566 y ASTM D4643

1- Elementos necesarios para el ensayo

1 Para ensayos de rutina de autocontrol de planta hormigonera:

1.1 Balanza con resolución de 1 g y capacidad acorde al tamaño de la muestra (6 kg suele ser suficiente)

1.2 Si sólo se posee balanza de resolución de 5 g, las muestras mínimas recomendadas serán de 5 kg

1.3 Anafe (eléctrico o a gas) u horno microondas con ventilación (700 W aproximadamente) con función "Descongelar"

2 Para ensayos específicos y cuando se requiera mayor precisión de resultados:

2.1 Balanza con resolución de 0,1 g para agregados finos y de 0,5 g para agregados gruesos

2.2 Estufa u horno de secado con ventilación que pueda regularse a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$

3 Bandejas metálicas para el anafe y horno y recipientes plásticos con tapa y ventilación para el microondas

3.1 El ancho y largo del recipiente será como mínimo 1/5 de la profundidad de la muestra

4 Cucharas, palitas y agitador o espátula

5 Es muy útil establecer los tiempos de secado mediante experiencias propias, presentando sólo ejemplos

2- Preparación de la muestra

1 Se toma la muestra y se la reduce, como se establece en la Norma IRAM 1509, a las siguientes cantidades:

1.1 Recomendable para agregados gruesos: 2 kg TM 1/2", 3 kg TM 3/4", 4 kg 1", 6 kg 1 1/2" y 8 kg TM 2"

1.2 Recomendable para agregados finos 1kg (muestra de 5 kg si la balanza tiene resolución de 5 g)

2 Rápidamente y sin ser expuesta al ambiente más de un minuto, debe realizarse la pesada inicial

2.1 Muestras con estadías superiores a 5 minutos en laboratorio deberán guardarse en bolsas herméticas

3- Procedimientos de ensayo

3 Se pesa la bandeja o recipiente (si es con tapa, incluida la tapa) y se anota la tara (Tara)

4 Se incorpora la muestra hasta tener cantidades próximas a las indicadas anteriormente

5 Se espera hasta que se establezca la lectura y se registra la masa húmeda ($m_h = \text{Tara} + \text{material húmedo}$)

6 Secado a estufa para ensayos específicos y que requieren mayor precisión:

6.1 Se prende el horno y se constata (termómetro de horno o infrarrojo) la temperatura de 105 a 115°C

6.2 Se coloca la muestra, bien acondicionada y con altura uniforme, en una bandeja metálica

6.3 Masa constante se alcanza cuando no hay pérdida de masa mayor al 0,1% entre dos pesadas

6.4 Para contenidos de humedad del 5 al 10% para arenas, el tiempo mínimo es de 5 horas

6.5 Para contenidos de humedad inferiores al 5%, el tiempo mínimo recomendado es de 3 horas

7 Secado a anafe a gas o eléctrico para ensayos de rutina:

7.1 Se coloca la muestra, bien acondicionada y con altura uniforme en una bandeja metálica

7.2 Se va revolviendo cada 5 minutos la muestra con espátula metálica cuidando de no perder material

7.3 Con una placa de vidrio, puede apreciarse si sigue desprendiendo humedad si se empaña

7.4 Para contenidos de humedad del 5 al 10% para arenas, el tiempo mínimo recomendado es de 30 minutos

7.5 Para contenidos de humedad inferiores al 5%, el tiempo mínimo recomendado es de 20 minutos

7.6 Para humedades elevadas, debe cuidarse que no se pierda material por "estallidos" del agregado

8 Secado rápido por método de microondas para ensayos de rutina:

8.1 La Norma ASTM recomienda masas de muestras de la mitad que las especificadas anteriormente

8.2 Se recomienda recipiente plástico (*tupper*), apto para microondas con tapa plástica que tenga ventilación

8.3 Se acondiciona la muestra y se coloca 3 minutos con la función "Descongelar" del microondas

8.4 Se retira del microondas, se quita la tapa, se homogeneiza con espátula y se vuelve a colocar la tapa

8.5 Se coloca 1 minuto adicional con la función "Descongelar" del microondas

8.6 Repetir el remezclado y secado de un minuto hasta lograr masa constante

9 Las partículas de 50 mm o mayores requieren tiempos generalmente más prolongados

10 Se retira de la fuente de secado y se asegura que la superficie no esté caliente al apoyar en la balanza

10.1 Como alternativa, se puede apoyar otro elemento que aisle sobre la balanza y aplicar la función Tara

11 Se pesa, se esperan unos segundos y se registra la masa seca ($m = \text{Tara} + \text{material seco}$)

4- Cálculos

12 Humedad total del agregado (%) $H\% = \frac{m_h - m}{m - \text{Tara}} \times 100$ Redondear al 0,1% más próximo



↗ Balanza de precisión 0,1 g con tara de bandeja



↗ Toma de muestras en acopio (descartando capa superior)



↗ Ejemplo para homogeneización en el acopio



↗ Balanza común de 1g para el peso húmedo de arenas



↗ Secado convencional en anafe



↗ Secado en horno con temperatura controlada



↗ Secado con horno microondas (función "Descongelar")



↗ Peso seco en balanza para agregados gruesos de 5 g

Ensayos paso a paso: densidades y absorción de agregados

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones

www.cdormigones.com.ar

La determinación de las densidades y absorciones es sumamente útil, ya que ambos son parámetros empleados en la dosificación de hormigones y estimación de la relación agua/cemento. Las densidades de los agregados deben determinarse:

- Cuando se trabaja con agregados de una nueva cantera.
- Cuando se plantean nuevas dosificaciones en una planta hormigonera.
- Cuando existan dudas en general respecto de la calidad de los agregados, para descartarlo o no como causa de potenciales conflictos.
- Cada 6 meses como máximo, como parámetro de control.

Si bien las determinaciones de las densidades relativas del agregado fino y agregado grueso se basan en el principio de Arquímedes, sus

metodologías son bastante disímiles, tanto en el procedimiento como en el instrumental requerido. Los equipos e instrumentos no son onerosos y en general se disponen en los laboratorios de autocontrol de plantas. Básicamente consiste en establecer el volumen de los agregados, por diferencia de pesadas, determinando el empuje del volumen del líquido desalojado. Además, deben llevarse los agregados a la condición SSS (saturada y superficie seca) para determinar cuánta agua pueden absorber los agregados.

Las Normas IRAM 1520 y 1533 son las que establecen los procedimientos para determinar las densidades y absorción del agregado fino y agregado grueso respectivamente, ensayos que se realizan de forma independiente. Ambas Normas establecen expresiones de densidades relativas, es decir, sin unidades y referidas a la densidad del agua a una temperatura determinada (en general, próxima a 20 °C). Una densidad relativa de 2,65 indica que es 2,65 veces más pesada que el agua a cierta temperatura, no consignando unidades. Sólo como referencia, los valores de densidades relativas reales para agregados convencionales en nuestro país oscilan entre 2,55 y 2,80, mientras que para ciertos agregados basálticos puede subir hasta 2,95. « »

Determinación de la densidad y absorción del agregado fino Según Norma IRAM 1520

1- Elementos necesarios para el ensayo

- 1 Balanza con una capacidad de 2 kg y precisión de 0,1 g.
- 2 Molde troncocónico metálico de 40 mm de diámetro superior, 90 mm de diámetro inferior y 75 mm de altura.
- 3 Varilla metálica de 340 g con una superficie de compactación de 25 mm de diámetro.
- 4 Estufa regulada a una temperatura de 105 ± 5 °C (110 ± 5 °C según normas ASTM).
- 5 Bandejas metálicas y espátulas de acero inoxidable.
- 6 Ventilador o secador de cabello que proporcione una corriente de aire a velocidad moderada.
- 7 Baño termostático de 20 ± 2 °C y termómetro de resolución 0,5 °C.
- 8 Para el método gravimétrico, un matraz aforado de 500 cm³.
- 9 Para el método volumétrico, un frasco de Le Chatelier o un frasco de Chapman.

2- Preparación de la muestra

- 1 Se tamiza en seco la muestra de agregado por el tamiz #4.
 - 1.1 Si el retenido en el tamiz #4 es superior al 10%, la fracción gruesa es ensayada según IRAM 1533.
 - 1.2 La fracción pasante tamiz #4 en este caso es la ensayada según el presente ensayo.
 - 1.3 Si el retenido en el tamiz #4 es inferior al 10%, se ensaya toda la fracción de agregado fino.
- 2 La cantidad de muestra debe estar constituida por 1 kg aproximadamente, no debiendo ser exactamente 1 kg.
- 3 Se sumerge en agua toda la muestra de agregado fino y se deja estacionar durante 24 horas.
- 4 Al día siguiente, se retira la muestra del agua y se extiende sobre una superficie plana no absorbente.
- 5 Se la somete a una corriente suave de aire caliente, removiendo con frecuencia para que sea uniforme.
- 6 Se prosigue el secado hasta que los granos del agregado fino no se adhieran marcadamente entre sí.
- 7 Se coloca la arena en el molde troncocónico sin apretarla, se apisona con 25 golpes de varilla (1 capa).
- 8 Los golpes se efectúan dejando caer la varilla desde una altura de 5 mm de la superficie de la arena.
- 9 Se retira la arena del borde del cono y éste se levanta lentamente.
- 10 Si cuando se desmolda se retiene la forma del molde, el agregado tiene todavía humedad superficial.
- 11 En ese caso se continúa el secado, removiendo la muestra constantemente y se vuelve al punto 7.
- 12 Cuando el cono se desmorone al sacar el molde y conserva una pendiente recta, se encuentra en SSS.

- 13 Inmediatamente, se extrae una muestra del agregado en condición SSS evitando pérdida de humedad.
- 14 Si el cono se desmorona en el primer intento, se sumerge en agua al menos 30 minutos y se vuelve al punto 5.

3- Procedimientos de ensayo – Método gravimétrico

- 15 Existen dos procedimientos: método gravimétrico y método volumétrico, explicándose el primero.
- 16 La obtención de la muestra puede realizarse por un procedimiento mecánico u otro manual.
- 17 Se pesan $500 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$ de arena en estado saturado y superficie seca (ms) con precisión de 0,1 g.
- 18 Se coloca en el matraz aforado y se registra la masa del conjunto (m').
- 19 Se llena con agua a temperatura de 20 °C hasta cerca de la marca de 500 cm³.
- 20 Se mueve el matraz para eliminar las burbujas de aire y luego se lo coloca en un baño a 20 ± 2 °C.
- 21 Después de 1 hora, se completa con agua hasta la marca de 500 cm³ y se seca cuidadosamente.
- 22 Se determina la masa del matraz más el agregado (m²) con precisión de 0,1 g.
- 23 Si existe una cantidad importante de burbujas difíciles de eliminar, debe repetirse el ensayo.
- 24 Se retira el agregado del matraz cuidadosamente, se seca a 105 °C hasta masa constante y se pesa (m).
- 25 Se mide la temperatura del agua y mediante tablas se determina la densidad del agua (da).

4- Cálculos

26 Densidad relativa real (d1) de agregado fino $d1 = \frac{m}{da \cdot V - (m^2 - m^1) - (ms - m)}$
Redondear al 0,01

27 Densidad relativa aparente real del agregado seco (d2) $d2 = \frac{m}{V \cdot da - (m^2 - m^1)}$
Redondear al 0,01

28 Densidad relativa aparente real del agregado SSS (d3) $d3 = \frac{ms}{V \cdot da - (m^2 - m^1)}$
Redondear al 0,01

29 Absorción del agregado fino (A) $A = \frac{ms - m}{m} \cdot 100$
Redondear al 0,01



➤ Muestra inmersa en agua 24 horas antes



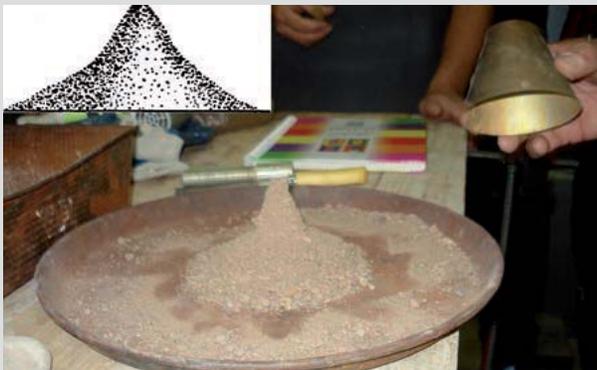
➤ Secado de la muestra



➤ Compactación de la muestra con 25 golpes



➤ Muestra con exceso de humedad por encima de SSS



➤ Muestra ligeramente húmeda por encima de SSS



➤ Muestra en estado SSS



➤ Muestra en estado SSS



➤ Vertido de muestra en bandeja y secado a masa constante



Determinación de la densidad y absorción del agregado grueso Según Norma IRAM 1533

1- Elementos necesarios para el ensayo

- 1** Balanza con una capacidad de 10 kg y precisión de 0,5 g que cuente con un dispositivo hidrostático.
 - 1.1 Puede ser una balanza *roverball*, una balanza electrónica con dispositivo inferior o balanza digital "romana".
- 2** Cesto de alambre de malla de 3,35 mm como máximo, con capacidad de 4 a 7 litros hasta TM 1 1/2".
- 3** Tanque de agua, dentro del cual pueda sumergirse el cesto de alambre con la muestra (incluida la manija).
- 4** Estufa regulada a una temperatura de 105 ± 5 °C según normas ASTM.
- 5** Bandejas metálicas.
- 6** Tamiz IRAM #4, abertura de malla 4,75 mm.
- 7** Tela o paño absorbente que no deje restos de tela en el agregado al secarlo.
- 8** Baño termostatzado a 20 ± 2 °C.
- 9** Termómetro de precisión 0,5 °C para medir la temperatura del agua.

2- Preparación de la muestra

- 1** Se toma la muestra y se la reduce tal como se establece en la Norma IRAM 1509.
- 2** Se elimina todo el material pasante el tamiz #4 por vía seca.
- 3** Cuando el agregado contiene más del 2% que pasa el tamiz #4, debe ensayarse según IRAM 1520.
- 4** Se debe poseer una muestra mínima de 2 kg TM 1/2", 3 kg TM 3/4", 4 kg 1", 5 kg 1 1/2" y 8 kg TM 2".
- 5** Se pesa la muestra y se sumerge en agua a temperatura ambiente durante 24 horas aproximadamente.

3- Procedimientos de ensayo

- 6** Se coloca el cesto en el agua y se tara la balanza con el cesto vacío sumergido en el agua (no registrarlo).

- 7** Se retira la muestra del agua (24 horas), se coloca en el cesto, se sumerge y se pesa en agua (m_a).

7.1 Para la masa del agregado en el agua (m_a) se descuenta la tara del cesto sumergido totalmente en el agua.

7.2 Debe tenerse en cuenta que el cesto no toque las paredes ni el fondo del recipiente con el agua.

- 8** El material debe encontrarse a temperatura ambiente al comenzar su secado.

9 Se retira la muestra del agua y se envuelve en una tela hasta que el agua visible es eliminada.

10 Se secan las partículas hasta que la superficie se muestre húmeda pero no se adhieran entre sí.

11 Las partículas grandes deben ser secadas individualmente con un paño que no deje pelusas.

12 Es necesario evitar la evaporación del agua de los poros del agregado durante estas operaciones.

13 Se pesa la muestra de inmediato y se determina la masa saturada y de superficie seca SSS (m_s).

14 Se seca la muestra a 105 °C hasta masa constante, se deja enfriar de 1 a 3 horas y se pesa (m).

15 Si se considera conveniente, se puede fraccionar la muestra y ensayar cada fracción por separado.

16 Se mide la temperatura del agua y, mediante tablas, se determina la densidad del agua (d_a).

4- Cálculos

17 Densidad relativa real (d_1) de agregado grueso

$$d_1 = \frac{m}{m - m_a}$$

Redondear al 0,01

18 Densidad relativa aparente real del agregado seco (d_2)

$$d_2 = \frac{m}{m_s - m_a}$$

Redondear al 0,01

19 Densidad relativa aparente real del agregado SSS (d_3)

$$d_3 = \frac{m_s}{m_s - m_a}$$

Redondear al 0,01

20 Absorción del agregado grueso (A)

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100$$

Redondear al 0,01

El paso a paso en fotos de la determinación de la densidad y absorción del agregado grueso

Según Norma IRAM 1533



↘ Vertido de muestra (saturada en agua) en el cesto



↘ Cesto sumergido sin tocar paredes ni fondos



↘ Taraje del cesto en el agua sin agregado



↘ Equilibrando en balanza roverball el cesto con el agregado



↘ Retiro del cesto del agua después de las pesadas



↘ Secado manual de partículas grandes



↘ Pesaje del agregado grueso en condición SSS

Ensayos paso a paso: peso unitario y finos pasante tamiz #200 de agregados

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

El ensayo de peso unitario o masa por unidad de volumen es sencillo para realizar (IRAM 1548) y brinda varias herramientas útiles:

- Sirve para determinar stocks en acopios de agregados, para convertir volúmenes en pesos.
- Es un parámetro necesario para algunos métodos de dosificación de hormigones (Método ACI).
- Sirve para componer curvas mezclas y optimizar su compacidad.

No existe una periodicidad establecida para este ensayo, bien sea el peso unitario compactado o suelto, pero es conveniente llevar un registro cada 3 a 6 meses de cada uno de los materiales.

El ensayo según IRAM 1540 para determinar los finos pasante tamiz #200 debe ser un ensayo de rutina para toda planta hormigonera, ya que es indispensable para el caso de las arenas antes de proceder a su análisis granulométrico. En varias regiones de nuestro país, en especial al oeste, se encuentran arenas con porcentajes de finos elevados que pueden incidir de manera negativa en las propiedades del hormigón, principalmente aumentando su demanda de agua. Este incremento de demanda de agua debe ser compensado mediante un aumento del cemento o, como mejor alternativa, incrementando la dosis de aditivo reductor de agua. Elevados contenidos de finos que pasan el tamiz #200 también reducen la exudación.

El porcentaje de finos que fija el Reglamento CIRSOC 201 para las arenas es del 5% como máximo y en algunas provincias las arenas naturales sin lavar pueden presentar porcentajes aún más elevados. Este aspecto debe ser tenido en cuenta para realizar las correcciones de dosificaciones en función de la calidad de los materiales. Para el caso de fracciones de agregado grueso, el contenido máximo recomendable es de 1%, salvo para agregados provenientes de trituración donde los finos no son de origen limoso-arcilloso, con lo cual los límites son más permisibles según varias recomendaciones. »

Determinación de la densidad a granel y espacios de vacíos
Según Norma IRAM 1548

1 Elementos necesarios para el ensayo

- 1 Balanza con una capacidad de 50 kg y precisión de 50 g
- 2 Varilla recta de acero de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo con un extremo en forma de semiesfera
- 3 Recipiente cilíndrico de capacidad mínima de 10 dm³ para TM « a 11/2” y 15 dm³ hasta TM 2”
- 4 Palitas, bandejas metálicas, etc.
- 5 Estufa regulada a una temperatura de 105 +/- 5 °C
- 6 Placa de calibración constituida por una placa de vidrio de 6 mm de espesor

2 Calibración del recipiente

- 7 Se limpia cuidadosamente el recipiente metálico y se determina la masa del recipiente vacío (mr)
- 8 Se llena el recipiente con agua, se cubre con la placa de calibración, se elimina el aire y se pesa (mra)
- 9 Se determina la masa de agua (ma) del recipiente como (mra-mr)
- 10 Se mide la temperatura del agua y se obtiene la densidad del agua (da) de tablas
- 11 Se calcula el volumen V del recipiente dividiendo la masa del agua (ma) por su densidad (da)
- 12 Los recipientes se deben recalibrar una vez al año y cuando existan dudas para cuestionar la exactitud

3 Preparación de la muestra

- 1 El tamaño de la muestra será de aproximadamente el 150% de la cantidad requerida para llenar el recipiente
- 2 Se seca la muestra en estufa durante 24 horas a 105 °C hasta masa constante

4 Procedimientos de ensayo

- 3 Para todos los métodos, en primer lugar se determina la masa del recipiente vacío (mr)
- 4 Peso unitario compactado para TM igual o menor a 11/2” - Método A
 - 4.1 Se llena el recipiente con la muestra hasta un tercio de su capacidad y se nivela con los dedos
 - 4.2 Se efectúa una compactación de la capa mediante 25 golpes de la varilla distribuidos en la superficie
 - 4.3 Al compactar la primera capa del agregado no debe raspase con la varilla el fondo del recipiente

- 4.4 Se continúa el llenado del recipiente hasta los dos tercios y se procede a compactar con 25 golpes
- 4.5 Finalmente se vuelve a llenar el recipiente hasta que desborde y se compacta con 25 golpes
- 4.6 Al compactar la segunda y tercera capa se debe evitar que la varilla penetre en la capa ya compactada
- 5 Peso unitario compactado para TM mayor a 11/2” - Método B
 - 5.1 Se llena el recipiente con la muestra hasta un tercio de su capacidad y se nivela con los dedos
 - 5.2 Se efectúa una compactación elevando alternativamente los lados opuestos 500 mm y dejándolo caer
 - 5.3 Se compacta la capa del agregado golpeando el recipiente 50 veces (25 de cada lado)
 - 5.4 Se continúa llenando el recipiente hasta los dos tercios de su capacidad y se vuelve a compactar
 - 5.5 Finalmente, se vuelve a llenar el recipiente hasta que desborde y se compacta con 50 golpes
- 6 Peso unitario suelto - Método C
 - 6.1 Se llena el recipiente hasta que desborda con una pala con caídas del agregado no mayores a 50 mm
 - 7 Se nivela la capa superficial en forma manual empleando la varilla y se enrasa con el borde superior
- 8 Para todos los métodos, al final se determina la masa del recipiente más su contenido (mar)
- 9 Se deben realizar 3 determinaciones con la misma muestra y obtener la densidad como su promedio
- 10 Cada uno de las determinaciones no debe variar en más del 1% de los otros dos ensayos
- 11 Para el cálculo de espacios vacíos se debe conocer la densidad d² según IRAM 1520 o IRAM 1533

5 Cálculos

- 12 Densidad a granel (r_{ap})
$$r_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$
 Redondear a 10 kg/m³
- 13 Densidad a granel en estado SSS (r_{as})
$$r_{as} = r_{ap} \cdot \left(1 + \frac{A}{100}\right)$$
 Redondear a 10 kg/m³
- 14 Contenido de espacios vacíos (Ev)
$$E_v = \frac{(d_2 \cdot d_a) - r_{ap}}{d_2 \cdot d_a} \cdot 100$$
 Redondear al 1%



➤ Calibración recipiente PUV



➤ Compactación primera capa



➤ Compactación segunda capa



➤ Compactación tercera capa



➤ Enrasado de la superficie



➤ Colocación del material en recipiente

Determinación del material pasante tamiz #200 por lavado
Según Norma IRAM 1540

1 Elementos necesarios para el ensayo

1 Balanza con una precisión de 0,1 g o del 0,1% de la masa de muestra del ensayo

2.1 Ensayos específicos: Resolución de 0,1 g para agregados finos y de 0,5 g para agregados gruesos

2.2 Ensayos de rutina: Resolución de 1 g y capacidad acorde con el tamaño de la muestra (6 kg aprox.)

3 Tamiz IRAM #200 con abertura de malla 75 μ m y otro de malla 1,18 mm (para proteger #200)

4 Recipiente de tamaño adecuado para contener la muestra sumergida en agua y permitir su agitación

4.1 Puede ser un recipiente plástico con tapa (frasco) que garantice cierre hermético

4.2 Pueden ser bandejas metálicas con orificio de desborde o similar

5 Estufa regulada a una temperatura de 105 \pm 5 °C

6 Lugar adecuado para eliminar el agua de lavado de agregados (arrastra finos que pasan #200)

2 Preparación de la muestra

1 Se reduce la muestra según la Norma IRAM 1509 hasta obtener la cantidad de muestra de ensayo

2 La cantidad mínima de muestra es de 500 g para el agregado fino

3 Las cantidades para el agregado grueso son para TM 3/8" 1 kg, TM 3/4" 2,5 kg y TM superiores 5 kg

4 El producto de la reducción será la muestra, no debiendo efectuarse hasta una masa predeterminada

3 Procedimiento de ensayo

5 Se seca la muestra de ensayo hasta masa constante a una temperatura de 105 °C

5.1 Masa constante es cuando la D entre 2 pesadas tomadas a intervalos de 1 hora es menor del 0,1%

6 Se determina la masa seca de la muestra de ensayo al 0,1% más próximo (m)

7 Se coloca la muestra en el recipiente y se agrega agua hasta cubrirla completamente

8 Se agita la muestra con vigor para lograr la separación de la partículas más finas de 75 μ m

9 Si existen partículas finas adheridas y de difícil remoción, se deja sumergida el tiempo necesario

10 Inmediatamente, se vierte el agua de lavado que contiene los sólidos disueltos sobre los 2 tamices

11 Se debe tener cuidado para que no se produzca la pérdida de las partículas gruesas fuera del tamiz

12 Se agrega una segunda carga de agua a la muestra, se agita y se procede según 8

13 Se debe recuperar toda partícula que quede retenida sobre el tamiz 75 μ m

13.1 Se inclina el tamiz y se moja para que las partículas se acumulen en un lugar y se retiran con espátula

14 Esta operación se repite hasta que el agua de lavado que atraviesa los tamices sea límpida

15 Se regresa todo el material retenido en los tamices, mediante la aplicación de un chorro de agua

16 Se seca la muestra del agregado lavado a temperatura de 105 °C hasta masa constante

17 Se determina la masa al 0,1% más próximo de la masa original de la muestra (m)

18 Respecto de la obligatoriedad del ensayo:

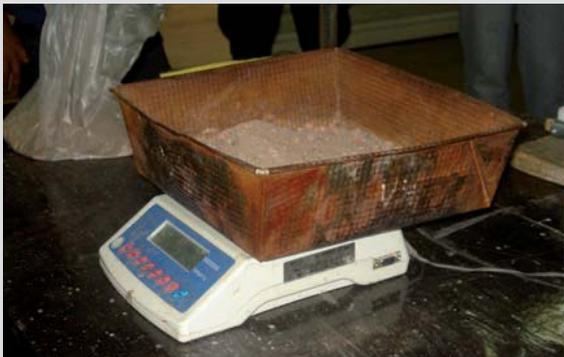
18.1 Para agregados finos siempre debe realizarse el presente ensayo antes del análisis granulométrico

18.2 Para agregados gruesos no es imprescindible realizar el ensayo antes del análisis granulométrico

4 Cálculos

21 Cantidad de material fino pasante tamiz #200 (mf)
$$mf = \frac{m - m_l}{m} \cdot 100$$

Redondear al 0,01



▶ Peso inicial seca a masa constante



▶ Contacto de agua más el material



▶ Agitación vigorosa del material



▶ Vertido del agua sucia sobre tamiz #200



▶ Lavado progresivo del agregado



▶ Agua límpida que atraviesa el tamiz #200



▶ Material retenido en tamiz #200



▶ Recolección del retenido en tamiz #200

Ensayos paso a paso: Análisis granulométricos de agregados finos y gruesos

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdformigones.com.ar

El análisis granulométrico es el ensayo más comúnmente realizado en plantas hormigoneras para inferir sobre la calidad de los agregados recibidos. El análisis granulométrico y la curva obtenida, junto con el contenido de finos pasante tamiz # 200, son ensayos que deben ser rutinarios, ya que estos parámetros pueden influenciar de gran manera en las propiedades del hormigón fresco y endurecido.

- Influye en la cohesividad de la mezcla y riesgo de segregación en estado fresco.
- Pueden aumentar la demanda de agua (deficiencias granulométricas o contenido de finos elevado).
- Inciden en la resistencia final del hormigón al poder variar la relación a/c y en la durabilidad resultante.
- Si existen variaciones considerables de curvas y módulo de finura, deben corregirse las dosificaciones (proporciones de agregados, contenido de cemento, etc.) para obtener las propiedades deseadas.

No hay una periodicidad establecida para estos ensayos, pero para plantas hormigoneras medianas es recomendable que la frecuencia mínima sea semanal y para grandes plantas de hormigón, dos veces por semana de cada fracción empleada en la producción.

Para el caso de las arenas, es indispensable realizar el ensayo según IRAM 1540 para determinar los finos pasante tamiz # 200 y sobre la muestra resultante del secado se procede a realizar la granulometría. En cambio, para agregados gruesos es opcional, pero altamente recomendado para agregados triturados y para agregados rodados que visiblemente poseen un recubrimiento potencialmente nocivo.

Para finalizar, cabe recordar que muchas veces se grafican las "curvas límites" en la misma plantilla que la curva del agregado fino o grueso, lo cual puede denotar una aparente no conformidad del agregado. En más de la mitad de plantas de hormigón elaborado del país, se emplean "agregados fuera de curva" que, conociendo sus propiedades, pueden ser empleados sin ningún inconveniente en hormigones, siempre y cuando el comportamiento del hormigón fresco y endurecido no sea influenciado negativamente por este alejamiento de curvas, las cuales fueron prescriptas para agregados de Estados Unidos hace casi un siglo. El Reglamento CIRSOC 201 acepta apartamientos de estas "curvas límites", siempre y cuando se demuestre la aptitud del hormigón para su aplicación en particular y se verifiquen sus propiedades. »

Análisis granulométrico de agregados finos Según Norma IRAM 1505

1 Elementos necesarios para el ensayo

- 1** Balanza con una precisión de 0,1 g ó 0,1% de la carga de ensayo, la que sea mayor
 - 1.1 Para autocontrol en plantas hormigoneras, puede realizarse con balanzas de 1 g, pero no de 2 ó 5 g
- 2** Tamices IRAM de tela de alambre tejido 3/8", 4, 8, 16, 30, 50 y 100, tapa y fondo
- 3** Cuarteador de muestras o partidor de Jones
- 4** Vibrador mecánico de tamices, no siendo imprescindible (siempre la verificación se realiza manualmente)
- 5** Palitas, cepillos, bandejas metálicas o plásticas, etc.
- 6** Estufa regulada a una temperatura de 105 ± 5°C
 - 6.1 Para autocontrol en plantas hormigoneras, puede realizarse el secado en anafes o similares
- 7** Elementos necesarios para el ensayo previo de tamizado húmedo según IRAM 1540

2 Preparación de la muestra

- 1** Se realiza el ensayo de tamizado húmedo según IRAM 1540 antes del análisis granulométrico
- 2** Una vez secada la muestra anterior, se reduce a una masa no predeterminada según IRAM 1509
- 3** La masa mínima para el ensayo es 500 g, salvo para arenas finas (95% que pase #8) que es de 100 g
 - 3.1 En caso de no poseer balanza de 1 g, es altamente recomendable una muestra de 1.200 a 1.400 g

3 Procedimientos de ensayo

- 4** Se utiliza la muestra seca en estufa del ensayo de contenido de finos pasa tamiz #200
- 5** Se determina la masa de la muestra de ensayo (mt) al 0,5 g (a 1 g si no se posee balanza al 0,5 g)
- 6** Se pesan individualmente los tamices a utilizar: 3/8", #4, #8, #16, #30, #50 y #100 y fondo
- 7** Se registran los valores como masas de los tamices vacíos (Tvi)
- 8** Para el tamizado mecánico se debe proceder como sigue:
 - 8.1 Se coloca el conjunto de tamices uno encima del otro en sentido de abertura decreciente
 - 8.2 Se enciende la máquina y se tamiza el conjunto de los tamices durante al menos 10 minutos
 - 8.3 Se debe verificar que no exista pérdida de material durante el tamizado

9 Para el tamizado manual:

- 9.1 Alternativamente, puede emplearse el tamizado en forma manual, empleando uno o más tamices
- 9.2 Se empieza con los tamices de mayor abertura, colocando tapa y fondo para el tamizado
- 9.3 Se mueven los tamices en movimientos horizontales, verticales y de golpeteo sin perder materia
- 10** Se pesa cada tamiz con su retenido parcial (Tti), verificando que no se ha superado la carga máxima
- 11** La carga máxima admisible por cada tamiz es 200 g salvo para el tamiz #4 que es 300 g
- 12** Si se supera se fracciona la muestra a partir del tamiz de abertura mayor y se continúa tamizando
- 13** Luego se precede a la verificación de la efectividad del tamizado como se detalla (siempre manual)
 - 13.1 Se separa el tamiz correspondiente con el material retenido, con la tapa y fondo correspondiente
 - 13.2 Se lo somete a un tamizado manual en posición ligeramente inclinada, realizando agitación manual
 - 13.3 Se considera efectivo si luego de 1 minuto de agitación manual no pasa más del 1% de la masa retenida
 - 13.4 Si el tamizado no ha sido efectivo, se continúa hasta cumplir con la condición anterior
- 14** Luego de verificar la efectividad en todos los tamices, se pesa cada uno con el material retenido en él
- 15** Se calcula la masa retenida parcial (Ri) como la diferencia (Tti - Tvi)
- 16** Se determina la suma de las masas retenidas en todos los tamices y en el fondo
- 17** Si difiere en más del 0,3% de la masa original, debe repetirse el ensayo con una nueva muestra
- 18** En caso de que la diferencia sea inferior al 0,3% se considera el análisis granulométrico satisfactorio
- 19** Se deben sumar las masas que pasen el tamiz IRAM #200 provenientes del ensayo según IRAM 1540

4 Cálculos

- 1** Retenidos parciales (Ri) $Ri = Tti - Tvi$ Redondear al 0,1g
- 2** Retenidos parciales (r %) $r\% = \frac{Ri}{mt} \cdot 100$ Redondear al 1%
- 3** Porcentajes que pasan (p%) Retenidos acumulados (rac) Según tabla tipo de análisis granulométrico Redondear al 1%
- 4** Módulo de finura (MF) $MF = \frac{S_{rac\#100,\#50,\#30,\#16,\#8,\#4^{3/8''}}}{100}$ Redondear al 0,01



Secado de AF a masa constante después del lavado (IRAM 1540)



Pesado inicial de masa seca



Támices para la granulometría del agregado fino



Tamizado manual



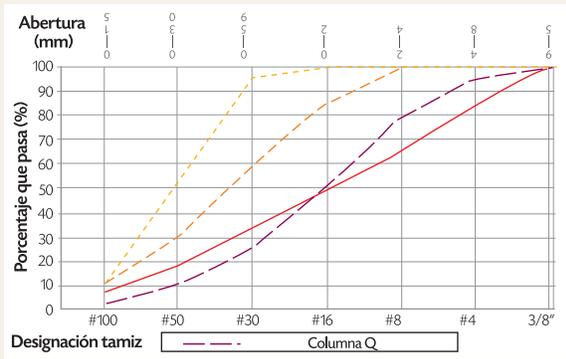
Verificación del tamizado



Pesado individual de fracciones con tamiz



Registro de valores



Curvas granulométricas de una muestra de arena lavada



Análisis granulométrico de agregados gruesos Según Norma IRAM 1505:05

1 Elementos necesarios para el ensayo

1 Balanza con una precisión de 0,5 g o 0,1% de la carga de ensayo, la que sea mayor

1.1 Para autocontrol en plantas hormigoneras, puede realizarse con balanzas de 1 g, pero no de 5 ó 10 g

2 Tamices IRAM de tela de alambre tejido 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8, tapa y fondo

3 Cuarteador de muestras o partidor de Jones, adecuado para el tamaño máximo nominal del agregado

4 Vibrador mecánico de tamices, no siendo imprescindible (siempre la verificación se realiza manualmente)

5 Palitas, cepillos, bandejas metálicas o plásticas, etc.

6 Estufa regulada a una temperatura de 105 ± 5°C

6.1 Para autocontrol en plantas hormigoneras, puede realizarse el secado en anafes o similares

7 Elementos necesarios para ensayo de tamizado húmedo según IRAM 1540, no siendo imprescindible

2 Preparación de la muestra

1 Se recomienda realizar el ensayo de tamizado húmedo (IRAM 1540) antes del análisis granulométrico

2 Una vez secada la muestra anterior, se reduce a una masa no predeterminada según IRAM 1509

3 La masa mínima es para TM 1/2" 2 kg, TM 3/4" 5 kg, TM 1" 10 kg, 1 1/2" 15 kg, 2" 20 kg, 2 1/2" 35 kg

4 En caso de presentarse un "agregado mezcla" es indispensable separar las fracciones por el tamiz #4

3 Procedimientos de ensayo

5 Se recomienda secar en estufa 24 horas hasta masa constante, no siendo imprescindible

6 Se determina la masa de la muestra de ensayo (mt) al 0,5 g (a 1 g si no se posee balanza al 0,5 g)

7 En el caso de granulometría del agregado grueso, no es indispensable pesar los tamices » 4,75 mm

8 Para el tamizado mecánico se debe proceder como sigue:

8.1 Se coloca el conjunto de tamices uno encima del otro en sentido de abertura decreciente

8.2 Se enciende la máquina y se tamiza el conjunto de los tamices durante al menos 10 minutos

8.3 Se debe verificar que no exista pérdida de material durante el tamizado

9 Para el tamizado manual:

9.1 Alternativamente, puede emplearse el tamizado en forma manual, empleando uno o más tamices

9.2 Se empieza con los tamices de mayor abertura, colocando tapa y fondo para el tamizado

9.3 Se mueven los tamices en movimientos horizontales, verticales y de golpeteo sin perder material

9.4 Sin ejercer presión, es válido emplear los dedos sobre el agregado grueso para agilizar el tamizado

10 Se coloca un recipiente contenedor limpio sobre la balanza y se tara

11 Se retira manualmente el retenido parcial de cada uno de los tamices y se van pesando individualmente

12 La carga para #2" es 3,6 kg, 1 1/2" 2,7 kg, 1" 1,8 kg, 3/4" 1,4 kg, 1/2" 0,9 kg, 3/8 0,7 kg, #4 0,3 kg

13 Si se supera se fracciona la muestra a partir del tamiz de abertura mayor y se continúa tamizando

14 Luego se procede a la verificación de la efectividad del tamizado como se detalla (siempre manual)

14.1 Se separa el tamiz correspondiente con el material retenido, con la tapa y fondo correspondiente

14.2 Se lo somete a un tamizado manual en posición ligeramente inclinada, realizando agitación manual

14.3 Se considera efectivo si luego de 1 minuto de agitación manual no pasa más del 1% de la masa retenida

15 Luego de verificar la efectividad en todos los tamices, se pasa cada uno con el material retenido en él

16 Se determina la masa retenida parcial (Ri) definitiva de cada tamiz

17 Se determina la suma de las masas retenidas en todos los tamices en el fondo (pasa tamiz #8)

18 Si difiere en más del 0,3% de la masa original, debe repetirse el ensayo con una nueva muestra

19 En caso de que la diferencia sea inferior al 0,3% se considera el análisis granulométrico satisfactorio

20 Se deben sumar las masas que pasen el tamiz IRAM #200 provenientes del ensayo según IRAM 1540

21 Si el porcentaje pasante tamiz #4 es superior al 2% se recomienda realizar su análisis granulométrico

4 Cálculos

1 Retenidos parciales (r %) $r\% = \frac{R_i}{mt} \cdot 100$ Redondear al 1%

2 Porcentajes que pasan (p%)
Retenidos acumulados (rac) Según tabla tipo de análisis granulométrico Redondear al 1%

3 Módulo de finura (MF) $MF = \frac{S_{rac\#8, \#4^{3/8"}, 3/4, 1^{1/2"}, y 3"} + 400}{100}$ Redondear al 0,01

3.1 Para la determinación de MF, se suman 400 correspondientes a 100 por cada tamiz del #100 al #16



➤ Pesado inicial de la muestra



➤ Tamices empleados para el agregado grueso



➤ Tamizado manual



➤ Tamizadora automática (siempre después realizar verificación manual)



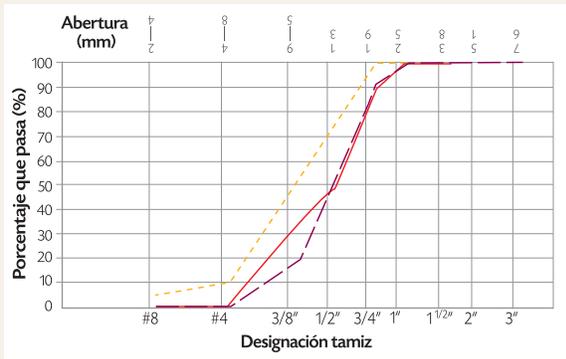
➤ Tamizado manual sin exceso por tamices



➤ Separación de retenidos por tamaños



➤ Pesaje individual de cada fracción de AG (sin tamiz)



➤ Curvas granulométricas de un agregado grueso TMN 19 mm

Ensayos paso a paso: Resistencia al desgaste e índices de forma de agregados gruesos

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

La determinación de índices de forma (lajosidad y elongación) según IRAM 1687 es una práctica muy sencilla y el equipamiento requerido (calibres específicos y balanzas) no es oneroso para que se disponga en los laboratorios de autocontrol de plantas hormigoneras. Básicamente, el ensayo, que es aplicable sólo al agregado grueso, consiste en separar granulométricamente distintas fracciones por tamices predefinidos y hacer pasar de manera individual las partículas por dos calibres diferentes, uno de lajosidad y otro de elongación, para determinar el porcentaje de partículas "planas" y "alargadas" respectivamente. Poseer más de la mitad de las partículas del agregado grueso lajosas y/o elongadas puede dificultar la trabajabilidad del hormigón, y al orientarse las partículas paralelamente entre sí pueden afectar las propiedades mecánicas, como la resistencia a compresión. El Reglamento CIRSOC 201 limita al 40% las partículas lajosas y elongadas del agregado grueso. De emplear porcentajes mayores, tendrá que demostrarse con experiencias completas de laboratorio y de obra que no afecten la trabajabilidad de las mezclas y garantizar que se alcancen las resistencias deseadas en probetas y testigos calados. El otro ensayo que se describe paso a paso en el presente artículo es la metodología para determinar la

resistencia al desgaste de los agregados con la máquina de Los Ángeles, según IRAM 1532. Es un ensayo muy relevante para cuantificar la calidad del agregado grueso, ya que brinda parámetros de la resistencia al desgaste y, de manera indirecta, de su dureza y resistencia a compresión. Agregados gruesos con pérdidas de masa superiores al 50% pueden conllevar a limitaciones en la resistencia del hormigón o que los agregados sean desmenuzables, lo cual nunca es deseable. Para finalidades específicas de hormigones expuestos a la abrasión severa, el Reglamento CIRSOC 201 brinda valores límites de pérdida de masa del 30%. Si bien la máquina de Los Ángeles pocas veces se posee en plantas hormigoneras, es útil conocer la metodología del ensayo para poder interpretarlos.

Muchos agregados de nuestro país, como los rodados de cauces aluvionales empleados en las provincias del oeste, cumplen holgadamente los requisitos reglamentarios (pérdidas de masa menores al 20%); mientras que otros agregados triturados, en ciertos casos, arrojan valores mayores al 30% o aun al 40%, con lo cual es muy útil e indispensable su determinación.

Respecto de la periodicidad de ambos ensayos, no está bien definida en normas o reglamentos, pero se recomienda realizar los ensayos semestrales o anuales para cada una de las fracciones del agregado grueso empleadas en la planta hormigonera, o bien cuando se posean dudas, o la apariencia visual del agregado permita cuestionarlos de manera preliminar a la espera de resultados de ensayos. « »

Determinación de la resistencia al desgaste Los Ángeles Según Norma IRAM1532

1) Elementos necesarios para el ensayo

- 1 Máquina de Los Ángeles según norma (tambor con pestaña interna, motor para regular 30 a 33 rev/min).
- 2 Doce (12) bolas de acero o fundición (carga abrasiva) de entre 390 y 445 g cada una.
- 3 Balanza con resolución de 0,5 g y capacidad mínima de 6 kg (para la mayor parte de los ensayos).
- 4 Estufa regulada a una temperatura de $107,5 \pm 2,5$ °C.
- 5 Cuarteador de muestras o partidor de Jones, adecuado para el tamaño máximo nominal del agregado.
- 6 Tamices convencionales para granulometría del agregado grueso y Tamiz IRAM 1,7mm (#12).
- 7 Estufa regulada a una temperatura de $107,5 \pm 2,5$ °C.
- 8 Banderas, recipientes para el pesaje, cucharas, cepillo de cerdas para limpiar las bolas de acero, etc.

2) Preparación de la muestra

- 1 La muestra inicial depende del TMN de la composición granulométrica, necesitando de 15 a 30 kg.
 - 1.1 Antes del ensayo de desgaste, tiene que realizarse la granulometría del agregado según IRAM 1505.
 - 1.2 Se compara la granulometría y se escoge de la Tabla 2 de IRAM 1532 a cuál se asemeja más.
 - 1.3 Estas granulometrías se denominan con letras de la "A" a "G", siendo las más usuales "A", "B" y "G".
 - 1.4 Se tamiza toda la muestra hasta obtener pesos algo superiores a los indicados en la Tabla 2.
- 2 Para cada fracción, se lava manualmente y se seca a masa constante, determinando el peso de cada una.
- 3 Como guía para la elección de las granulometrías indicadas en IRAM 1532, puede referirse:
 - 3.1 La granulometría "A" se elige para agregados de granulometría desde #4 hasta 1 1/2" (ej. 6/30).
 - 3.2 La granulometría "B" se elige para agregados de granulometría desde #4 hasta 3/4" (ej. 6/20).
 - 3.3 La granulometría "G" se elige para agregados de granulometría desde 3/4" hasta 1 1/2" (ej. 10/30).
 - 3.4 La granulometría "C" es para granza y las "E" y "F" para TMN superiores a 1 1/2" (poco empleados).
- 4 La muestra total para TMN de hasta 1 1/2" es de 5.000 ± 10 g y para TMN elevados es de 10.000 g.

3) Procedimientos de ensayo

- 5 Se componen las diferentes fracciones para completar el peso total.

- 6 Se pesa al 1 g más próximo la muestra seca ya clasificada y se registra la masa inicial (m).
- 7 En función de la granulometría, se elige la carga abrasiva y N° de vueltas.
 - 7.1 Para "A" y "G", el N° de bolas es 12 (5.000 ± 25 g) y revoluciones de 500 y 1.000 respectivamente.
 - 7.2 Para "B", el número de bolas es 11 (4.584 ± 25 g) y revoluciones de 500 (agregado 6/20).
 - 7.3 Para "C", el número de bolas es 8 (3.300 ± 20 g) y revoluciones de 500 (granza o binder).
 - 7.4 Se cuentan y se pesan las bolas y se verifica que estén dentro de las tolerancias de la Tabla 1.
- 8 Se abre la puerta superior y se inspecciona que no tenga restos de otro material ni que esté húmeda.
- 9 Se introduce en el tambor toda la cantidad de agregado grueso y la carga abrasiva.
- 10 Se cierra herméticamente y se ajusta para garantizar que no exista pérdida de material en el ensayo.
- 11 Se enciende la máquina y se controla el tiempo o se coloca el cuentavueltas para 500 ó 1.000.
 - 11.1 En caso de no poseer cuentavueltas, se determina previamente la velocidad (revoluciones por minuto).
 - 11.2 Para 500 vueltas y una velocidad medida de 33 rev/min, son aprox. 15 minutos de ensayo.
 - 11.3 Para 1.000 vueltas y una velocidad medida de 30 rev/min, son aprox. 33 minutos de ensayo.
- 12 Se retira el material del tambor sin que exista pérdida y se tamiza por el tamiz IRAM 1,7 mm.
- 13 Se lava la muestra retenida por el tamiz 1,7 mm y se seca a masa constante.
- 14 Retirada de la estufa, se deja enfriar y se determina la masa final seca (m1).

4) Cálculos y límites reglamentarios

- 1 Pérdida por abrasión (P) $P\% = \frac{m - m1}{m} \cdot 100$ Redondear al 1%
- 2 El Reglamento CIRSOC 201 establece dos categorías y valores a cumplimentar para el agregado grueso:
 - 2.1 Para agregados constituyentes de hormigones sometidos al desgaste y abrasión: $P\% \leq 30\%$
 - 2.2 Para todos los demás agregados que constituyan hormigones (no sometidos al desgaste): $P\% \leq 50\%$



➤ Separación preliminar de muestras por tamaño



➤ Pesado de muestra de ensayo seca



➤ Cargando de bolas la máquina de Los Ángeles



➤ Carga de agregado de la máquina de Los Ángeles



➤ Vista del material y bolas dentro de la máquina



➤ Máquina de Los Ángeles rotando



➤ Descarga de material y bolas en bandeja



➤ Tamizado y pesado de material retenido



Determinación de índice de formas – Lajosidad y elongación
Según Norma IRAM 1687 – Partes I y II

1) Elementos necesarios para el ensayo

1 Calibradores metálicos específicos para índices de forma de agregados:

- 1.1 Calibrador de lajosidad (orificios) según IRAM 1687 Parte I.
- 1.2 Calibrador de elongación (barras) según IRAM 1687 Parte II.

2 Estufa regulada a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

3 Balanza con resolución de 0,5 g y capacidad mínima de 6 kg.

4 Banderas, recipientes para el pesaje, cucharas, etc.

5 Cuarteador de muestras manual o partidor de Jones.

6 Tamices de abertura 63,0 mm; 50,0 mm; 35,5 mm; 25,0 mm; 20,0 mm; 12,5 mm; 10,0 mm y 6,3 mm.

2) Preparación de la muestra

1 La muestra para ensayo se toma de acuerdo con lo indicado en Norma IRAM 1509.

1.1 El tamaño de la muestra inicial es muy variable y aumenta en función del TMN del agregado.

1.2 Antes de ser ensayada, la muestra se seca hasta masa constante.

2 Se tamiza la muestra según IRAM 1505 toda la muestra, determinando los % retenidos.

2.1 Para el índice de lajosidad, se descarta el retenido en el tamiz 50,0 mm y el pasante tamiz 6,3 mm.

2.2 Para el índice de elongación, se descarta el retenido en el tamiz 50,0 mm y el pasante tamiz 6,3 mm.

2.3 Se registran los pesos parciales retenidos en cada uno de los tamices (R_i).

2.4 Cada una de las fracciones se deja por separado en una bandeja independiente identificada.

3 Se confecciona la curva granulométrica y se determinan los % retenidos en cada tamiz.

3.1 Si en un tamiz el retenido es inferior al 5% del peso total, no se realiza el ensayo para esta fracción.

3.2 Si en un tamiz el retenido está entre el 5 y 15%, con 100 partículas es suficiente para su ensayo.

3.3 De cada tamiz que retenga »15% individualmente, se emplean los pesos de Tabla 1 de IRAM 1687.

3.4 Si el tamaño de muestra de alguna fracción es excesiva, puede reducirse por cuarteo o partidor.

3) Procedimientos de ensayo

4 Para determinar el índice de Lajosidad:

4.1 Se selecciona en el calibrador la lajosidad la ranura apropiada para cada fracción (está marcada).

4.2 Se va haciendo pasar cada partícula en su menor dimensión por los orificios que correspondan.

4.3 Se van separando aquellas partículas que pasan (lajosas) de aquellas que no pasan (no lajosas).

4.4 Para cada fracción, se separan aquellas partículas lajosas (mli) y no lajosas (mnl) y se pesan.

5 Para determinar el índice de Elongación:

5.1 Se selecciona el calibrador de elongación, la separación entre barras apropiada para cada fracción.

5.2 Se va haciendo pasar cada partícula con su dimensión mayor entre las barras que correspondan.

5.3 Se van separando aquellas partículas que pasan (no elongadas) de aquellas que no pasan (elongadas).

5.4 Para cada fracción, se separan aquellas partículas elongadas (mei) y no elongadas (mne) y se pesan.

6 En ambos calibradores debajo de las barras o ranuras, deben estar marcados los tamices límites.

4) Cálculos y límites reglamentarios

1 Para la determinación del índice de lajosidad del agregado grueso (partículas "chatas"):

1.1 Índice de lajosidad individual (Li) $Li = \frac{mli}{mli+mnl} \cdot 100$ Redondear al 1%

1.2 Índice de lajosidad total (IL) $IL = \frac{\sum Li \times Ri}{\sum Ri} \cdot 100$ Se confecciona una tabla específica
Redondear al entero más próximo

2 Para la determinación del índice de elongación del agregado grueso (partículas "alargadas").

2.1 Índice de elongación individual (IEi) $IEi = \frac{mei}{mli+mnl} \cdot 100$ Redondear al 1%

2.2 Índice de elongación total (IE) $IE = \frac{\sum IEi \times Ri}{\sum Ri} \cdot 100$ Se confecciona una tabla específica
Redondear al entero más próximo

3 El Reglamento CIRSOC 201 establece límites a cumplimentar para el agregado grueso: $IL \leq 40$, $IE \leq 40$.



Calibres de lajosidad (inferior) y elongación (superior)



Separación del agregado por fracciones granulométricas



Partícula de agregado triturado no lajosa



Separación de partículas trituradas lajosas por fracción



Separación de partículas trituradas elongadas por fracción



Partícula de agregado rodado elongada



Separación de partículas rodadas lajosas por fracción



Separación de partículas rodadas elongadas por fracción