

Hormigón y productos de hormigón — Método de ensayo estándar para determinar la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

ANTEPROYECTO

Advertencia

Este documento no es una Norma Nacional NORDOM. Se distribuye para su revisión y comentarios. Está sujeto a cambios sin previo aviso y no puede ser referido como un Estándar Internacional.

Los destinatarios de este borrador están invitados a enviar, con sus comentarios, la notificación de cualquier derecho de patente relevante del que tengan conocimiento y proporcionar documentación de respaldo.

Contenido

Prefacio	iii
1 Objeto y campo de aplicación	1
1.1 Objeto.....	1
1.2 Campo de aplicación.....	1
2 Referencias normativas.....	2
3 Términos y definiciones.....	3
4 Importancia y uso	4
5 Aparatos	4
6 Soluciones especiales requeridas	5
7 Muestras	6
8 Preparación de la muestra de ensayo.....	9
9 Procedimiento.....	9
10 Examen cuantitativo.....	10
11 Examen cualitativo.....	12
12 Informe.....	12
13 Precisión y sesgo.....	13
Bibliografía	15

Prefacio

El Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL) es el organismo oficial que tiene a su cargo el estudio y preparación de las Normas Dominicanas (NORDOM) a nivel nacional. Es miembro de la Organización Internacional de Normalización (ISO), de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), de la Comisión del Codex Alimentarius (CAC), y de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), representando a la República Dominicana ante estos organismos.

La norma **NORDOM 91-7:029 Hormigón y productos de hormigón — Método de ensayo estándar para determinar la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio** ha sido desarrollada por la Dirección de Normalización del INDOCAL conforme a las directrices establecidas en la Directiva INDOCAL Parte 2, el procedimiento PR-DNO-002, la norma COPANT ISO/IEC 21-1:2006 y la Guía ISO/IEC 59.

El estudio de la citada norma estuvo a cargo del Comité Técnico CTN 91-7 Hormigón y productos de hormigón, integrado por representantes de los sectores regulador, oficial, académico, privado y consumidor, quienes iniciaron su trabajo tomando como referencia la norma internacional ASTM C88/C88M-24, Método de ensayo estándar para determinar la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Esta propuesta fue aprobada como anteproyecto de norma por el comité técnico de trabajo, en la reunión No. 13 celebrada el 08 de julio del año 2026, y sometida a consulta pública por un período de 60 días, desde el X de XX del año XXXX hasta el X de XX del año XXXX.

Finalizado este período, el CTN 91-7 celebró la reunión No. X de fecha XX del año XXXX del año 2026 y decidió aprobarlo como Proyecto de Norma y recomendó su oficialización, como Norma Dominicana, ante la Comisión Técnica de Expertos del Consejo Dominicano para la Calidad.

Formaron parte de este CTN, las entidades y personas naturales siguientes:

PARTICIPANTES	REPRESENTANTES DE
Noemí Pichardo	Cemento Progreso
Antonio Reyes	Instituto Nacional de Protección a los Derechos del Consumidor (PROCONSUMIDOR)
Scarlet Jorge Peguero	
Ányelo de la Rosa	Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)
Leisy Guillén	Industrias Bisonó
Jorge Moquete	Cementos Argos
Karina Rodríguez	Cementos Cibao
Eridania Lopez	
Francisco Jiménez	Ministerio de la Vivienda, Hábitat y Edificaciones (MIVHED)

Pedro Moreta

Instituto Dominicano para la Calidad
(INDOCAL)

Método de ensayo estándar para la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

1 Objeto y campo de aplicación

1.1 Objeto

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración causada por la acción de soluciones de sulfato, mediante ciclos alternados de inmersión y secado. El ensayo proporciona una estimación de la durabilidad de los agregados frente a procesos de intemperismo acelerado, particularmente en condiciones que simulan la acción de cristalización de sales.

1.2 Campo de aplicación

1.2.1 Este método de ensayo aplica a la evaluación de los agregados para estimar su durabilidad cuando se someten a la acción del intemperismo en el concreto u otras aplicaciones. Esto se logra mediante inmersiones repetidas en soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, seguidas de secado en horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los espacios de poros permeables.

1.2.2 La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal al volver a sumergir el agregado, simula la expansión del agua durante la congelación. Este método de ensayo proporciona información útil para evaluar la durabilidad de los agregados cuando no se dispone de información suficiente proveniente de registros de servicio del material expuesto a condiciones reales de intemperismo.

1.2.3 Los valores indicados en unidades del SI o en unidades pulgada-libra deben considerarse por separado como estándares. Los valores establecidos en cada sistema no son necesariamente equivalentes exactos; por lo tanto, para asegurar la conformidad con la norma, cada sistema deberá utilizarse de manera independiente del otro, y los valores de ambos sistemas no deberán combinarse.

1.2.4 Algunos valores se presentan únicamente en unidades del SI, debido a que los equivalentes en unidades pulgada-libra no se utilizan en la práctica.

1.2.5 Si los resultados obtenidos de otra norma no están expresados como en la Norma Dominicana NORDOM 100 o como en el Sistema Internacional de Unidades (SI), deberán convertirse a esas unidades utilizando factores de conversión reconocidos, tales como los indicados en la Guía de Referencia Rápida del SI.

1.2.6 Esta norma no pretende abordar todos los aspectos relacionados con la seguridad, si los hubiera, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas adecuadas de seguridad, salud y medio ambiente, así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

1.2.7 Esta norma fue desarrollada de conformidad con los principios de normalización internacional reconocidos, establecidos en la Decisión sobre los Principios para la Elaboración de Normas, Guías y Recomendaciones Internacionales emitida por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio (OMC).

2 Referencias normativas

Los siguientes documentos se mencionan en el texto de tal manera que parte o todo su contenido constituye requisitos de este documento. Para las referencias con fecha, aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluidas las enmiendas).

NORDOM 100, *Sistema internacional de unidades*

NORDOM 635, *Hormigón y agregados para el hormigón - Terminología y definiciones*

ASTM C33/C33M, *Especificación para agregados para hormigón*

ASTM C125, *Terminología relacionada con el hormigón y los agregados para hormigón*

ASTM C136/C136M, *Método de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamizado de agregados*

ASTM C670, *Práctica para la elaboración de declaraciones de precisión y sesgo para métodos de ensayo de materiales de construcción*

ASTM C702/C702M, *Práctica para la reducción de muestras de agregados al tamaño de ensayo*

ASTM D75/D75M, *Práctica para el muestreo de agregados*

ASTM E11, *Especificaciones para tela de tamiz de prueba de alambre tejido y tamices de prueba*

ASTM E100, *Especificación para hidrómetros ASTM*

ASTM E323, *Especificación estándar para tamices de placas perforadas utilizados con fines de ensayo*

ISO/IEC 17000:2020, *Evaluación de la conformidad — Vocabulario y principios generales*

3 Términos y definiciones

3.1

Aceptabilidad

Se refiere a que los resultados obtenidos cumplen con los criterios preestablecidos de validez o desempeño, lo que permite considerar el ensayo como válido y confiable para fines de evaluación.

3.2

Acreditación

Proceso por el cual una entidad competente certifica que los laboratorios de ensayos están realizando sus operaciones de acuerdo con las especificaciones de la norma.

3.3

Agregado

Material granular, como arena, grava, piedra triturada, escoria de alto horno de hierro u otros materiales similares, que puede usarse junto con materiales cementantes para formar concreto hidráulico o mortero, o utilizarse como un material de construcción independiente.

3.4

Cristalización

Proceso mediante el cual una sustancia disuelta en una solución forma cristales sólidos al producirse cambios en las condiciones físicas o químicas, tales como la evaporación del solvente o la disminución de la temperatura.

3.5

Durabilidad

Capacidad de un agregado para resistir la acción de agentes físicos y químicos a lo largo del tiempo, manteniendo sus propiedades y desempeño en condiciones de servicio.

3.6

Intemperismo

Conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que provocan la desintegración y alteración de los materiales al estar expuestos a las condiciones ambientales, tales como variaciones de temperatura, humedad, acción del agua y cristalización de sales.

3.7

Solidez de agregados

Resistencia de un agregado a la desintegración o deterioro causado por procesos de intemperismo acelerado, tales como la cristalización de sales, evaluada mediante ensayos como el descrito en esta norma.

3.8

Sulfato

Sal o compuesto químico que contiene el anión sulfato (SO_4^{2-}), utilizado en este método de ensayo en forma de soluciones (generalmente de sodio o magnesio) para inducir procesos de cristalización que simulan el deterioro de los agregados.

3.9

Sulfato de magnesio

Compuesto químico (MgSO_4) utilizado como alternativa al sulfato de sodio en el ensayo, caracterizado por producir efectos de cristalización más severos sobre los agregados.

3.10

Sulfato de sodio

Compuesto químico (Na_2SO_4) empleado como agente en el ensayo para evaluar la resistencia de los agregados, mediante ciclos de cristalización y disolución que generan esfuerzos internos en el material.

NOTA Para cualquier otra definición de los términos utilizados en esta norma, consulte la norma de terminología NORDOM 635 o la ASTM C125.

4 Importancia y uso

4.1 Este método de ensayo sirve para hacer una estimación preliminar de qué tan sanos o resistentes son los agregados que se van a usar en el hormigón y para otros fines. Los valores que se obtienen se pueden comparar con los obtenidos en otras especificaciones, como por ejemplo, lo del método de ensayo ASTM C33/C33M, que están diseñados para indicar si el agregado propuesto es adecuado para su uso.

4.1.1 Como la precisión de este método de ensayo es baja (ver capítulo 13), puede que no sea apropiado rechazar un agregado de manera definitiva sin antes confirmarlo con otros ensayos que estén más directamente relacionados con el uso específico para el cual se va a emplear.

4.2 Los valores del porcentaje de pérdida permitido por este método de ensayo normalmente son diferentes para los agregados finos y los agregados gruesos. También hay que tener en cuenta que los resultados del ensayo cambian bastante dependiendo de la sal que se use, por lo que se debe tener mucho cuidado al momento de establecer los límites adecuados en cualquier especificación que incluya este tipo de pruebas.

4.2.1 El ensayo suele ser más exigente cuando se usa sulfato de magnesio; por eso, los límites del porcentaje de pérdida permitido cuando se usa sulfato de magnesio normalmente son más altos que cuando se usa sulfato de sodio.

NOTA Ver los capítulos correspondientes de la Especificación C33/C33M donde se establecen las condiciones de aceptación de los agregados finos y gruesos que no cumplen con los requisitos basados en este ensayo.

5 Aparatos

5.1 Tamices— Con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños, que cumplan con la norma ASTM E11 o ASTM E323, para el tamizado de las muestras de acuerdo con los capítulos 7, 8 y 10:

150 μm (No. 100)	8.0 mm (5/16 in.) 9.5 mm (3/8 in.)
300 μm (No. 50)	12.5 mm (1/2 in.) 16.0 mm (5/8 in.)
600 μm (No. 30)	19.0 mm (3/4 in.) 25.0 mm (1 in.)
1.18 mm (No. 16) 2.36 mm (No. 8)	31.5 mm (1 1/4 in.) 37.5 mm (1 1/2 in.)
4.00 mm (No. 5)	50 mm (2 in.) 63 mm (2 1/2 in.)
4.75 mm (No. 4)	Tamaños mayores con intervalo nominal de 12.5 mm (1/2 in.), cada fracción

5.2 Recipientes— Los recipientes para sumergir las muestras de agregado en la solución, de acuerdo con el procedimiento descrito en este método de ensayo, deben estar perforados de manera que permitan el libre acceso de la solución a la muestra y el drenaje de la solución desde la muestra sin pérdida de agregado.

NOTA Canastas hechas de malla metálica adecuada o tamices con aberturas apropiadas son recipientes satisfactorios para las muestras.

5.3 Regulación de temperatura— Se debe disponer de medios adecuados para regular la temperatura de las muestras durante la inmersión en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

5.4 Registrador de temperatura— Con una precisión de al menos 0.5 °C (1 °F) y capaz de registrar la temperatura de la solución al menos una vez cada 15 minutos durante toda la duración del ensayo.

5.5 Balanzas— Para agregado fino, una balanza o báscula con precisión de 0.1 g dentro del rango requerido para este ensayo; para agregado grueso, una balanza o báscula con precisión de 0.1 % o 1 g, lo que sea mayor, dentro del rango requerido para este ensayo.

5.6 Horno de secado— El horno debe ser capaz de mantenerse calentado continuamente a una temperatura de 110 °C ± 5 °C (230 °F ± 9 °F), y la tasa de evaporación, dentro de este rango de temperatura, debe ser de al menos 25 g/h durante 4 horas, período durante el cual las puertas del horno deberán permanecer cerradas.

5.6.1 Esta tasa deberá determinarse mediante la pérdida de agua de vasos de precipitado de forma baja de 1 L, cada uno conteniendo inicialmente 500 g de agua a una temperatura de 21 °C ± 2 °C (70 °F ± 3 °F), colocados en cada esquina y en el centro de cada bandeja del horno.

5.6.2 El requisito de evaporación debe cumplirse en todas las posiciones de ensayo cuando el horno esté vacío, excepto por los vasos con agua.

5.7 Medición de gravedad específica— Hidrómetros que cumplan con los requisitos de la Especificación ASTM E100, o una combinación adecuada de cristalería graduada y balanza, capaces de medir la gravedad específica de la solución con una precisión de ± 0.001.

5.8 Dispositivo de medición de temperatura— Capaz de medir la temperatura del agua y de los materiales en solución dentro del rango especificado, con una precisión y legibilidad de ± 0.5 °C (1 °F) o más precisa.

6 Soluciones especiales requeridas

6.1 Prepare la solución para la inmersión de las muestras de ensayo usando sulfato de sodio o sulfato de magnesio, de acuerdo con los apartados 6.1.1 hasta el 6.1.2.4 (ver nota). El volumen de la solución deberá ser al menos cinco veces el volumen sólido de todas las muestras sumergidas al mismo tiempo.

NOTA Algunos agregados que contienen carbonatos de calcio o magnesio son atacados químicamente por soluciones frescas de sulfato, lo que produce pérdidas medidas erróneamente altas. Si esta condición ocurre o se sospecha, repita el ensayo usando una solución filtrada que haya sido utilizada previamente para ensayar el mismo tipo de roca carbonatada, siempre que la solución cumpla con los requisitos de gravedad específica indicados en los apartados 6.1.1.3 y 6.1.2.4.

6.1.1 Solución de sulfato de sodio— Prepare una solución saturada de sulfato de sodio disolviendo una sal grado USP o equivalente en agua a una temperatura de 25 a 30 °C (77 a 86 °F). Agregue suficiente sal (ver nota del apartado 6.1.1.3), ya sea en forma anhidra (Na_2SO_4) o cristalina ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), para asegurar no solo la saturación, sino también la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para usarse en los ensayos.

6.1.1.1 Agite completamente la mezcla durante la adición de la sal y continúe agitando la solución a intervalos frecuentes hasta su uso. Para reducir la evaporación y evitar contaminación, mantenga la solución cubierta en todo momento cuando no sea necesario acceder a ella. Permita que la solución se enfríe hasta $21\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ($70\text{ °F} \pm 2\text{ °F}$). Vuelva a agitar y deje la solución a la temperatura especificada durante al menos 48 horas antes de usarla. Antes de cada uso:

6.1.1.2 Rompa cualquier costra de sal que se haya formado en el recipiente, agite bien la solución, y determine la gravedad específica de la solución.

6.1.1.3 Durante el uso, la solución deberá tener una gravedad específica no menor de 1151 ni mayor de 1174. Deseche cualquier solución descolorida, o fíltrela y verifique nuevamente la gravedad específica.

NOTA Para la solución, 215 g de sal anhidra o 700 g de la forma decahidratada por litro de agua son suficientes para la saturación a 22 °C (71.6 °F). Sin embargo, como estas sales no son completamente estables y es deseable que exista un exceso de cristales, se recomienda el uso de no menos de 350 g de sal anhidra o 750 g de sal decahidratada por litro de agua.

6.1.2 Solución de sulfato de magnesio— Prepare una solución saturada de sulfato de magnesio disolviendo en agua una sal grado USP o equivalente, a una temperatura de 25 °C a 30 °C (77 °F a 86 °F). Agregue suficiente sal (ver nota del apartado 6.1.2.4), ya sea en forma anhidra (MgSO_4) o en forma cristalina ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (sal de Epsom), para asegurar la saturación y la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para usarse en los ensayos.

6.1.2.1 Mezcle completamente durante la adición de la sal y agite la solución a intervalos frecuentes hasta su uso. Para reducir la evaporación y evitar la contaminación, mantenga la solución cubierta en todo momento cuando no sea necesario acceder a ella.

6.1.2.2 Permita que la solución se enfríe a $21\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ($70\text{ °F} \pm 2\text{ °F}$). Agítela nuevamente y deje que permanezca a esa temperatura especificada durante al menos 48 horas antes de su uso.

6.1.2.3 Antes de cada uso, rompa cualquier costra de sal que se haya formado en el recipiente, agite bien la solución y determine su gravedad específica.

6.1.2.4 Cuando se utilice, la solución deberá tener una gravedad específica no menor de 1295 ni mayor de 1308. Una solución decolorada debe desecharse, o filtrarse y volver a verificarse su gravedad específica.

NOTA Para la solución, 350 g de sal anhidra o 1230 g del heptahidrato por litro de agua son suficientes para lograr la saturación a 23 °C (73.4 °F). Sin embargo, como estas sales no son completamente estables, siendo la sal hidratada la más estable de las dos, y dado que es deseable que haya un exceso de cristales presente, se recomienda utilizar la sal heptahidratada en una cantidad no menor de 1400 g por litro de agua.

6.1.3 Solución de cloruro de bario— Prepare 100 mL de una solución de cloruro de bario al 5 %, disolviendo 5 g de BaCl_2 en 100 mL de agua destilada.

7 Muestras

7.1 La muestra deberá obtenerse, en general, de acuerdo con la práctica ASTM D75/D75M y reducirse al tamaño de porción de ensayo de acuerdo con la práctica ASTM C702/C702M.

7.2 Agregado fino— El agregado fino para el ensayo deberá pasar a través del tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgadas). La muestra deberá ser de un tamaño tal que produzca no menos de 100 g de cada uno de los tamaños siguientes, los cuales deberán estar disponibles en cantidades de 5 % o más, expresadas en términos de los siguientes tamices:

Pasa por el tamiz	Retenido en el tamiz
600 µm (No. 30)	300 µm (No.50)
1.18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)
2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)
9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)

7.3 Agregado grueso— El agregado grueso para el ensayo deberá consistir en material del cual se hayan eliminado los tamaños menores que el tamiz de 4.75 mm (No. 4). La muestra deberá ser de un tamaño tal que produzca las siguientes cantidades de los tamaños indicados que estén disponibles en proporciones de 5 % o más.

Tamaño (tamices de abertura cuadrada)	Masa, g
9.5 mm (3/8 in.) a 4.75 mm (No. 4)	300 ± 5
19.0 mm (3/4 in.) a 9.5 mm (3/8 in.)	1000 ± 10
12.5 mm (1/2 in.) a 9.5 mm (3/8 in.)	330 ± 5
19.0 mm (3/4 in.) a 12.5 mm (1/2 in.)	670 ± 10
37.5 mm (1 1/2 in.) a 19.0 mm (3/4 in.)	1500 ± 50
25.0 mm (1 in.) a 19.0 mm (3/4 in.)	500 ± 30
37.5 mm (1 1/2 in.) a 25.0 mm (1 in.)	1000 ± 50
63 mm (2 1/2 in.) 37.5 mm (1 1/2 in.)	5000 ± 300
50 mm (2 in.) a 37.5 mm (1 1/2 in.)	2000 ± 200
63 mm (2 1/2 in.) a 50 mm (2 in.)	3000 ± 300
Tamaños mayores con intervalo nominal de 12.5 mm (1/2 in.), cada fracción	
75 mm (3 in.) a 63 mm (2 1/2 in.)	7000 ± 1000
90 mm (3 1/2 in.) a 75 mm (3 in.)	7000 ± 1000
100 mm (4 in.) a 90 mm (3 1/2 in.)	7000 ± 1000

7.4 Cuando un agregado a ensayar contenga cantidades apreciables tanto de material fino como de material grueso, con una granulometría que tenga más de 10 % en masa retenido sobre el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgadas.) y también más de 10 % en masa pasando el tamiz de 4.75 mm (No. 4), se deben ensayar muestras separadas de: la fracción menor de 4.75 mm (No. 4), y la fracción mayor de 4.75 mm (No. 4), de acuerdo con los procedimientos para agregado fino y agregado grueso, respectivamente.

7.4.1 Los resultados deben informarse por separado para la fracción de agregado fino y la fracción de agregado grueso, indicando los porcentajes de las fracciones gruesa y fina presentes en la granulometría inicial.

8 Preparación de la muestra de ensayo

8.1 Agregado fino— Lave completamente la muestra de agregado fino sobre un tamiz de 300 μm (No. 50), séquela hasta masa constante a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$) y sepárela en los diferentes tamaños mediante tamizado, de la siguiente manera:

8.1.1 Realice una separación preliminar de la muestra graduada utilizando un juego de los tamices estándar especificados en el numeral 7.2. De las fracciones obtenidas de esta manera, seleccione muestras de tamaño suficiente para obtener 100 g después de tamizar hasta el rechazo (hasta que ya no pase más material).

8.1.2 En general, una muestra de 110 g será suficiente. No utilice el agregado fino que quede adherido en las mallas de los tamices al preparar las muestras.

8.1.3 Pese muestras de $100\text{ g} \pm 0.1\text{ g}$ de cada una de las fracciones separadas después del tamizado final y colóquelas en recipientes separados para el ensayo.

8.2 Agregado grueso— Lave completamente y seque la muestra de agregado grueso hasta masa constante a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$), y sepárela en los diferentes tamaños indicados en el apartado 7.3, mediante tamizado hasta el rechazo.

8.2.1 Pese las cantidades de los diferentes tamaños dentro de las tolerancias indicadas en el apartado 7.3 y, cuando la porción de ensayo consista en dos tamaños, combínelas hasta alcanzar la masa total especificada.

8.2.2 Registre la masa de las muestras de ensayo y la de sus componentes fraccionados.

8.2.3 En el caso de tamaños mayores de 19.0 mm (3/4 pulgadas), registre también el número de partículas presentes en las muestras de ensayo.

9 Procedimiento

9.1 Almacenamiento de las muestras en solución— Sumerja las muestras en la solución preparada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio durante un período no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de tal manera que la solución las cubra con una profundidad de al menos 12.5 mm (1/2 pulgadas) (ver nota del apartado 9.1.1).

9.1.1 Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar la adición accidental de sustancias extrañas. Mantenga las muestras sumergidas en la solución a una temperatura de $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($70\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{F}$) durante el período de inmersión.

NOTA Rejillas de alambre con peso adecuado colocadas sobre la muestra en los recipientes permitirán lograr esta cobertura en agregados muy livianos.

9.2 Secado de las muestras después de la inmersión— Después del período de inmersión, retire la muestra de agregado de la solución, permita que escurra durante $15\text{ min} \pm 5\text{ min}$ y colóquela en el horno de secado.

9.2.1 La temperatura del horno deberá haberse ajustado previamente a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$). Seque las muestras a la temperatura especificada hasta alcanzar masa constante.

9.2.2 Establezca el tiempo necesario para alcanzar la masa constante de la siguiente manera: con el horno conteniendo la carga máxima de muestra prevista, verifique las pérdidas de masa de las muestras de ensayo retirándolas y pesándolas, sin enfriarlas, a intervalos de 2 h a 4 h.

9.2.3 Realice suficientes verificaciones para determinar el tiempo de secado requerido para la ubicación menos favorable dentro del horno (ver apartado 5.6) y la condición de muestra más desfavorable (ver nota del apartado 9.2.5).

9.2.4 Se considerará que se ha alcanzado la masa constante cuando la pérdida sea menor de 0.1 % de la masa de la muestra en 4 horas de secado.

9.2.5 Después de alcanzar la masa constante, permita que las muestras se enfríen a temperatura ambiente; luego deberán sumergirse nuevamente en la solución preparada, como se describe en el apartado 9.1.

NOTA El tiempo de secado requerido para alcanzar la masa constante puede variar considerablemente por varias razones. La eficiencia del secado disminuirá a medida que se acumulen los ciclos, debido a la sal adherida a las partículas y, en algunos casos, al aumento del área superficial causado por la desintegración. Las diferentes fracciones de tamaño del agregado tendrán distintas velocidades de secado. Los tamaños más pequeños tenderán a secarse más lentamente debido a su mayor área superficial y a los espacios interparticulares más reducidos; sin embargo, esta tendencia puede verse modificada por los efectos del tamaño y la forma del recipiente.

9.3 Número de ciclos— Repita el proceso de inmersión y secado alternados hasta obtener el número requerido de ciclos.

9.4 Después de completar el ciclo final y una vez que la muestra se haya enfriado, lave la muestra hasta eliminar el sulfato de sodio o el sulfato de magnesio, verificándolo mediante la reacción del agua de lavado con una solución de cloruro de bario (BaCl_2).

9.4.1 El lavado debe realizarse haciendo circular agua a $43\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($110\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{F}$) a través de las muestras en sus recipientes. Esto puede hacerse colocándolas en un tanque al cual se introduzca el agua caliente cerca del fondo y se permita el rebose.

9.4.2 Durante la operación de lavado, las muestras no deberán someterse a impactos ni abrasión que puedan tender a romper las partículas.

NOTA El agua del grifo que contenga sulfatos, cuando se use para el lavado, se enturbiará al ensayarse con la solución de cloruro de bario. La turbidez de una solución de agua del grifo y cloruro de bario debe compararse, de modo que un agua de lavado ensayada con el mismo grado de turbidez pueda considerarse libre de sulfatos provenientes del ensayo.

10 Examen cuantitativo

10.1 Realice el examen cuantitativo de la siguiente manera:

10.1.1 Después de eliminar el sulfato de sodio o el sulfato de magnesio, seque cada fracción de la muestra hasta masa constante a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{F}$).

10.1.2 Tamice el agregado fino sobre el mismo tamiz en el que fue retenido antes del ensayo y tamice el agregado grueso sobre el tamiz indicado para el tamaño correspondiente de partícula.

10.1.3 Para el agregado fino, el método y la duración del tamizado deberán ser los mismos utilizados en la preparación de las muestras de ensayo.

10.1.4 Para el agregado grueso, el tamizado deberá hacerse manualmente, con agitación suficiente solo para asegurar que todo el material de tamaño menor pase por el tamiz designado. No deberá emplearse manipulación adicional para romper partículas o forzarlas a pasar por los tamices.

10.1.5 Determine la masa del material retenido en cada tamiz y registre cada valor. La diferencia entre cada una de estas masas y la masa inicial de la fracción de la muestra ensayada constituye la pérdida en el ensayo y deberá expresarse como porcentaje de la masa inicial para su uso en la Tabla 1.

Tamaño del agregado	Tamiz utilizado para determinar la pérdida
100 mm (4 in.) a 90 mm (3 1/2 in.)	75 mm (3 in.)
90 mm (3 1/2 in.) a 75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)
75 mm (3 in.) a 63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)
63 mm (2 1/2 in.) a 37.5 mm (1 1/2 in.)	31.5 mm (1 1/2 in.)
37.5 mm (1 1/2 in.) a 19.0 mm (3/4 in.)	16.0 mm (5/8 in.)
19 mm (3/4 in.) a 9.5 mm (3/8 in.)	8.0 mm (5/16 in.)
9.5 mm (3/8 in.) a 4.75 mm (No. 4)	4.0 mm (No. 5)

TABLA 1— Formato sugerido para el examen cualitativo (con valores ilustrativos de prueba)

Tamaño de tamiz ^B		Fracciones combinadas	Granulometría de la muestra original, %	Masa de las fracciones de prueba antes del ensayo, g	Porcentaje pasante del tamiz especificado después del ensayo	Porcentaje ponderado de pérdida de masa
Ensayo de solidez del agregado fino						
Pasante por el tamiz de 150 µm (No. 100)			6	...	...	...
De 300 µm (No. 50) a No. 100			11	...	...	...
De 600 µm (No. 30) a No. 50			26	100	4.2	1.1
De 1.18 mm (No. 16) a No. 30			25	100	4.8	1.2
De 2.36 mm (No. 8) a No. 16			17	100	8.0	1.4
De 4.75 mm (No. 4) a No. 8			11	100	11.2	1.2
De 9.5 mm (3/8 in.) a No. 4			4	...	11.2 ^A	0.4
Totales			100.0	...	...	5
Ensayo de solidez del agregado grueso						
De 63 mm (2 1/2 in.) a 50 mm (2 in.)	2825 g	63 a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.)	20	4783	4.8	1.0
De 50 mm (2 in.) a 37.5 mm (1 1/2 in.)	1958 g					
De 37.5 mm (1 1/2 in.) a 25.5 mm (1 in.)	1012 g	37.5 a 19 mm (1 1/2 a 3/4 in.)	45	1525	8.0	3.6
De 25 mm (1 in.) a 19.0 mm (3/4 in.)	513 g					
De 19.0 mm (3/4 in.) a 12.5 mm (1/2 in.)	675 g	19.0 a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in.)	23	1008	9.6	2.2
De 12.5 mm (1/2 in.) a 9.5 mm (3/8 in.)	333 g					
De 9.5 mm (3/8 in.) a 4.75 mm (No. 4)	298 g		12	298	11.2	1.3
Totales			100.0	...	...	8
^A La pérdida porcentual (11.2 %) del tamaño inmediatamente menor se utiliza como la pérdida porcentual para este tamaño, ya que este contiene menos del 5 % de la muestra original tal como se recibió. Véase el apartado 12.1.3.4						
^B Los tamaños de los tamices están de acuerdo con la norma ASTM E11						

TABLA 2— Formato sugerido para la prueba cualitativa (con valores de ensayo ilustrativos)

Examen cualitativo de tamaños gruesos									
Partículas con señales de deterioro									
Tamaño del tamíz	Disgregación		Fragmentación		Agrietamiento		Laminación		Número total de partículas antes del ensayo
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	
De 63 mm (2 1/2 in.) a 37.5 mm (1 1/2 in.)	2	7	...	...	2	7	...	...	29
De 37.5 mm (1 1/2 in.) a 19.0 mm (3/4 in.)	5	10	1	2	4	8	...	...	50

11 Examen cualitativo

11.1 Realice un examen cualitativo de las muestras de ensayo con tamaños mayores de 19.0 mm (3/4 pulgadas) de la siguiente manera (ver nota del apartado 11.1.2):

11.1.1 Separe las partículas de cada muestra de ensayo en grupos según la acción producida por el ensayo (ver nota del apartado 11.1.2).

11.1.2 Registre el número de partículas que presenten cada tipo de deterioro.

NOTA Se pueden esperar muchos tipos de acción. En general, estos pueden clasificarse como desintegración, fracturación, desmoronamiento, agrietamiento, descamación, etc. Aunque solo se requiere realizar el examen cualitativo de partículas mayores de 19.0 mm (3/4 pulgadas), se recomienda examinar también los tamaños menores para determinar si existe alguna evidencia de fracturación excesiva.

12 Informe

12.1 Reporte los siguientes datos (ver nota del apartado 12.1.6):

12.1.1 Registre la masa de cada fracción de cada muestra antes del ensayo,

12.1.2 El material de cada fracción de la muestra que pase el tamiz designado en el apartado 10.1.1 para el tamizado después del ensayo, expresado como porcentaje de la masa original de la fracción,

12.1.3 El promedio ponderado calculado de acuerdo con el método de ensayo ASTM C136/C136M a partir del porcentaje de pérdida de cada fracción, basado en la gradación de la muestra tal como se recibió para su examen o, preferiblemente, en la gradación promedio del material de aquella porción del suministro de la cual la muestra es representativa, excepto que:

12.1.3.1 Para agregados finos (con menos del 10 % retenido en el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgadas)), se asumirá que los tamaños menores que el tamiz de 300 µm (No. 50) tienen 0 % de pérdida y que los tamaños mayores que el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgadas) tienen la misma pérdida que el siguiente tamaño menor para el cual se disponga de datos de ensayo.

12.1.3.2 Para agregados gruesos (con menos del 10 % que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4)), se asumirá que los tamaños menores que el tamiz de 4.75 mm (No. 4) tienen la misma pérdida que el siguiente tamaño mayor.

12.1.3.3 Para un agregado que contenga cantidades apreciables tanto de material fino como grueso, ensayado como dos muestras separadas según lo requerido en el apartado 7.4, calcule las pérdidas promedio ponderadas por separado para las fracciones menores de 4.75 mm (tamiz No. 4) y mayores

de 4.75 mm (tamiz No. 4), basándose en granulometrías recalculadas considerando la fracción fina como 100 % y la fracción gruesa como 100 %. Informe los resultados por separado, indicando el porcentaje de material menor de 4.75 mm (tamiz No. 4) y mayor de 4.75 mm (tamiz No. 4) presente en la granulometría inicial.

12.1.3.4 Para el cálculo del promedio ponderado, considérese que cualquier tamaño de los indicados en los apartados 7.2 o 7.3 que represente menos del 5 % de la muestra tiene la misma pérdida que el promedio de las pérdidas correspondientes al tamaño inmediatamente menor y al tamaño inmediatamente mayor. Si uno de estos tamaños no está presente, considérese que tiene la misma pérdida que el tamaño inmediatamente mayor o el inmediatamente menor, según cuál esté presente.

12.1.4 Informe el porcentaje de pérdida ponderada aproximado al número entero más cercano.

12.1.5 En el caso de partículas mayores de 19.0 mm (3/4 pulgadas) antes del ensayo: (1) El número de partículas en cada fracción antes del ensayo, y (2) el número de partículas afectadas, clasificadas según el número de partículas desintegradas, partidas, desmoronadas, agrietadas, descascaradas, etc; como se muestra en la Tabla 2.

12.1.6 Tipo de solución (sulfato de sodio o sulfato de magnesio) y si la solución fue preparada recientemente o reutilizada previamente.

NOTA La Tabla 1, mostrada con valores de ensayo insertados con fines ilustrativos, es un formato sugerido para registrar los datos del ensayo. Los valores de ensayo mostrados podrían ser apropiados para cualquiera de las dos sales, dependiendo de la calidad del agregado.

13 Precisión y sesgo

13.1 Precisión Para agregados gruesos con pérdidas promedio ponderadas por sanidad al sulfato en los rangos de 6 % a 16 % para sulfato de sodio y de 9 % a 20 % para sulfato de magnesio, los índices de precisión son los siguientes:

	Coefficiente de variación (1S %), %^A	Diferencia entre dos ensayos (D2S %), % del promedio^A
Interlaboratorio		
Sulfato de sodio	41	116
Sulfato de magnesio	25	71
Operador único		
Sulfato de sodio	24	68
Sulfato de magnesio	11	31
^A Estos valores representan, respectivamente, los límites de (1S %) y (D2S %), tal como se describen en la norma ASTM C670		

13.2 Sesgo — Dado que no existe un material de referencia aceptado adecuado para determinar el sesgo de este procedimiento, no se establece ninguna declaración sobre el sesgo.

Bibliografia

- [1] ASTM C88/C88M-24, *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*