

SECCIÓN 200 – AGREGADOS PÉTREOS

I.N.V. E – 201	MUESTREO DE AGREGADOS PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS
I.N.V. E – 202	REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE AGREGADOS POR CUARTEO
I.N.V. E – 211	DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS
I.N.V. E – 212	PRESENCIA DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN ARENAS USADAS EN LA PREPARACIÓN DE MORTEROS O CONCRETOS
I.N.V. E – 213	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO
I.N.V. E – 214	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 75 μm (No.200) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO
I.N.V. E – 215	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL LLENANTE MINERAL UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 216	CONTENIDO TOTAL DE AGUA EVAPORABLE DE LOS AGREGADOS POR SECADO
I.N.V. E – 217	DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO
I.N.V. E – 218	RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 ½") POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES
I.N.V. E – 219	RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES DE 19 mm (¾") POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES
I.N.V. E – 220	SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO

I.N.V. E – 221	CANTIDAD DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN UN AGREGADO PÉTREOS
I.N.V. E – 222	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
I.N.V. E – 223	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
I.N.V. E – 224	DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL 10% DE FINOS
I.N.V. E – 225	DENSIDAD BULK DEL LLENANTE MINERAL EN KEROSENE
I.N.V. E – 227	PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN UN AGREGADO GRUESO
I.N.V. E – 229	VACÍOS DEL LLENANTE SECO COMPACTADO
I.N.V. E – 230	ÍNDICES DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS
I.N.V. E – 232	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO (CPA) DE LOS AGREGADOS GRUESOS
I.N.V. E – 233	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AZUFRE EN LOS AGREGADOS PÉTREOS
I.N.V. E – 234	DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD POTENCIAL ÁLCALÍ-SÍLICE DE AGREGADOS (Método químico)
I.N.V. E – 235	VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS
I.N.V. E – 236	MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DESLEIMIENTO – DURABILIDAD DE LUTITAS Y OTRAS ROCAS DÉBILES
I.N.V. E – 237	DETERMINACIÓN DE LA LIMPIEZA SUPERFICIAL DE LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO GRUESO
I.N.V. E – 238	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL

- I.N.V. E – 239 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍOS EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS (INFLUENCIADO POR LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS, LA TEXTURA SUPERFICIAL Y LA GRANULOMETRÍA)
- I.N.V. E – 240 PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS PLANAS, ALARGADAS O PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS GRUESOS
- I.N.V. E – 241 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS AL CHOQUE TÉRMICO
- I.N.V. E – 242 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA Y LA ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS, AGREGADOS GRUESOS Y MEZCLAS DE AGREGADOS, MEDIANTE UN PROCEDIMIENTO COMBINADO DE SATURACIÓN AL VACÍO E INMERSIÓN RÁPIDA
- I.N.V. E – 243 DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS A CAUSA DE LA COMPACTACIÓN POR IMPACTOS
- I.N.V. E – 244 DENSIDAD DE LOS AGREGADOS EN ACEITE DE PARAFINA
- I.N.V. E – 245 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO FINO A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN, UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MUESTREO DE AGREGADOS PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

INV E – 201 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere al muestreo de agregados gruesos y finos con los siguientes propósitos: (1) investigación preliminar de las fuentes de suministro de materiales; (2) inspección de los materiales en la fuente; (3) control de operación de los materiales en el sitio de la obra, y (4) aceptación o rechazo de los materiales.

Nota 1: Los ensayos de aceptación y control varían con el tipo de construcción en el cual se va a emplear el material. Las investigaciones preliminares y la toma de muestras de posibles yacimientos o fuentes y tipos de agregados, son factores de gran importancia para determinar las disponibilidades y las cualidades de los materiales, en relación con la futura construcción.

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–201–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Tamaño máximo del agregado (definición usual)* – Menor abertura de tamiz a través de la cual se requiere que pase la totalidad del agregado.
- 2.2** *Tamaño máximo del agregado (definición de Superpave)* – Abertura del tamiz inmediatamente mayor al correspondiente al tamaño máximo nominal.
- 2.3** *Tamaño máximo nominal del agregado (definición usual)* – Menor abertura de tamiz a través de la cual se permite que pase la totalidad del agregado.
- 2.4** *Tamaño máximo nominal del agregado (definición de Superpave)* – Abertura del tamiz inmediatamente mayor al primero que retiene más de 10 % del agregado.

Nota 2: Las definiciones de los numerales 2.2 y 2.4 aplican solamente al diseño de mezclas asfálticas por el método Superpave.

Nota 3: Generalmente, las especificaciones sobre agregados estipulan una abertura de tamiz a través de la cual todo el agregado puede, aunque no es necesario que lo haga, pasar, de manera que una porción máxima especificada del agregado pueda quedar retenida en dicho tamiz. A la abertura de dicho tamiz se le denomina tamaño máximo nominal.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La toma de muestras es tan importante como los mismos ensayos y, por lo tanto, el encargado de hacerla debe tomar todas las precauciones necesarias, para obtener muestras que indiquen la verdadera naturaleza y las características reales de los materiales representados por ellas.
- 3.2** Las muestras para los ensayos de investigación preliminar deben ser obtenidas por la parte responsable de la explotación de la fuente (nota 4). Las muestras de materiales para el control de producción en la fuente o para el control del trabajo en el sitio de utilización deben ser obtenidas por el proveedor, el contratista o cualquier otro responsable por la ejecución de los trabajos. Las muestras destinadas a ensayos cuya finalidad sea la aceptación o el rechazo por parte del comprador, deberán ser tomadas por éste o por quien él designe.

Nota 4: La investigación preliminar y el muestreo de las fuentes y los tipos potenciales de agregados, ocupan un lugar muy importante en la determinación de la disponibilidad y conveniencia de los principales componentes de una construcción vial. Esta investigación afecta la construcción desde el punto de vista económico y determina el control que requieren los materiales para asegurar la durabilidad de las obras. La investigación deberá ser realizada, únicamente, por personas responsables, debidamente entrenadas y con la experiencia necesaria para efectuar a satisfacción este tipo de trabajo.

4 CONFIABILIDAD DE LAS MUESTRAS

- 4.1** *Generalidades* – Donde sea posible, las muestras que se vayan a ensayar para determinar la calidad del material, serán obtenidas de productos terminados. Cuando se requiera ensayarlos para verificar las pérdidas por abrasión, no se deberán someter a procesos posteriores de trituración o de reducción de tamaño, a menos de que los tamaños de los productos terminados sean tales, que requieran de dicha reducción de tamaño para poderlos ensayar.
- 4.2** *Inspección* – Todo material deberá ser inspeccionado con el fin de determinar variaciones perceptibles en el mismo. El proveedor deberá poner a disposición del comprador, todo el equipo necesario para una adecuada inspección y un correcto muestreo.
- 4.3** *Procedimientos de muestreo:*
- 4.3.1** *Muestreo en un flujo de descarga de agregados (descarga de tolvas o de bandas)* – La selección de las unidades que se deberán ensayar, se hará por métodos al azar. Se deberán obtener, por lo menos, tres (3)

porciones aproximadamente iguales, elegidas al azar, de las unidades que se estén muestreando, combinándolas para formar una muestra de campo, cuya masa sea igual o mayor al valor mínimo que se recomienda en el numeral 4.4.2. Cada porción se deberá tomar directamente de toda la sección transversal del flujo de material que se está descargando (Figura 201 - 1). Generalmente, en cada planta de producción es necesario tener un recipiente especial para la toma de las muestras, fabricado para este uso específico. El recipiente consistirá en una bandeja de tamaño suficiente para interceptar toda la sección del flujo de descarga y recoger la cantidad requerida de material, sin desbordarse. Puede requerirse un conjunto de rieles para soportar la bandeja a medida que ella pasa por debajo del flujo de descarga. Hasta donde sea posible, las tolvas se deben mantener llenas de manera permanente, para disminuir la segregación.

Nota 5: Se debe evitar la toma de muestras de la descarga inicial o final de tolvas o bandas transportadoras, pues al hacerlo se aumentan las posibilidades de obtener material segregado.



Figura 201 - 1. Muestreo en un flujo de descarga

4.3.2 *Muestreo en una banda transportadora* – La selección de las unidades que se vayan a ensayar, se deberá hacer como se indica en primer párrafo del numeral anterior. La banda transportadora se deberá detener mientras se recogen las porciones de material. Detenida la banda, se deberán insertar en el material que se encuentra sobre ella, dos elementos cuya forma se ajuste a la de la banda, elementos que se colocarán separados entre sí de tal manera, que el material contenido en el espacio entre ellos proporcione una porción que tenga la masa

requerida. Todo el material que quede entre los dos elementos se deberá recoger en forma cuidadosa, colocándolo en un recipiente apropiado (Figura 201 - 2). Los finos que queden sobre la banda se deberán recoger en una bandeja con ayuda de una brocha y se deberán incorporar a la muestra contenida en recipiente.



Figura 201 - 2. Muestreo en una banda transportadora

4.3.3 *Muestreo en pilas o equipos de transporte* – Se debe evitar, en lo posible, muestrear agregados gruesos o de mezclas de agregados gruesos y finos en pilas o equipos de transporte, especialmente cuando el muestreo tiene como finalidad determinar algunas propiedades de los agregados que pueden depender de la gradación de las muestras. Si las circunstancias hacen necesaria la obtención de muestras de pilas de agregados gruesos, o de pilas de agregados gruesos y finos combinados, se deberá diseñar un plan de muestreo para el caso específico bajo consideración. El plan deberá definir el número de muestras necesarias para representar lotes y sub-lotes de tamaños específicos. Los principios generales del muestreo para depósitos apilados, son también aplicables para el muestreo en camiones, vagones, planchones, embarcaciones u otras unidades de transporte. En el Anexo A se presenta una guía general sobre el muestreo de agregados pétricos en pilas y equipos de transporte.

4.3.4 *Muestreo en la vía (bases y subbases)* – La selección de las unidades de muestreo que se vayan a ensayar, se deberá hacer como se indica en primer párrafo del numeral 4.3.1. Siguiendo este sistema, se tomarán todas las porciones de la muestra en el espesor completo en el cual está colocado el material, con el cuidado necesario para excluir cualquier material subyacente. Se deberán marcar claramente los sitios de los cuales se van a tomar las porciones. Para escoger porciones con pesos aproximadamente iguales, se debe usar una plantilla metálica.

4.4 Número y tamaño de las muestras de campo:

- 4.4.1** El número requerido de muestras a tomar en el campo (obtenido por alguno de los métodos descritos en el numeral 4.3) depende de los criterios que sean para la obra las propiedades que se van a medir con ellas. Antes de proceder al muestreo, se deben elegir las unidades de las cuales se van a tomar las muestras. El número de muestras de la producción deberá ser el necesario y suficiente para que los resultados de los ensayos que se realicen con ellas sean confiables.
- 4.4.2** Los tamaños de las muestras de campo que se mencionan más adelante, son tentativos. Estos tamaños dependerán, en definitiva, del tipo de material, de su tamaño máximo y de los ensayos a los cuales será sometido. En términos generales, las cantidades indicadas en la Tabla 201 - 1 resultan adecuadas para los ensayos rutinarios de granulometría y los análisis básicos de calidad. La toma de las porciones para ensayo a partir de las muestras de campo, se deberá realizar conforme se indica en la norma INV E-202, o como lo requiera la prueba en la cual se van a utilizar.

Tabla 201 - 1. Tamaño de la muestras

TAMAÑO DEL AGREGADO ^A	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE CAMPO ^B kg (lb)	VOLUMEN DE LA MUESTRA DE CAMPO LITROS (GALONES)
Agregado fino		
2.36 mm (No. 8)	10 (22)	8 (2)
4.75 mm (No. 4)	10 (22)	8 (2)
Agregado grueso		
9.5 mm (3/8")	10 (22)	8 (2)
12.5 mm (1/2")	15 (35)	12 (3)
19.0 mm (3/4")	25 (55)	20 (5)
25.0 mm (1")	50 (110)	40 (10)
37.5 mm (1 1/2")	75 (165)	60 (15)
50.0 mm (2")	100 (250)	80 (21)
63.0 mm (2 1/2")	125 (275)	100 (26)
75.0 mm (3")	150 (330)	120 (32)
90.0 mm (3 1/2")	175 (385)	140 (37)

^A Para agregados procesados, se debe emplear el máximo tamaño nominal indicado por la especificación aplicable. Si la especificación no indica un tamaño máximo nominal (por ejemplo, un tamiz que señale un pasante 90 – 100 %), se deberá usar el tamaño del tamiz por el cual pasa el 100% del material

^B Para combinaciones de agregados finos y gruesos (por ejemplo materiales de subbase o base), la masa mínima deberá ser la que muestra la tabla para el agregado grueso más 10 kg (22 lb)

5 DESPACHO DE LAS MUESTRAS

- 5.1 Las muestras de agregados se deben transportar en bolsas o recipientes contruidos para impedir su contaminación, la pérdida de una parte de ellas o daños debidos a un mal manejo durante el viaje.
- 5.2 Los recipientes para el envío de las muestras de agregado deben ir correctamente identificados, con el fin de facilitar su registro de entrada al laboratorio y la ejecución de los ensayos correspondientes.

6 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 75/D 75M – 09

ANEXO A (Informativo)

MUESTREO DE AGREGADOS EN PILAS Y UNIDADES DE TRANSPORTE

A.1 *Objeto:*

- A.1.1 En algunas ocasiones, es obligatorio muestrear agregados que se encuentran apilados o en unidades para su transporte. En tales casos, el procedimiento de muestreo debe asegurar que la segregación no produzca un sesgo en los resultados.

A.2 *Muestreo en pilas:*

- A.2.1 Muestrear materiales de pilas es muy difícil, por cuanto la segregación es muy frecuente cuando los agregados están apilados, debido a que las partículas gruesas ruedan hacia la base de la pila. Cuando se trate de agregados gruesos o una mezcla de agregados gruesos y finos, se debe hacer un esfuerzo por conseguir un cargador para formar una pequeña pila compuesta de materiales tomados de diferentes niveles y ubicaciones de la pila principal, de la cual se tomarán las porciones destinadas a constituir la muestra de campo. Si se requiere indicar el grado de variabilidad del material dentro de la pila principal, se deberán tomar muestras separadas de distintos lugares de la pila.

A.2.2 Si no se consigue el cargador, las muestras se pueden conseguir tomando tres porciones de material de la pila: una de la parte superior, una de la parte media y otra de la parte inferior. Empujar una tabla de madera en dirección vertical descendente justo encima del sitio escogido para el muestreo, ayuda a impedir la segregación (Figura 201A - 1). Al muestrear pilas de arena, se debe remover la capa exterior, que casi siempre está segregada, y tomar el material que se encuentra detrás. Para formar la muestra, se pueden insertar tubos de 30 mm (1.25") de diámetro por 2.0 m (6 pies) de largo, con el fin de extraer cinco porciones de la arena, en ubicaciones escogidas al azar.

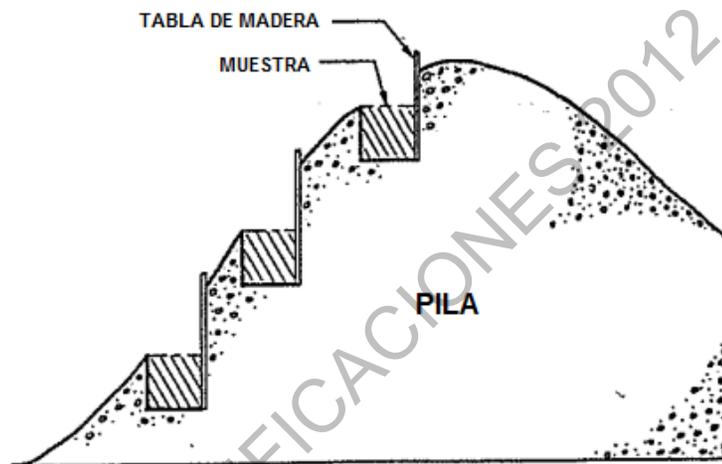


Figura 201A - 1. Muestreo en pilas

A.3 Muestreo en unidades de transporte:

A.3.1 Al muestrear agregado gruesos en vagones de ferrocarril o barcazas, se debe hacer un esfuerzo por conseguir un cargador que exponga el material de varios niveles y ubicaciones de la carga, escogidos al azar. Si no se consigue el cargador, un procedimiento habitual consiste en excavar tres o más zanjas a través de la unidad de transporte en puntos que, según la apariencia, brinden una idea razonable de las características del material. La zanja deberá tener un fondo horizontal y su profundidad y ancho deberán ser de unos 30 cm (1 pie). Empujando una pala hacia abajo, se deberá tomar un mínimo de tres porciones de material, en lugares equidistantes a lo largo de la zanja. El muestreo del agregado grueso en volquetas o similares es similar al que se acaba de describir, excepto que el número de porciones se deberá ajustar al tamaño del vehículo.

- A.3.2** Para el muestreo de arenas, se deberán usar los tubos mencionados en el numeral A.2.2, para tomar un número adecuado de porciones para formar la muestra.

ANEXO B (Informativo)

EXPLORACIÓN DE FUENTES POTENCIALES DE AGREGADOS PÉTREOS

B.1 *Objeto:*

- B.1.1** La exploración de fuentes potenciales de agregados pétreos debe ser dirigida por una persona responsable, debidamente entrenada, y con la experiencia requerida por este tipo de trabajo. Debido a la diversidad de condiciones bajo las cuales se debe hacer el muestreo, es imposible describir procedimientos detallados aplicables a todos los casos. Lo que se intenta en este anexo es, simplemente, brindar guías de tipo general.

B.2 *Muestreo en canteras y vetas:*

- B.2.1** *Inspección* – Ante todo, se debe inspeccionar el frente de la cantera o veta para determinar su estratificación. Se deberán anotar todos los cambios de color y estructura que se observen.

- B.2.2** *Muestreo y tamaño de las muestras* – De cada estrato distinguible se deberá tomar una muestra de no menos de 25 kg (55 lb). La muestra no deberá contener material intemperizado en una cuantía tal, que no resulte adecuada para los fines para los cuales se obtuvo. Al menos una pieza de cada muestra proveniente de una cantera o veta deberá tener un volumen de 150 × 150 × 100 mm (6 × 6 × 4"), con el plano de estratificación claramente definido. La pieza deberá estar libre de fracturas.

- B.2.3** *Registro* – Además de la información general que suele acompañar a todas las muestras, se requiere adjuntar los siguientes datos a las muestras provenientes de canteras y vetas:

- B.2.3.1** Volumen aproximado de la fuente. Si el volumen es muy grande, se registrará como ilimitado.

B.2.3.2 Espesor y características del material de cobertura.

B.2.3.3 Descripción detallada de la ubicación y límites del material representado por cada muestra. Para este propósito, es recomendable adjuntar fotografías, esquemas y planos que muestren la ubicación y el espesor de las diferentes capas.

B.3 *Muestreo en zonas de préstamo lateral o en depósitos aluviales:*

B.3.1 *Inspección* – En las fuentes conocidas de material aluvial, sus características y posibilidades se pueden establecer a partir de pozos hechos con anterioridad, en los cuales se puedan apreciar los posibles frentes de explotación. La fotointerpretación, la exploración geológica u otros tipos de investigación de campo, también permiten identificar la existencia de posibles depósitos de agregados pétreos.

B.3.2 *Muestreo* – Se deben tomar muestras de cada estrato que resulte distinguible. Se deberá realizar una estimación del volumen aprovechable. Si el depósito se ha venido trabajando mediante un frente abierto o un pozo, las muestras se deberán tomar haciendo una canal vertical en el frente de explotación, de abajo hacia arriba, de manera que quede bien representado el material por utilizar. En la muestra no deberá quedar incluido el material de descapote. Conviene excavar trincheras o hacer sondeos en distintos sitios del depósito, con el fin de establecer su calidad y extensión, más allá de lo que permite apreciar el frente de explotación. El número y la profundidad de las perforaciones dependerán de la cantidad de material requerido, de la topografía de la zona, de la naturaleza del depósito, de las características de los materiales y del valor potencial del material. Si la inspección visual indica que los materiales son muy variables, se deberán tomar muestras seleccionadas de cada estrato identificable. Cada muestra se deberá mezclar completamente y cuartear, si es necesario, para obtener al menos 12 kg (25 lb) si la fuente es de material arenoso y 35 kg (75 lb) si el depósito contiene una cantidad apreciable de agregado grueso.

B.3.3 *Registro* – Además de la información general que suele acompañar a todas las muestras, se requiere adjuntar los siguientes datos a las muestras provenientes de fuentes aluviales:

B.3.3.1 Ubicación de la fuente.

- B.3.3.2** Volumen útil estimado.
- B.3.3.3** Espesor y características del descapote.
- B.3.3.4** Distancia de acarreo hasta el sitio de la obra y condiciones del camino.
- B.3.3.5** Detalle sobre la ubicación y representatividad de cada muestra. Para este propósito es recomendable adjuntar fotografías, esquemas y planos que muestren la ubicación y el espesor de las diferentes capas.

ANEXO C (Informativo)

NÚMERO Y TAMAÑO DE LAS PORCIONES NECESARIAS PARA ESTIMAR LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA UNIDAD MUESTREADA

C.1 *Objeto:*

- C.1.1** Este anexo presenta los fundamentos en los cuales se basó el comité encargado de preparar la presente norma.

C.2 *Descripción de términos de aplicación específica a esta norma:*

- C.2.1** *Muestra de campo* – Una cantidad de material a ensayar, de tamaño suficiente para brindar una valoración aceptable de la calidad promedio de una muestra unitaria.
- C.2.2** *Lote* – Una cantidad aislada e importante del material que se desea controlar, producida bajo un mismo proceso. Puede corresponder a la producción de un día, a un número determinado de toneladas o de metros cúbicos, etc.
- C.2.3** *Porción de ensayo* – Cantidad suficiente de material, escogida de una muestra de campo mediante un procedimiento normalizado que asegura su representatividad y, por lo tanto, la de la unidad muestreada.

C.2.4 *Muestra unitaria* – Fracción de material que se toma de un lote. Por ejemplo, una tonelada determinada, un determinado camión, una superficie especificada, etc.

C.3 *Muestra unitaria, tamaño y variabilidad:*

C.3.1 La unidad a ser representada por un ensayo de campo no debe ser tan grande que enmascare la variabilidad significativa en la unidad, ni tan pequeña que se vea afectada por la variabilidad inherente entre las porciones reducidas de la masa de material.

C.3.2 Una unidad de toda una masa de material compuesto por agregados pétreos, está constituida por un camión cargado con ellos. Si fuese posible, se debería ensayar la carga entera del camión; pero como no lo es, la muestra de campo se deberá componer de tres o más porciones tomadas al azar cuando el material es cargado o descargado del camión. Los estudios han demostrado que tal procedimiento permite obtener, razonablemente, la granulometría promedio de los agregados que contiene el camión.

C.3.3 Donde pueda existir una variabilidad significativa en un lote de material, ella se deberá indicar a través de medidas estadísticas como, por ejemplo, la desviación estándar entre unidades del lote, elegidas al azar.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES SO/2/INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE AGREGADOS POR CUARTEO

INV E – 202 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe tres procedimientos para reducir muestras voluminosas de agregados a un tamaño apropiado para los diferentes ensayos que se necesiten realizar, empleando técnicas con las cuales se intentan minimizar las variaciones en las características medidas entre las muestras seleccionadas de la misma muestra de gran volumen.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-202-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Las especificaciones para los agregados requieren el muestreo del material para someterlo a diferentes ensayos. A igualdad de otros factores, las muestras de gran tamaño tienden a ser más representativas del total del material. Esta norma presenta procedimientos para reducir una muestra grande, obtenida en el campo o producida en el laboratorio, a un tamaño conveniente para la ejecución de pruebas descriptivas del material y establecer su calidad, de tal manera que la porción más pequeña del material muestreado sea representativa de la muestra mayor y, por lo tanto, del total del material. El incumplimiento de los procedimientos descritos en esta norma se puede traducir en la obtención de muestras faltas de representatividad para los ensayos previstos. Los métodos individuales de prueba requieren determinadas porciones mínimas de material para ensayo.
- 2.2** Bajo ciertas circunstancias, no es recomendable la reducción del tamaño de una muestra grande, antes de su ensayo. En ocasiones, no se pueden evitar diferencias sustanciales entre las diversas muestras seleccionadas para ensayo; es el caso, por ejemplo, de un agregado con muy pocas partículas de gran tamaño en la muestra. La ley de probabilidades dicta que estas pocas partículas pueden estar distribuidas desigualmente entre las muestras de tamaño reducido de los materiales de prueba. Así mismo, si la muestra está siendo examinada para ver si contiene ciertos contaminantes que se presentan, como pequeños fragmentos en porcentajes muy pequeños, se debe tener cautela al interpretar los resultados obtenidos de la muestra de ensayo de tamaño reducido. La inclusión o exclusión casual de una o dos

partículas en el material seleccionado para ensayo puede influir de manera determinante en la interpretación de las características de la muestra original. En estos casos, se debe analizar toda la muestra original.

3 SELECCIÓN DEL MÉTODO

3.1 Agregado fino – Las muestras de agregado fino más secas que aquellas en condición saturada y superficialmente seca (nota 1) se deberán reducir de tamaño por medio de un cuarteador mecánico, de acuerdo con el Método A. Las muestras que contengan humedad libre en las superficies de las partículas se pueden reducir en tamaño mediante cuarteo, de acuerdo con el Método B, o tratándolas como una pila cónica en miniatura, como se explica en el Método C.

3.1.1 Si se desea usar el Método B o el Método C y la muestra no tiene humedad natural en la superficie de las partículas, ella puede ser humedecida hasta adquirir dicha condición, mezclando completamente y reduciéndola con posterioridad.

Nota 1: El método para determinar la condición "saturada y superficialmente seca" del agregado fino se encuentra descrito en la norma de ensayo INV E-222. Para una rápida aproximación, si el agregado fino retiene su forma al ser moldeado en la mano se puede considerar que está más húmedo que si se encontrara saturado y superficialmente seco.

3.1.2 Si se desea emplear el método A y la muestra tiene humedad libre en las superficies de sus partículas, la totalidad de la muestra se deberá secar hasta, por lo menos, la condición de saturada y superficialmente seca, usando temperaturas que no excedan aquellas especificadas para cualquiera de las pruebas contempladas y, luego, reducir el tamaño de la muestra. Alternativamente, si la muestra húmeda es muy grande, se puede hacer un cuarteo preliminar usando un cuarteador mecánico que tenga una canal con aberturas anchas de 38 mm (1 ½") o más, para reducir la muestra a no menos de 5 kg (10 lb). La porción así obtenida se seca y se reduce al tamaño de prueba usando el Método A.

3.2 Agregados gruesos y mezclas de agregados finos y gruesos – La muestra se reduce usando un cuarteador mecánico, de acuerdo con lo especificado en el Método A (método preferido) o cuarteándola de acuerdo con el Método B. El método para pilas cónicas en miniatura no se permite para agregados gruesos o mezclas de agregados gruesos y finos.

4 MUESTREO

- 4.1 Las muestras de agregado se deben tomar en el campo de acuerdo con lo especificado en la norma INV E-201 o como lo requieran los métodos de prueba individuales. Cuando solo se considera la ejecución de pruebas de tamizado, el tamaño de la muestra de terreno indicado en la norma INV E-201 resulta generalmente adecuado. Cuando se deban realizar pruebas adicionales, el encargado de hacerlas se debe asegurar de que el tamaño inicial de la muestra del terreno sea adecuado para poder llevar a cabo todas las pruebas que se pretendan efectuar. Procedimientos similares se deberán usar para agregados producidos en el laboratorio.

MÉTODO A – CUARTEADOR MECÁNICO

5 EQUIPO

- 5.1 *Cuarteador de muestras* – Los cuarteadores de muestras deben tener un número par de ductos de ancho igual, que no será menor de ocho (8) para agregados gruesos, o de doce (12) para agregados finos, los cuales descargan alternativamente por ambos lados del cuarteador. Para agregados gruesos y agregados mixtos, el ancho mínimo de cada ducto deberá ser, aproximadamente, cincuenta por ciento (50 %) mayor que la partícula más grande en la muestra que se va a cuartear. Para agregados finos secos en los cuales la totalidad de la muestra pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8"), se debe usar un cuarteador con ductos de 12 a 20 mm (½" a ¾") de abertura. El cuarteador y sus accesorios deberán estar diseñados de manera que la muestra fluya suavemente sin restricciones o pérdidas de material (Figuras 202 - 1 y 202 - 2).

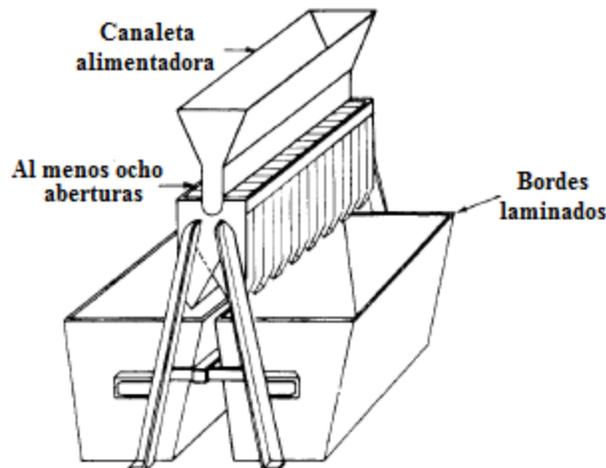


Figura 202 - 1. Cuarteador mecánico para agregado grueso

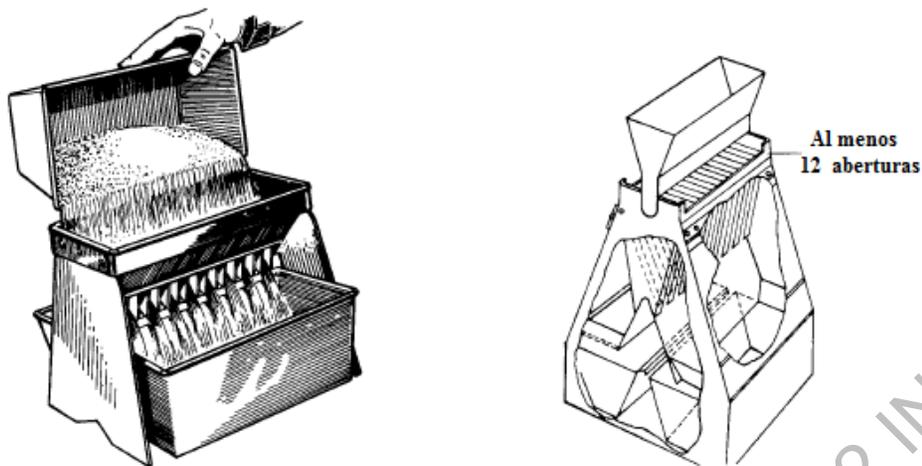


Figura 202 - 2. Cuarteador mecánico para agregado fino

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se coloca la muestra original en la canaleta alimentadora, distribuyéndola uniformemente de lado a lado, de tal manera que al ser introducida por los ductos pasen cantidades aproximadamente iguales a través de cada uno (Figura 202 - 3). La velocidad a la cual se debe introducir la muestra debe ser tal, que permita su libre descenso por los ductos hacia los recipientes inferiores. Se reintroduce en el cuarteador la porción de la muestra que está en uno de los recipientes inferiores, repitiendo el proceso cuantas veces sea necesario para reducir la muestra al tamaño especificado para la prueba para la cual se necesita. La porción del material reunido en el otro recipiente inferior se puede conservar, para ser reducida en tamaño y empleada en pruebas futuras.



Figura 202 - 3. Distribución del agregado en la canaleta alimentadora

MÉTODO B – CUARTEO MANUAL

7 EQUIPO

- 7.1** El equipo debe incluir una pala de borde recto, una pala común, un palustre; escoba o cepillo; y una pieza de lona de, aproximadamente, 2 × 2.5 m (6 × 8 pies).

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Se debe usar cualquiera de los procedimientos descritos en los numerales 8.1.1 u 8.1.2, o una combinación de ambos.

8.1.1 Se coloca la muestra original sobre una superficie dura, limpia y nivelada, donde no se presente pérdida del material ni adición accidental de otros materiales. Se mezcla el material completamente, volteando la totalidad de la muestra tres veces. Con la última vuelta, se forma una pila cónica depositando cada palada encima de la anterior. Se aplanar cuidadosamente la pila cónica para conseguir un espesor y un diámetro uniformes, presionando su vértice con una pala, con el fin de que cada cuarto de la pila resultante contenga el material original de la pila. Este diámetro deberá ser, aproximadamente, de cuatro a ocho veces su espesor. Se divide la muestra aplanada en cuatro cuartos iguales usando una pala o un palustre y se retiran dos cuartos diagonalmente opuestos incluyendo todo el material fino, y se barren totalmente los espacios resultantes. Se repite la anterior operación hasta que la muestra quede reducida al tamaño deseado (Figura 202 - 4).

8.1.2 Como una alternativa al procedimiento descrito en el numeral 8.1.1, cuando la superficie del piso es irregular, la muestra del terreno se puede colocar sobre una lona y mezclar con una pala como se describe en el numeral 8.1.1, o levantando cada una de las esquinas de la lona alternativamente y doblándola diagonalmente hacia la esquina opuesta, de tal manera que el material quede totalmente mezclado. Se aplanar la pila como se indica en el numeral 8.1.1. En seguida, se divide la muestra como se describe en el mismo numeral o, si la superficie bajo la lona es irregular, se inserta un palo o un tubo por debajo de la lona y del centro de la pila y se levantan luego los extremos de dicho palo o tubo, dividiendo así la muestra en dos partes iguales. Se retira el

palo o tubo (lo que se haya empleado) dejando un doblez de la lona entre las dos porciones. Se inserta nuevamente el palo o tubo por debajo del centro de la pila ortogonalmente a la primera división y, de nuevo, se levantan los extremos del palo o tubo dividiendo, de esta manera, el material en cuatro partes iguales. Se retiran dos cuartos diagonalmente opuestos, teniendo cuidado de limpiar cuidadosamente el material fino que queda en la lona. Se mezcla y se cuarteo sucesivamente el material restante, hasta que la muestra quede reducida al tamaño deseado (Figura 202 - 5).

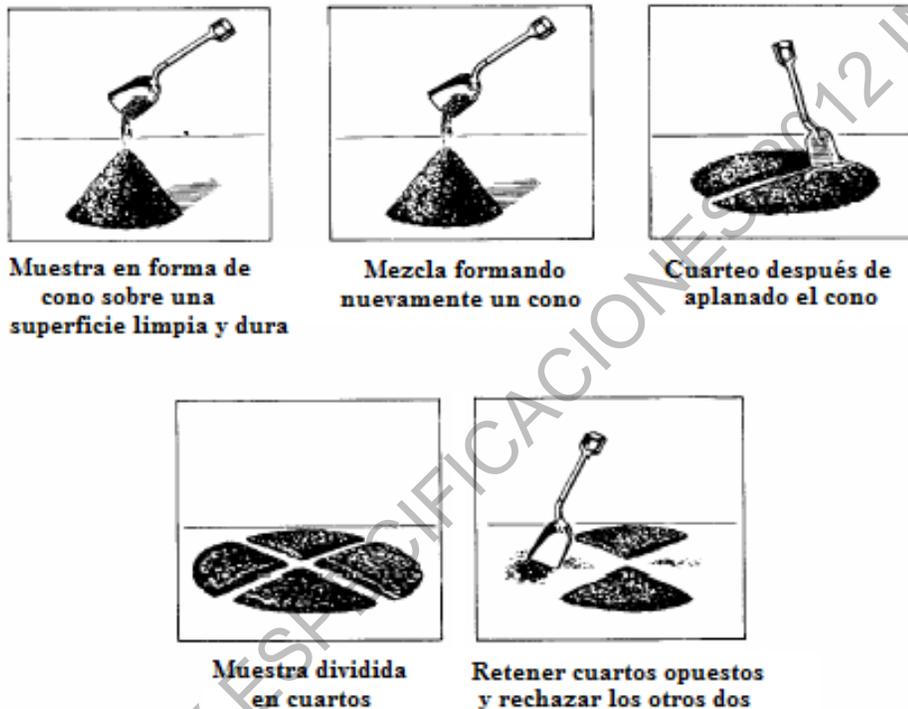


Figura 202 -4. Cuarteo manual sobre superficie limpia, dura y nivelada



Figura 202 - 5. Cuarteo manual sobre una lona

MÉTODO C – MUESTREO DE PILAS CÓNICAS EN MINIATURA (SOLO PARA AGREGADO FINO)

9 EQUIPO

- 9.1** El equipo debe incluir una pala de borde recto, una pala común o un palustre para mezclar el agregado, un recogedor pequeño de muestras, una pala pequeña o una cuchara para muestreo.

10 PROCEDIMIENTO

- 10.1** Se coloca la muestra original de agregado fino húmedo sobre una superficie dura, limpia y nivelada, en la cual no ocurra ni pérdida de material ni adición accidental de otros materiales. Se mezcla el material completamente volteando la totalidad de la muestra tres veces. Con la última vuelta se usa la pala para formar una pila cónica depositando cada palada encima de la anterior. Si se desea, se puede aplanar la pila cónica presionando su vértice con la pala hasta lograr un diámetro y un espesor uniformes, de tal manera que cada cuarto de la pila aplanada contenga el material original de la muestra (Figura 202 - 6). Se obtiene una muestra para cada ensayo, seleccionando al menos cinco porciones de material, obtenidas al azar en distintos lugares de la pila miniatura, usando para ello cualquiera de los artefactos descritos en el numeral 9.1.



Figura 202 - 6. Aplanamiento de la pila miniatura

11 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM C 702/C702M – 11

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, VASTM C 702,
["http://www.youtube.com/watch?v=tChZLIEO1Sk&feature=relmfu"](http://www.youtube.com/watch?v=tChZLIEO1Sk&feature=relmfu)

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS

INV E – 211 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método se refiere a la determinación aproximada de los terrones de arcilla y de las partículas deleznableles (friables) en los agregados.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-211-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Este ensayo es de importancia fundamental para aprobar el empleo de agregados destinados a la elaboración de concretos hidráulicos.

3 EQUIPO

- 3.1 *Balanza* – Con aproximación de lectura del 0.1 % de la masa de cualquier porción de la muestra de ensayo.
- 3.2 *Recipientes* – Resistentes a la oxidación, de tamaño y forma que permitan que la muestra se extienda en su fondo, en una capa delgada.
- 3.3 *Tamices* – De 37.5 mm (1½"), 19.0 mm (¾"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No. 4), 1.18 mm (No. 16) y 75 µm (No. 200).
- 3.4 *Horno* – Que permita libre circulación de aire y que pueda mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

4 MUESTRA

- 4.1 Los agregados para este ensayo estarán constituidos por el material que quede después de la conclusión del ensayo para la determinación de materiales finos que pasan el tamiz de 75 µm (No. 200), según la norma INV E-214. Para obtener las cantidades a las que se refieren los numerales 4.3 y 4.4, puede ser

necesario combinar material proveniente de más de un ensayo efectuado por el método mencionado.

- 4.2** El agregado se deberá secar, hasta obtener masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.3** La muestra de agregado fino para ensayo deberá consistir en partículas más gruesas que el tamiz de 1.18 mm (No. 16) y su masa no deberá ser menor de 25 g.
- 4.4** Las muestras de agregado grueso para ensayo se deberán separar en diferentes tamaños, empleando los siguientes tamices: 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm ($3/8''$), 19.0 mm ($3/4''$) y 37.5 mm ($1\frac{1}{2}''$). La muestra para el ensayo no deberá tener una masa inferior a la que se indica en el siguiente cuadro:

TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS ENTRE LOS TAMICES DE	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO, g
4.75 - 9.5 mm (No. 4 - $3/8''$)	1000
9.5 - 19.0 mm ($3/8''$ - $3/4''$)	2000
19.0 - 37.5 mm ($3/4''$ - $1\frac{1}{2}''$)	3000
Mayores de 37.5 mm ($1\frac{1}{2}''$)	5000

- 4.5** En el caso de mezclas de agregados finos y gruesos, el material se deberá separar por el tamiz de 4.75 mm (No. 4), y las muestras correspondientes se deberán preparar de acuerdo con los numerales 4.3 y 4.4.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Se determina la masa de la muestra de ensayo con la precisión especificada en el numeral 3.1 y se extiende en una capa delgada sobre el fondo del recipiente, cubriéndola con agua destilada y dejándola en remojo durante 24 ± 4 horas. Se ruedan y aprietan individualmente las partículas, entre el pulgar y el índice, para tratar de romperlas en tamaños más pequeños. No se deberán emplear las uñas para romper las partículas, ni presionarlas una contra otra o contra una superficie dura. Las partículas que se puedan romper con los dedos convirtiéndolas en finos removibles mediante tamizado en húmedo, se clasificarán como terrones de arcilla o partículas deleznales. Después de que se hayan fragmentado todas las partículas identificables como terrones de

arcilla y partículas deleznable, se separan los detritos de la parte restante mediante tamizado en húmedo, usando el tamiz que se indica en el cuadro que se muestra en seguida. Se efectúa el tamizado en húmedo haciendo circular agua sobre la muestra a través del tamiz, mientras éste se agita manualmente, hasta que se remueva todo el material más pequeño.

INTERVALOS DE TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS QUE FORMAN LA MUESTRA	TAMAÑO DEL TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES
Agregado fino retenido sobre el tamiz de 1.18 mm (No. 16)	850 μm (No. 20)
4.75 - 9.5 mm (No. 4 - 3/8")	2.36 mm (No. 8)
9.5 - 19.0 mm (3/8" - 3/4")	4.75 mm (No. 4)
19.0 - 37.5 mm (3/4" - 1½")	4.75 mm (No. 4)
Mayor de 37.5 mm (1½")	4.75 mm (No. 4)

- 5.2** Se remueven cuidadosamente del tamiz las partículas retenidas, se secan hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), se dejan enfriar y se determina su masa con aproximación de lectura al 0.1 % de la masa de la muestra de ensayo definida en el numeral 4.3 o el numeral 4.4, según corresponda.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados finos o en los tamaños individuales de los agregados gruesos, en la siguiente forma:

$$P = \frac{M - R}{M} \times 100 \quad [211.1]$$

Donde: P: Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznable;

M: Masa de la muestra de ensayo. Para los agregados finos, corresponde a la masa de la porción más gruesa que el tamiz de 1.18 mm (No. 16), como se describe en el numeral 4.3. Para

los agregados gruesos, corresponde a la masa de la fracción respectiva;

R: Masa de las partículas retenidas sobre el tamiz designado para remover el residuo, determinada de acuerdo con el numeral 5.2.

- 6.2** Para los agregados gruesos, el porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales, deberá ser un promedio basado en el porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales en cada fracción, ponderado de acuerdo con la granulometría de la muestra original antes de la separación o, preferiblemente, la granulometría promedio del suministro representado por la muestra. Si el agregado contiene menos del 5% de cualquiera de los tamaños especificados en el numeral 5.1, no se deberá ensayar dicho tamaño sino que, para fines del cálculo del promedio ponderado, se deberá considerar que contiene el mismo porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales que el tamaño inmediatamente mayor o inmediatamente menor, cualquiera de ellos que se halle presente.

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1** *Precisión* – La estimación de la precisión de esta prueba es provisional y se basa en muestras de un agregado fino el cual fue ensayado por diez operarios distintos en nueve laboratorios diferentes. Para esta muestra, el promedio de “porcentaje de fragmentos de arcilla y partículas deleznales” fue de 1.2 %, con una desviación estándar de 0.6 %. Basado en esta desviación, el rango aceptable de los resultados de dos pruebas hechas sobre muestras del mismo agregado, enviadas a diferentes laboratorios, es de 1.7 %.
- 7.2** *Sesgo* – Aún no existe información de referencia que resulte aceptable para determinar el sesgo para el procedimiento descrito en esta norma; por lo tanto, no se hace ninguna declaración al respecto.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 142/C 142M – 10

PRESENCIA DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN ARENAS USADAS PARA LA PREPARACIÓN DE MORTEROS O CONCRETOS

INV E – 212 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe dos procedimientos para determinar, de manera aproximada, la presencia de impurezas orgánicas nocivas en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos de cemento hidráulico. Uno de los procedimientos emplea una solución de color de referencia y el otro usa vidrios de colores de referencia.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-212-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** La importancia de este método de ensayo radica en el hecho de proporcionar una advertencia sobre la presencia de impurezas orgánicas nocivas en el agregado fino. Cuando una muestra sometida a este ensayo produce un color más oscuro que el color de referencia, es aconsejable ejecutar la prueba para determinar el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia del mortero (norma ASTM C-87).

3 EQUIPO Y MATERIALES

- 3.1** *Botellas de vidrio incoloro* – Graduadas en milímetros u onzas, con una capacidad nominal aproximada 240 a 470 ml (8 a 16 onzas), equipadas con tapas o tapones herméticos, insolubles en los reactivos especificados. En ningún caso, el espesor del vidrio de las botellas, medido a lo largo de la línea visual usada para la comparación del color, podrá ser mayor que 63.5 mm (2 ½") o menor que 38.1 mm (1 ½"). Se pueden usar botellas sin graduaciones, si se cumple el requisito sobre espesor y si el usuario las calibra y les coloca marcas de graduación en los tres niveles siguientes:

3.1.1 Nivel para la solución de color de referencia – 75 ml (2.5 onzas).

3.1.2 Nivel para el agregado fino – 130 ml (4.5 onzas).

3.1.3 Nivel para la solución de hidróxido de sodio – 200 ml (7 onzas).

3.2 *Vidrios de colores de referencia* – Se deberán usar los descritos en la Tabla 212 - 1.

Nota 1: Un instrumento apropiado consiste en 5 vidrios de color estándar montados en un soporte plástico. El vidrio identificado como color Gardner de referencia No. 11 es el usado para comparación en el numeral 6.2.

3.3 *Reactivos:*

3.3.1 *Solución de hidróxido de sodio (3 %)* – Se disuelven 3 partes de hidróxido de sodio (NaOH) en masa, en 97 partes de agua destilada.

3.3.2 *Solución de color de referencia* – Se disuelve bicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) de grado reactivo en ácido sulfúrico concentrado (gravedad específica = 1.84), en una relación de 0.250 g de bicromato de potasio por cada 100 ml de ácido, empleando calor, si fuere necesario, para efectuar la solución.

Tabla 212 - 1. Escala de vidrios de colores de referencia

COLOR GARDNER DE REFERENCIA No.	PLACA ORGÁNICA No.
5	1
8	2
11	3 (referencia)
14	4
16	5

4 MUESTREO

4.1 En general, la muestra se deberá escoger de acuerdo con la norma INV E-201. De la muestra enviada para el ensayo, secada únicamente al aire, se toman unos 450 g (1 lb), por el método de cuarteo manual o mecánico, según la norma INV E-202.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Se coloca arena en la botella hasta completar un volumen aproximado de 130 ml (nivel para el agregado fino).

- 5.2 Se añade la solución de hidróxido de sodio, hasta que el volumen total de arena y líquido, después de agitado, sea aproximadamente igual a 200 ml (nivel para la solución de hidróxido de sodio).
- 5.3 Se tapa la botella, se agita vigorosamente y se deja reposar por 24 horas.

6 DETERMINACIÓN DEL COLOR DE REFERENCIA

- 6.1 *Método de la solución de color de referencia* – Al final del período de 24 horas de reposo, se llena otra botella de vidrio con la solución de color de referencia, la cual debe haber sido preparada dentro de las dos horas previas a la comparación, hasta completar un volumen aproximado de 75 ml (2.5 onzas) y se compara su color con el del líquido que sobrenada en la solución que contiene la arena. La comparación de colores se hace poniendo juntas la botella que contiene la muestra y la que contiene la solución de color de referencia, y mirando a través de ellas contra un fondo claro (Figura 212 - 1). Se anota si el color del líquido que sobrenada por encima de la muestra es más claro, más oscuro o igual que el color de la solución de color de referencia.
- 6.2 *Método de los vidrios de colores de referencia* – Para definir con mayor precisión el color del líquido que sobrenada sobre la muestra de ensayo, se deben utilizar cinco vidrios de color, de acuerdo con la Tabla 212 - 1.

Nota 2: Se debe aplicar el procedimiento de comparación descrito en el numeral 6.1, y el resultado del ensayo es el número de la placa orgánica cuyo color sea más parecido al del color del líquido que sobrenada la muestra.



Figura 212 - 1. Comparación de colores

7 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

- 7.1** Se considera que, posiblemente, la arena contiene componentes orgánicos perjudiciales, cuando el color del líquido que sobrenada por encima de la muestra de ensayo es más oscuro que el color de referencia o que la placa orgánica No. 3 (color Gardner de referencia No. 11). En tal caso, es aconsejable efectuar ensayos complementarios, antes de aprobar la arena para su utilización en la fabricación de morteros o concretos hidráulicos.

8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** Por tratarse de ensayos cualitativos y no cuantitativos, no es posible establecer la precisión ni el sesgo de los resultados.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 40/C40M – 11

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO

INV E – 213 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados grueso y fino de un material, por medio de tamizado.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–213–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Una muestra de agregado seco, de masa conocida, se separa a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente más pequeñas, con el fin de determinar la distribución de los tamaños de sus partículas.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Este método se usa, principalmente, para determinar la granulometría de los materiales propuestos como agregados o que se están usando como tales. Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de las especificaciones en relación con la distribución de partículas y para suministrar los datos necesarios para el control de la producción de los agregados y de las mezclas que los contengan. Los datos pueden servir, también, para el estudio de relaciones referentes a la porosidad y al empaquetamiento entre partículas.
- 3.2 La determinación exacta del material que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) no se puede lograr mediante este ensayo. El método de ensayo que se debe emplear para ello, es el indicado en la norma INV E–214.

4 EQUIPO

- 4.1 *Balanzas* – La legibilidad y la exactitud de las balanzas empeladas para la determinación de la granulometría de los agregados grueso y fino, son las siguientes:

- 4.1.1** Para el agregado fino, la aproximación de lectura y la exactitud deben ser 0.1 g o 0.1 % de la masa de ensayo, la que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.
- 4.1.2** Para el agregado grueso o las mezclas de agregados grueso y fino, la aproximación de lectura y la exactitud deben ser 0.5 g o 0.1 % de la carga de ensayo, la que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.
- 4.2** *Tamices* – Se debe disponer de la serie adecuada de tamices de ensayo para obtener la información deseada, de acuerdo con la especificación para el material que se ensaya. Los marcos de los tamices se deberán acoplar de forma que se evite cualquier pérdida de material durante el proceso de tamizado.
- Nota 1: Se recomienda la utilización de tamices con marcos más grandes que el estándar de 203.2 mm (8") de diámetro para el ensayo de agregado grueso, con el fin de reducir la posibilidad de sobrecarga de los tamices.*
- 4.3** *Tamizadora mecánica* – Una tamizadora mecánica que imparta un movimiento vertical, o lateral y vertical a los tamices, de manera que al producir rebotes y giros en las partículas del agregado, éstas presenten diferentes orientaciones con respecto a la superficie de tamizado. La acción tamizadora deberá ser tal, que el criterio para dar por terminado el tamizado, descrito en el numeral 6.4, se satisfaga en un período de tiempo razonable.
- Nota 2: Se recomienda el empleo de una tamizadora mecánica cuando la masa de la muestra por tamizar sea de 20 kg o mayor. Un tiempo excesivo (más de 10 minutos) para realizar un tamizado adecuado se puede traducir en degradación de la muestra. La misma tamizadora mecánica puede no resultar práctica para todos los tamaños de muestras, puesto que la mayor área de tamizado requerida para tamizar un agregado grueso de tamaño nominal grande, muy probablemente se traducirá en la pérdida de una porción de la muestra, si se usa con una muestra más pequeña de agregado grueso o fino.*
- 4.4** *Horno* – De tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

5 MUESTRA

- 5.1** Las muestras para el ensayo se deben obtener de acuerdo con la norma INV E-201. El tamaño de la muestra debe ser el indicado en dicha norma o cuatro veces la cantidad requerida en los numerales 5.4 y 5.5, el que sea mayor.
- 5.2** La muestra se deberá mezclar completamente y reducir a un tamaño apropiado para el ensayo, utilizando el procedimiento que sea aplicable entre los descritos en la norma INV E-202. La muestra, una vez cuarteada, deberá

tener la masa seca aproximada requerida para el ensayo. No está permitido seleccionar la muestra con una masa exacta predeterminada.

Nota 3: Donde el análisis de tamizado, incluyendo la determinación de material menor de 75 μm (tamiz No. 200), sea la única prueba por realizar, el tamaño de la muestra se puede reducir en el campo, evitando así el envío de cantidades excesivas de material extra al laboratorio.

- 5.3 Agregado fino** – Después de secada, la muestra de agregado fino para el análisis granulométrico deberá tener una masa mínima de 300 g.
- 5.4 Agregado grueso** – La masa mínima de la muestra de agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secada, depende del tamaño máximo nominal del agregado, como se indica en el siguiente cuadro:

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL TAMICES CON ABERTURAS CUADRADAS mm (pg.)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO Kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (½)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1½)	15 (33)
50.0 (2)	20 (44)
63.0 (2½)	35 (77)
75.0 (3)	60 (130)
90.0 (3½)	100 (220)
100.0 (4)	150 (330)
125.0 (5)	300 (660)

- 5.5 Mezclas de agregados gruesos y finos** – La muestra deberá tener la misma masa recomendada en el numeral 5.4 para los agregados gruesos.
- 5.6 Muestras de agregado grueso con partículas muy grandes** – La cantidad de muestra que se requiere cuando los agregados tienen un tamaño máximo nominal mayor o igual a 50 mm (2") es tal, que no permite la reducción y el ensayo de una muestra apropiada, salvo que se disponga de cuarteadores y tamizadoras mecánicas de gran tamaño. Como una alternativa en el caso frecuente de no contar con dicho equipo, el tamizado se realiza dividiendo la muestra total en varias porciones aproximadamente iguales (que se tamizarán por separado), de manera que la suma de ellas cumpla el requisito de masa mínima indicado en el numeral 5.4.

- 5.7** Si se va a determinar la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) según la norma INV E-214, se procede como sigue:
- 5.7.1** Si los agregados tienen un tamaño máximo nominal de 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ " o menor, se utiliza la misma muestra para realizar los ensayos por el método descrito en la norma INV E-214 y por el presente método. Primero, se ensaya la muestra en acuerdo con la norma INV E-214 hasta la operación de secado final y, posteriormente, se tamiza la muestra seca como se estipula en los numerales 6.2 a 6.7 de esta norma.
- 5.7.2** Si los agregados tienen un tamaño máximo nominal mayor de 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "), se puede utilizar una sola muestra de ensayo como se describe en el numeral 5.7.1 o bien, se pueden utilizar muestras independientes y seguir con una de ellas el método de la norma INV E-214 y con la otra el método descrito en esta norma.
- 5.7.3** Si la especificación exige la determinación de la cantidad total de material que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) por lavado y en seco, se utiliza el método descrito en el numeral 5.7.1.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se seca la muestra a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), hasta obtener masa constante.

Nota 4: Cuando se deseen resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para este ensayo, debido a que el resultado se afecta poco por el contenido de humedad a menos que: (1) el tamaño máximo nominal sea menor de 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "); (2) el agregado grueso contenga una cantidad apreciable de finos menores de 4.75 mm (No. 4); o (3) el agregado grueso sea altamente absorbente (por ejemplo, un agregado liviano). También, las muestras se pueden secar mediante placas calientes sin afectar los resultados, a condición de que el vapor escape sin generar presiones que fracturen las partículas y de que la temperatura no sea tan alta que produzca la descomposición química del agregado.

- 6.2** Se selecciona un grupo de tamices de tamaños adecuados para suministrar la información requerida por la especificación del material que se va a ensayar. El uso de tamices adicionales es aconsejable o necesario si se desea otro tipo de información, tal como el módulo de finura, o para regular la cantidad de material sobre un determinado tamiz. Se encajan los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura y se coloca la muestra (o la porción de muestra si el material se va a tamizar por porciones) sobre el tamiz superior (Figura 213 - 1). Se agitan los tamices a mano o por medio de la tamizadora mecánica durante un período adecuado (Figura 213 - 2), establecido por

tanteos o verificado mediante medidas sobre la muestra real, satisfaciendo el criterio mencionado en el numeral 6.4.



Figura 213 - 1. Colocación de la muestra sobre el tamiz de mayor abertura



Figura 213 - 2. Agitación con la tamizadora mecánica

6.3 La cantidad de material sobre un tamiz dado se debe limitar de forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación de tamizado. La masa retenida en tamices con aberturas menores de 4.75 mm (No. 4), cuando se complete la operación de tamizado, no debe ser mayor de 7 kg/m² de superficie de tamizado (nota 5). Para tamices con aberturas de 4.75 mm (No. 4) y mayores, la cantidad retenida, en kg, no deberá exceder el producto de $2.5 \times (\text{abertura del tamiz en mm} \times \text{área efectiva de tamizado en m}^2)$. Esta cantidad se muestra en la Tabla

213 - 1 para 5 tamices con dimensiones de uso común. En ningún caso, la masa retenida debe ser tan grande que produzca una deformación permanente en la malla del tamiz.

6.3.1 La sobrecarga de un tamiz se puede prevenir siguiendo alguno de estos procedimientos:

6.3.1.1 Insertando un tamiz adicional, de abertura intermedia entre la del tamiz sobrecargado y la del inmediatamente superior en el juego original de tamices.

6.3.1.2 Dividiendo la muestra en dos o más porciones, las cuales se tamizan individualmente. Luego se combinan las masas de las fracciones retenidas en un mismo tamiz, para calcular el porcentaje de la muestra retenida en él.

6.3.1.3 Empleando tamices con marco de mayor diámetro, los cuales tienen una mayor área de tamizado.

Nota 5: La cantidad de 7 kg/m² equivale a 200 g para el diámetro usual de 203.2 mm (8") de los marcos de los tamices.

Tabla 213 - 1. Cantidad máxima permitida de material retenido en un tamiz (kg)

TAMAÑO DE LA ABERTURA DEL TAMIZ, mm	FORMA Y DIMENSIÓN NOMINAL DEL MARCO DEL TAMIZ				
	CIRCULAR	CIRCULAR	CIRCULAR	CUADRADO	RECTANGULAR
	203.2 mm (8")	254 mm (10")	304.8 mm (12")	350 × 350 mm (14" × 14")	372 × 580 mm (15" × 24")
	ÁREA DE TAMIZADO, m ²				
	0.0285	0.0457	0.0670	0.1225	0.2158
125	C	C	C	C	67.4
100	C	C	C	30.6	53.9
90	C	C	15.1	27.6	48.5
75	C	8.6	12.6	23.0	40.5
63	C	7.2	10.6	19.3	34.0
50	3.6	5.7	8.4	15.3	27.0
37.5	2.7	4.3	6.3	11.5	20.7
25.0	1.8	2.9	4.2	7.7	13.5
19.0	1.4	2.2	3.2	5.8	10.2
12.5	0.89	1.4	2.1	3.8	6.7
9.5	0.67	1.1	1.6	2.9	5.1
4.75	0.33	0.54	0.80	1.5	2.6

C:Esto indica que los tamices tienen menos de 5 aberturas completas y no deben ser usados en el ensayo de tamizado, excepto en el caso indicado en el numeral 6.6

- 6.4** Se continúa el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado no más del 1 % de la masa de material retenido en un tamiz pase por este tamiz, tras un (1) minuto de tamizado continuo a mano, realizado de la siguiente manera: Se sostiene el tamiz en una posición ligeramente inclinada en una mano, con su tapa y un fondo ajustados sin holgura. Se golpea bruscamente el lado del tamiz y, con un movimiento hacia arriba contra el talón de la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, se va girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. En la determinación de la suficiencia del tamizado para tamaños de abertura mayores de 4.75 mm (No. 4), se debe limitar el material sobre el tamiz a una sola capa de partículas. Si el tamaño del marco del tamiz que se está usando es muy grande y hace impracticable el movimiento de tamizado descrito, se deberán usar tamices con marco de 203.2 mm (8") de diámetro para comprobar la suficiencia del tamizado.
- 6.5** En el caso de mezclas de agregados gruesos y finos, se deben consultar los procedimientos del numeral 6.3.1 para prevenir sobrecargas de los tamices individuales.
- 6.5.1** Como alternativa, se puede reducir la fracción menor de 4.75 mm (No. 4), empleando un cuarteador de acuerdo a la norma INV E-202. Si se sigue este procedimiento, la masa de la fracción de cada tamaño respecto de la masa muestra original se calcula así:

$$A = \frac{M_1}{M_2} \times B \quad [213.1]$$

- Donde: A: Masa de la fracción de cada tamaño en la muestra total;
- M₁: Masa de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) en la muestra total;
- M₂: Masa de la porción reducida de material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) realmente tamizada;
- B: Masa de la fracción del tamaño en cuestión, en la porción reducida realmente tamizada.

- 6.6** Si no se usa una tamizadora mecánica, las partículas mayores de 75 mm (3") se deberán tamizar a mano, determinando la abertura más pequeña de tamiz por

la cual pasa la partícula. El ensayo se comienza con el tamiz de menor abertura de los que van a ser usados. Las partículas se rotan, si es necesario, con el fin de determinar si ellas pasan o no a través de dicho tamiz; sin embargo, no se deberán forzar para obligarlas a pasar por las aberturas.

- 6.7** Se determina la masa de la fracción retenida en cada tamiz, empleando una balanza que cumpla lo especificado en el numeral 4.1. La masa total del material después del tamizado debe ser muy cercana a la masa de la muestra original colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más de 0.3 % de la masa original de la muestra seca, los resultados no se podrán usar con fines de aceptación.
- 6.8** Si la muestra se ensayó primero de acuerdo con la norma INV E-214, la masa de material que pasó el tamiz de 75 μm (No. 200) en dicho ensayo se deberá sumar a la masa de material más fino que el tamiz de 75 μm (No. 200) determinada mediante el tamizado en seco de la misma muestra en el presente método de ensayo.

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calculan los siguientes porcentajes: (1) el porcentaje que pasa, (2) el porcentaje total retenido, o (3) el porcentaje de las fracciones de diferentes tamaños, redondeados a 0.1%, con base en la masa total de la muestra inicial seca. Si la muestra fue primero ensayada por el método INV E-214, se deberá incluir la masa del material más fino que el tamiz de 75 μm (No. 200) por lavado en los cálculos del análisis por tamizado, y se usa el total de la masa de la muestra seca antes del lavado en el ensayo según el método INV E-214, como base para calcular todos los porcentajes.
- 7.2** Cuando la muestra se haya ensayado por porciones, como se describió en el numeral 5.6, se deberán totalizar las masas de todas las porciones retenidas en cada tamiz y usar dichos totales para calcular el porcentaje como se describe en el numeral 7.1.
- 7.3** Se calcula el módulo de finura, cuando así se prescriba, sumando los porcentajes totales de material en la muestra, retenidos en los tamices siguientes (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma por 100: 150 μm (No. 100), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30), 1.18 μm (No. 16), 2.36 mm (No. 8), 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm (3/8"), 19.0 mm (¾"), 37.5 mm (½"), y mayores que aumenten en relación 2 a 1.

8 INFORME

- 8.1** Dependiendo de las especificaciones para el uso del material que está siendo ensayado, el informe deberá incluir:
- 8.1.1** Porcentaje total de material que pasa cada tamiz, o
 - 8.1.2** Porcentaje total de material retenido en cada tamiz, o
 - 8.1.3** Porcentaje de material retenido entre tamices consecutivos.
- 8.2** Los porcentajes se deben expresar redondeados al entero más próximo, con excepción del porcentaje que pasa tamiz de 75 μm (No. 200), cuyo resultado se expresará redondeado a 0.1 %, si el valor es menor que el 10 %.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – Los estimativos sobre la precisión del método, mostrados en la Tabla 213 - 2, se basan en los resultados obtenidos en el *AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Samples Program*, a partir de ensayos realizados por el método descrito en la presente norma. Los datos se basan en el análisis de resultados de ensayos obtenidos en 65 a 233 laboratorios que ensayaron 18 pares de muestras de agregados gruesos, y los resultados de 74 a 222 laboratorios que ensayaron 17 pares de muestras de agregados finos. Los valores que aparecen en la tabla están dados para diferentes rangos del porcentaje total de agregado pasante de un tamiz.
- 9.1.1** Los valores de precisión para el agregado fino se basan en muestras de ensayo de 500 g nominales. La revisión de la norma ASTM C-136 en 1994, permitió reducir el tamaño de las muestras de agregado fino a un mínimo de 300 g. El análisis de los resultados de los ensayos sobre un par de muestras de 300 g y de 500 g arrojaron los valores de precisión que se muestran en la Tabla 213 - 3, los cuales indican sólo una diferencia mínima, debido al tamaño de las muestras de ensayo.
- 9.2** *Sesgo* – Puesto que no hay ningún material de referencia aceptado para determinar el sesgo en este método de ensayo, no se hace declaración en relación con él.

10 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM C-136 – 06

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, Técnico en Laboratorio de Concreto Grado I, "<http://www.youtube.com/watch?v=JArCt-s--8Q&feature=relmfu>"

Tabla 213 - 2. Precisión

	Porcentaje total de material que pasa		Desviación estándar (1s) %	Rango aceptable de dos resultados (d2s) %	
<i>Agregado grueso.^A</i> Precisión de un solo operario	<100	≥95	0.32	0.9	
	<95	≥85	0.81	2.3	
	<85	≥80	1.34	3.8	
	<80	≥60	2.25	6.4	
	<60	≥20	1.32	3.7	
	<20	≥15	0.96	2.7	
	<15	≥10	1.00	2.8	
	<10	≥5	0.75	2.1	
	<5	≥2	0.53	1.5	
	<2	>0	0.27	0.8	
Precisión entre laboratorios	<100	≥95	0.35	1.0	
	<95	≥85	1.37	3.9	
	<85	≥80	1.92	5.4	
	<80	≥60	2.82	8.0	
	<60	≥20	1.97	5.6	
	<20	≥15	1.60	4.5	
	<15	≥10	1.48	4.2	
	<10	≥5	1.22	3.4	
	<5	≥2	1.04	3.0	
	<2	>0	0.45	1.3	
<i>Agregado fino.</i> Precisión de un solo operario	<100	≥95	0.26	0.7	
	<95	≥60	0.55	1.6	
	<60	≥20	0.83	2.4	
	<20	≥15	0.54	1.5	
	<15	≥10	0.36	1.0	
	<10	≥2	0.37	1.1	
	<2	>0	0.14	0.4	
	Precisión entre laboratorios	<100	≥95	0.23	0.6
		<95	≥60	0.77	2.2
		<60	≥20	1.41	4.0
<20		≥15	1.10	3.1	
<15		≥10	0.73	2.1	
<10		≥2	0.65	1.8	
<2		>0	0.31	0.9	

^A Los estimativos de precisión se basan en agregados con tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4")

Tabla 213 - 3. Datos de precisión de muestras de 300 y 500 g

Parámetro medido	Prueba de competencia de la muestra de agregado fino			Un laboratorio		Varios laboratorios	
	Tamaño de la muestra	No. laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
% de material que pasa el tamiz No. 4	500 g	285	99.992	0.027	0.066	0.037	0.104
	300 g	276	99.990	0.021	0.060	0.042	0.117
% de material que pasa el tamiz No. 8	500 g	281	84.10	0.43	1.21	0.63	1.76
	300 g	274	84.32	0.39	1.09	0.69	1.92
% de material que pasa el tamiz No. 16	500 g	286	70.11	0.53	1.49	0.75	2.10
	300 g	272	70.00	0.62	1.74	0.76	2.12
% de material que pasa el tamiz No. 30	500 g	287	48.54	0.75	2.10	1.33	3.73
	300 g	276	48.44	0.87	2.44	1.36	3.79
% de material que pasa el tamiz No. 50	500 g	286	13.52	0.42	1.17	0.98	2.73
	300 g	275	13.51	0.45	1.25	0.99	2.76
% de material que pasa el tamiz No. 100	500 g	287	2.55	0.15	0.42	0.37	1.03
	300 g	270	2.52	0.18	0.52	0.32	0.89
% de material que pasa el tamiz No. 200	500 g	278	1.32	0.11	0.32	0.31	0.85
	300 g	266	1.30	0.14	0.39	0.31	0.85

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 75 μm (No. 200) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO

INV E – 214 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento para determinar la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) en un agregado. Durante el ensayo, se separan de la superficie del agregado, por lavado, las partículas que pasan el tamiz de 75 μm (No.200), tales como limo, arcilla, polvo de los agregados y materiales solubles en el agua.
- 1.2** Se describen dos procedimientos, uno que utiliza solamente agua en la operación de lavado, y otro que emplea un agente humectante para favorecer el desprendimiento del material más fino que 75 μm (No. 200), del material grueso. Si no se especifica lo contrario, se deberá usar el procedimiento A (sólo agua).
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–214–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Se lava de una manera prescrita una muestra de agregado, ya sea usando agua pura o agua con un agente humectante. El agua decantada, la cual contiene material suspendido y disuelto, se pasa a través del tamiz de 75 μm (No. 200). La pérdida de masa como resultado del tratamiento de lavado, se calcula como porcentaje de la masa seca de la muestra original y se presenta en el informe como el porcentaje que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) obtenido por lavado.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El material fino que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) se puede separar de las partículas mayores en forma mucho más eficiente y completa mediante tamizado por vía húmeda, que a través del tamizado en seco. Por esto, cuando se desean determinaciones precisas del material menor de 75 μm en los

agregados finos o gruesos, se usa este método antes de efectuar el tamizado en seco de la muestra de acuerdo con la norma INV E-213. Los resultados del presente ensayo se incluyen en los cálculos obtenidos mediante tamizado en seco (norma INV E-213) y se informan junto con los resultados de él.

Nota 1: Normalmente, la cantidad adicional de material menor que 75 μm , obtenida por el tamizado en seco (norma INV E-213) es pequeña. Si no lo es, este hecho indica una falta de eficiencia en la operación de lavado o una degradación del material durante el proceso.

- 3.2** El agua natural es adecuada para separar el material más fino del grueso en la mayoría de los agregados. En algunos casos, sin embargo, el material fino está adherido a las partículas más gruesas; ello puede suceder con algunos materiales arcillosos y de otro tipo que pueden estar cubriendo los agregados extraídos de las mezclas bituminosas. En tales casos, el material fino se separa más fácilmente añadiendo un agente humectante al agua de lavado.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1** *Balanza* – Con aproximación de lectura y exactitud de 0.1 g o 0.1 % de la masa de ensayo, la que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.
- 4.2** *Dos tamices* – Uno de 75 μm (No. 200) y otro de 1.18 mm (No. 16).
- 4.3** *Recipiente* – Una vasija o bandeja de tamaño suficiente para mantener la muestra cubierta con agua y que permita una agitación vigorosa sin pérdida de ninguna partícula o del agua.
- 4.4** *Horno* – De tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.5** *Agente humectante* – Un agente dispersante tal como un detergente comercial, que facilite la separación del material fino (nota 2).

Nota 2: Se permite la utilización de un dispositivo mecánico para efectuar el lavado del agregado, siempre que los resultados sean consistentes con los obtenidos por medios manuales. El empleo de algunos equipos de lavado mecánico puede causar degradación en cierto tipo de muestras.

5 MUESTRA DE ENSAYO

- 5.1** Se toma la muestra de agregado de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma INV E-201.

- 5.2 Se mezcla completamente la muestra y luego se reduce por cuarteo hasta un tamaño adecuado, de acuerdo con el tamaño máximo del material. Si la muestra va a ser sometida a tamizado en seco, la masa mínima de muestra para ensayo será la indicada en las secciones aplicables de la norma INV E-213. En caso contrario, la masa de la muestra, luego de secada, no será menor que la indicada en la siguiente lista:

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	MASA MÍNIMA (g)
4.75 mm (No. 4) o menor	300
Mayor de 4.75 mm (No. 4), hasta 9.5 mm (3/8")	1000
Mayor de 9.5 mm (3/8"), hasta 19.0 mm (¾")	2500
Mayor de 19.0 mm (¾")	5000

- 5.3 La muestra para el ensayo será el resultado final de la operación de reducción; por lo tanto, no se intentará conseguir una masa exacta y predeterminada de la muestra.

6 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se utilizará el procedimiento A, a no ser que se especifique lo contrario en el documento con el que se contrastarán los resultados de los ensayos, o cuando así lo solicite el Instituto Nacional de Vías.

7 PROCEDIMIENTO A: LAVADO CON AGUA NATURAL

- 7.1 Se seca la muestra de ensayo hasta masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se determina dicha masa, redondeada a 0.1 %.
- 7.2 Si la especificación que se está aplicando requiere que la cantidad pasante del tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No. 200) sea determinada sobre una porción de la muestra que pasa un tamiz con abertura menor que el tamaño máximo nominal del agregado, se separa la muestra sobre el tamiz designado y se determina la masa que pasa dicho tamiz con aproximación al 0.1 % de la masa de esta porción de la muestra original. En los cálculos del numeral 9.1 se deberá usar esta masa como la masa seca original de la muestra de prueba.

Nota 3: Algunas especificaciones para agregados con tamaño máximo nominal de 50 mm (2") o mayor, estipulan un límite para el material que pasa el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No. 200), determinado sobre la porción

de la muestra que pasa el tamiz de 25.4 mm (1"). Ese procedimiento es necesario, ya que no es práctico lavar muestras muy grandes, sobre las cuales se va a efectuar también el análisis granulométrico por tamizado en seco de acuerdo con la norma INV E-213.

- 7.3** Después de secada y determinada su masa, la muestra de ensayo se coloca en el recipiente (vasija o bandeja) donde se agrega una cantidad de agua suficiente para cubrirla. Se agita vigorosamente el contenido del recipiente para separar las partículas finas de las gruesas y dejar el material fino en suspensión. De inmediato, se vierte el agua de lavado con las partículas suspendidas y disueltas sobre el juego de tamices armado, con el de mayor abertura encima. El uso de una cuchara grande para agitar la muestra en el agua se considera satisfactorio. Se debe tener cuidado para evitar la transferencia de las partículas gruesas de la muestra.
- 7.4** Se añade una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente. A continuación, se agita y se decanta como se describió en el numeral anterior. La operación se debe repetir hasta que el agua de lavado sea clara.

Nota 4: Si se emplea equipo de lavado mecánico, la adición de agua, la agitación y la decantación se pueden hacer de manera continua.

- 7.5** Todo el material retenido en los dos tamices se une a la muestra lavada que está en el recipiente. El agregado lavado se seca hasta obtener una masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230^\circ \pm 9^\circ \text{F}$), y se determina la masa con una aproximación de 0.1 % de la masa de la muestra original.

8 PROCEDIMIENTO B: LAVADO CON AGUA Y AGENTE HUMECTANTE

- 8.1** Se prepara la muestra de la misma manera que en el procedimiento A.
- 8.2** Después de seca y determinada su masa, se coloca la muestra en el recipiente y se añade bastante agua para cubrirla y se incorpora al agua el agente humectante (nota 6). Se agita la muestra con vigor para conseguir la separación completa de todas las partículas más finas que $75 \mu\text{m}$ (No. 200) de las más gruesas y dejar el material fino en suspensión. El uso de una cuchara grande u otro instrumento similar se considera adecuado para agitar el agregado en el agua de lavado. Inmediatamente, se vierte el agua de lavado con los sólidos disueltos y en suspensión sobre los tamices acoplados, con el de mayor abertura encima. Se deberá tener el cuidado necesario para evitar la transferencia de las partículas gruesas de la muestra.

Nota 6: Se deberá incorporar suficiente agente humectante como para producir una pequeña cantidad de espuma cuando se agita la muestra. Esta cantidad dependerá de la dureza del agua utilizada y de la

naturaleza y calidad del detergente. Sin embargo, una cantidad excesiva de espuma puede rebosar los tamices y arrastrar algún material con ella.

- 8.3** Se añade una segunda carga de agua (ahora sin agente humectante) a la muestra contenida en el recipiente, se agita y se decanta nuevamente como se describió en el numeral 8.2. Se repite esta operación hasta que el agua de lavado sea clara.
- 8.4** Se completa el ensayo como en el procedimiento A.

9 CÁLCULOS

- 9.1** Se calcula la cantidad de material que pasa el tamiz de 75µm (No. 200), por lavado, de la siguiente forma:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad [214.1]$$

- Donde: A: Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200), obtenido por lavado;
- B: Masa original de la muestra seca, g;
- C: Masa de la muestra seca después de lavada, g.

10 INFORME

- 10.1** Se debe reportar la siguiente información:

10.1.1 El porcentaje de material más fino que 75 µm (No. 200) con aproximación a 0.1 %, excepto si el resultado es mayor de 10 %; en cuyo caso se redondeará al número entero.

10.1.2 Procedimiento de ensayo utilizado.

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 Precisión – Los estimativos sobre la precisión del método, mostrados en la Tabla 214 - 1, se basan en los resultados obtenidos en el *AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Samples Program*, a partir de ensayos realizados por el método descrito en la presente norma (cuya referencia es la norma ASTM C 117) y la norma AASHTO T11. La única diferencia significativa entre ambos métodos, en cuanto a la determinación de la precisión, es que en el momento de la ejecución del estudio, el método de la AASHTO requería el uso de un producto humectante, mientras que la norma ASTM C117 lo prohibía. Los datos se basan en el análisis de más de 100 parejas de resultados de ensayos realizados entre 40 y 100 laboratorios.

11.1.1 Los valores de precisión que se muestran en la Tabla 214 - 1 para el agregado fino, se basan en muestras de 500 g nominales. La revisión del método de prueba en 1994, llevó a que el tamaño de la muestra de ensayo se estableciera en 300 g, como mínimo. El análisis de los resultados de pruebas sobre muestras de 300 g y 500 g produjo los valores de precisión dados en la Tabla 214 - 2, los cuales indican sólo una diferencia menor debido al tamaño de la muestra de prueba.

Tabla 214 - 1. Precisión

PARÁMETRO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s) %	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s) %
Agregado Grueso (1) : Un mismo operario Varios laboratorios	0.1 0.22	0.28 0.62
Agregado Fino (2) : Un mismo operario Varios laboratorios	0.15 0.29	0.43 0.82

(1) Los valores de la precisión están basados en agregados con tamaño máximo nominal de 19.0 mm (3/4"), con menos de 1.5 % de material que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200)

(2) Los valores de la precisión están basados en agregados finos con 1.0 a 3.0 % de material que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200)

Tabla 214 - 2. Datos de precisión para muestras de 300 y 500 g

PRUEBA DE COMPETENCIA DE LA MUESTRA DE AGREGADO FINO				EN UN LABORATORIO		ENTRE LABORATORIOS	
RESULTADOS	TAMAÑO MUESTRA	NO. DE LABORATORIOS	PROMEDIO	1s	d2s	1s	d2s
AASHTO T11/ ASTM C117 Total del material que pasa el tamiz No. 200 por lavado (%)	500 g	270	1.23	0.08	0.24	0.23	0.66
	300 g	264	1.20	0.10	0.29	0.24	0.68

11.2 Sesgo – No se hace ninguna declaración sobre sesgo, por cuanto no hay una referencia aceptable para determinarlo en este método de prueba.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 117 – 04

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL LLENANTE MINERAL UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

INV E – 215 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este ensayo tiene por objeto efectuar el análisis granulométrico por tamizado, del llenante mineral utilizado en las mezclas asfálticas para pavimentación
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–215–07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Este método se utiliza para determinar el cumplimiento de los requisitos de granulometría exigidos en las especificaciones a los llenantes minerales empleados en las mezclas asfálticas.

3 EQUIPO

- 3.1 *Balanza* – Con capacidad de 200 g y posibilidad de lectura de 0.01 g.
- 3.2 *Tamices* – De 75 μm (No. 200), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30) y 1.18 mm (No. 16).
- 3.3 *Horno* – De tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

4 MUESTRA

- 4.1 La muestra para este ensayo deberá ser entregada por el fabricante o el proveedor del material y se deberá reducir al tamaño adecuado para el ensayo, en acuerdo con la norma INV E–202. Se deberá utilizar un mínimo de 100 g de material seco para cada ensayo granulométrico.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Se seca la muestra a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se determina su masa, redondeada a 0.01 g.
- 5.2 Luego de secada y pesada, se coloca la muestra sobre el tamiz de 1.18 mm (No. 16), el cual deberá estar encajado encima de los tamices de $600 \mu\text{m}$ (No. 30), de $300 \mu\text{m}$ (No. 50) y de $75 \mu\text{m}$ (No. 200). Se lava el material por medio del chorro de agua de un grifo (nota 1). Se continúa el lavado hasta que el agua que atraviesa los tamices salga clara (nota 2). Se seca el residuo de cada tamiz a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), hasta masa constante.
- 5.3 Se calcula la masa del material retenido en cada tamiz, como porcentaje de la masa de la muestra original.

Nota 1: Una boquilla esparcidora o una pieza tubular de caucho colocada en el grifo, pueden servir para el lavado. La velocidad del agua no deberá ser tan alta como para causar la salida del material por salpicaduras.

Nota 2 Se debe cuidar que el agua no se acumule sobre el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No. 200), porque se puede formar una lámina de agua en la superficie, que impida que el tamizado se pueda hacer dentro de un período razonable.

6 INFORME

- 6.1 El resultado del análisis granulométrico por tamizado se debe informar como el porcentaje total que pasa cada tamiz, redondeado al 0.5 % más cercano.

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1 *Precisión* – La estimación de la precisión para este método de ensayo se muestra en la Tabla 215 - 1. Ella se basa en los resultados de un programa de ensayo en el que participaron 20 laboratorios, donde se ensayaron muestras idénticas de cuatro diferentes materiales de llenante usando este método de prueba. Los materiales ensayados oscilaban desde llenante mineral grueso, con cerca del 7 % de retenido sobre el tamiz de $600 \mu\text{m}$ (No. 30) y 51 % pasante del tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No. 200), hasta llenante mineral fino con cerca de 95 % pasante del tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No. 200) y solamente 1 % más grueso que el tamiz de $300 \mu\text{m}$ (No. 50).

- 7.2 *Sesgo* – No se ha determinado, pues no hay una referencia aceptable para hallarlo para este método de ensayo.

Tabla 215 - 1. Precisión promedio

PRECISIÓN	RESULTADOS, % EN FRACCIÓN DE TAMAÑO ^A	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s) % ^B	VARIACIÓN ACEPTABLE DE LOS RESULTADOS (d2s) % ^B
Un solo operador	Menor de 2	0.14	0.5 ^C
	Mayor de 2	0.70	2.0
Varios laboratorios	Menor de 2	0.17	0.5
	Mayor de 2	1.00	2.8

^A El porcentaje entre tamices consecutivos, o porcentaje retenido en el tamiz más grande utilizado, 600 μm (No. 30), o porcentaje pasante del tamiz más pequeño, 75 μm (No. 200).

^B Estos números representan, respectivamente, los límites 1s y d2 s, descritos en la norma ASTM C 670.

^C La mínima d2s es 0.5 % en este caso, por cuanto los resultados de la prueba son expresados al 0.5 % más cercano.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 546 – 10

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

CONTENIDO TOTAL DE AGUA EVAPORABLE DE LOS AGREGADOS POR SECADO

INV E – 216 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método se aplica para determinar la humedad evaporable en una muestra de agregado, por secado del agua libre y de la contenida en los poros permeables al agua. Algunos agregados pueden contener agua combinada químicamente con sus minerales, la cual no es evaporable y, por lo tanto, no queda incluida en el porcentaje determinado mediante este método de ensayo.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–216–07.

2 USO Y SIGNIFICADO

- 2.1** Este método es suficientemente exacto para los propósitos rutinarios, como el ajuste de la masa de los ingredientes durante la preparación de mezclas de concreto. Generalmente, el método mide la humedad en la muestra de ensayo con una exactitud mayor que la exactitud con la cual la muestra representa el suministro de agregados que se ensaya.
- 2.2** En algunas ocasiones, cuando el agregado es afectado por la acción del calor o cuando se necesitan medidas más refinadas, el ensayo se debe realizar empleando un horno ventilado de temperatura controlable.
- 2.3** Las partículas más grandes del agregado grueso, especialmente las mayores de 50 mm (2"), requerirán de tiempos más prolongados para que el agua viaje del interior de la partícula hasta la superficie. El usuario del método deberá determinar, por tanteos, si los métodos rápidos dan resultados suficientemente exactos cuando se sequen partículas de gran tamaño.

3 EQUIPO

- 3.1** *Balanza* – Una balanza o báscula exacta, legible y sensible dentro del 0.1 % de la carga de ensayo, en cualquier punto del intervalo de utilización. Dentro de

cualquier intervalo igual al 10 % de la capacidad del aparato usado para determinar las masas, la indicación de carga deberá ser exacta dentro del 0.1 % de la diferencia de masas.

3.2 Fuente de calor – Horno ventilado, capaz de mantener la temperatura alrededor de la muestra en $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Cuando no se requiera un control exacto de la temperatura (ver numerales 2.1 a 2.3), se pueden emplear otras fuentes de calor, como una estufa eléctrica o a gas, lámparas eléctricas de calentamiento, o un horno microondas ventilado.

3.3 Recipiente para la muestra – Que no se afecte por el calor; de un tamaño suficiente para contener la muestra sin peligro de derramamiento, y con una forma tal, que el espesor de la muestra depositada no exceda de un quinto de la menor dimensión lateral.

3.3.1 Precaución – Cuando se utilice un horno microondas, el recipiente no deberá ser metálico.

Nota 1: Cuando las muestras no son muy grandes, una sartén corriente resulta adecuada para usar sobre una estufa. También, se puede usar una bandeja poco profunda de fondo amplio y plano, con lámparas de calentamiento o con un horno.

3.4 Agitador – Cuchara metálica o espátula, de tamaño adecuado.

4 MUESTREO

4.1 El muestreo se hará, generalmente, de acuerdo con lo establecido en la norma INV E-201, excepto en lo relacionado con el tamaño de la muestra.

4.2 Se obtiene una muestra del agregado, representativa del contenido de agua que tiene la provisión que va a ser ensayada, cuya masa no sea inferior a la indicada en la Tabla 216 - 1.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Se determina la masa de la muestra, con aproximación del 0.1 %.

5.2 Se seca totalmente la muestra en el recipiente, utilizando la fuente de calor escogida y cuidando que no se pierdan partículas del agregado. Un calentamiento demasiado rápido puede ocasionar la explosión de algunas

partículas, con la pérdida consecuente. Se debe usar un horno de temperatura controlable cuando el calor excesivo pueda alterar las características del agregado o cuando se requiera una medida más precisa de la humedad. Si se utiliza una fuente de calor distinta a un horno con temperatura controlable, la muestra se debe agitar durante el secado, para acelerar la operación y evitar sobrecalentamientos localizados. Cuando se utilice un horno microondas, la agitación de la muestra es opcional.

5.2.1 Advertencia – Cuando se utiliza el horno microondas minerales que ocasionalmente están presentes en el agregado, pueden causar un sobrecalentamiento de las partículas haciéndolas explotar. Si esto ocurre, el horno se puede dañar.

Tabla 216 - 1. Tamaño de la muestra de agregados con masa normal^A

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA, kg
ABERTURA DEL TAMIZ EN mm	ABERTURA DEL TAMIZ EN PULGADAS O NÚMERO DE TAMIZ	
4.75	No. 4	0.5
9.5	3/8"	1.5
12.5	½"	2
19.0	3/4"	3
25.0	1"	4
37.5	1½"	6
50.0	2"	8
63.0	2½"	10
75.0	3"	13
90.0	3½"	16
100.0	4"	25
150.0	6"	50

^A Para determinar la masa mínima de muestras de agregados livianos, se multiplica el valor señalado por la masa unitaria suelta seca del agregado, en kg/m³, y se divide por 1600.

5.3 Cuando se utiliza una placa de calentamiento, el secado se puede facilitar aplicando el siguiente procedimiento: Se añade suficiente cantidad de alcohol etílico anhidro desnaturalizado, como para cubrir la muestra húmeda. Se agita y se permite que las partículas suspendidas se depositen. Se decanta tanto alcohol como sea posible, sin que se pierdan partículas de material. Se prende fuego al alcohol restante y se deja quemar durante el secado sobre la plancha calentadora.

- 5.3.1** *Advertencia* – Se debe cuidar la operación de encendido, para prevenir quemaduras o daños cuando el alcohol se esté quemando.
- 5.4** La muestra estará enteramente seca, cuando un calentamiento posterior cause menos del 0.1 % de pérdida de masa.
- 5.5** Se determina la masa de la muestra seca con aproximación del 0.1 %, después de que se ha enfriado lo suficiente para no producir daños a la balanza.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula el contenido total de agua evaporable, como sigue:

$$w_p = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad [216.1]$$

Donde: w_p : Humedad evaporable de la muestra, %;

W: Masa original de la muestra, g;

D: Masa de la muestra secada, g.

- 6.2** La humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido total de agua evaporable y la absorción, con todos los valores basados en la masa de la muestra seca. La absorción se puede determinar a partir de los ensayos descritos en las normas INV E-222, para agregados finos, e INV E-223, para agregados gruesos.

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1** *Precisión:*

- 7.1.1** Se encontró que la desviación estándar en el laboratorio para el contenido de humedad de agregados, teniendo en cuenta un solo operario es de 0.28 % (nota 2). Por lo tanto, los resultados de dos pruebas, conducidas correctamente por el mismo operario, en el mismo laboratorio, usando una muestra de agregado del mismo tipo, no deberían diferir entre sí en más de 0.79 % (nota 2).

- 7.1.2** Se encontró que la desviación estándar para el contenido de humedad de agregados, determinada en laboratorios diferentes, es de 0.28 % (nota 2). Por lo tanto, los resultados de pruebas conducidas correctamente en dos laboratorios, sobre la misma muestra de agregado, no deberían diferir entre sí en más de 0.79 % (nota 2).
- 7.1.3** Los datos de prueba empleados para derivar los índices de precisión dados anteriormente, fueron obtenidos empleando muestras secadas hasta obtener una masa constante, en un horno mantenido a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C. Cuando se empleen otros procedimientos de secado, la precisión de los resultados puede ser significativamente diferente a la indicada.

Nota 2: Estos números representan, respectivamente, los límites de $1s$ y $d2s$, como se describe en la norma ASTM C 670.

7.2 Sesgo:

- 7.2.1** Al comparar resultados experimentales con valores conocidos de especímenes compuestos con exactitud, se encontró lo siguiente:
- 7.2.1.1** El sesgo de los resultados de las pruebas de humedad sobre un agregado, tenía un promedio de + 0.06 %. El sesgo de los valores de pruebas individuales del mismo agregado, según se halló con 95 % de precisión, estaba entre - 0.07 % y + 0.20 %.
- 7.2.1.2** El sesgo de los resultados de las pruebas de humedad sobre un segundo agregado tenía un promedio de < + 0.01 %. El sesgo de los valores de pruebas individuales sobre el mismo agregado, según se halló con 95 % de precisión, estaba entre - 0.14 % y + 0.14 %.
- 7.2.1.3** El sesgo de los resultados de todas las pruebas de humedad sobre ambos agregados, tenía un promedio de + 0.03 %. El sesgo de los valores de pruebas individuales del total de ambos agregados, según se halló con 95 % de precisión, estaba entre - 0.12 % y + 0.18 %.
- 7.2.2** Los datos de las pruebas usadas para derivar las declaraciones de sesgo, fueron obtenidos de muestras secadas hasta una masa constante, en un horno secador mantenido a $110 \pm 5^\circ$ C. Si se emplean otros procedimientos de secado, el sesgo de los resultados puede ser significativamente diferente al indicado anteriormente.

Nota 3: Estos informes sobre precisión y sesgo fueron derivados de datos de humedad de agregados suministrados por 17 laboratorios que participaron en el SHRP – Soil Moisture Proficiency Sample Program el cual está descrito en detalle en el Report SHRP-P-619. Las muestras ensayadas fueron mezclas bien gradadas de agregado fino y grueso, con contenidos de agua que variaron desde seco al aire hasta saturado y superficialmente seco.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 566 – 97 (2004)

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO

INV E – 217 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la densidad bulk (peso unitario) de agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, en condición suelta o compacta, y para calcular los vacíos con base en la misma determinación. El método es aplicable a materiales que tengan tamaño máximo nominal menor o igual a 125 mm (5").

Nota 1: Peso unitario es la terminología tradicional empleada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, el cual corresponde a un peso por unidad de volumen (más correctamente, masa por unidad de volumen o densidad)

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–217–07.

2 TERMINOLOGÍA

2.1 Definiciones generales:

2.1.1 *Densidad bulk de un agregado* – Masa de un volumen unitario de un agregado total, el cual incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre ellas. Se expresa en kg/m^3 (lb/pe^3).

2.1.2 *Peso unitario* – Peso (masa) por unidad de volumen. (Este término tiene poca acogida; es preferible utilizar el término densidad bulk).

2.1.2.1 *Discusión* – El peso es igual a la masa del cuerpo multiplicada por la aceleración debida a la gravedad. El peso se puede expresar en unidades absolutas [Newtons (N), poundales (pdl)] o en unidades gravitacionales (kgf, lbf); por ejemplo: en la superficie de la tierra, un cuerpo con una masa de 1 kg tiene un peso de 1 kgf (aproximadamente 9.81 N), o un cuerpo con una masa de una libra tiene un peso de 1 lbf (aproximadamente 4.45 N o 32.2 poundales). Puesto que el peso es igual a la masa multiplicada por la aceleración debida a la gravedad, el peso de un cuerpo variará con el lugar donde se determine, mientras la masa del cuerpo permanece constante. Sobre la superficie de la tierra, la fuerza de la

gravedad imparte a un cuerpo que es libre de caer, una aceleración de, aproximadamente, 9.81 m/s^2 (32.2 pies/s²).

2.2 Definiciones de términos específicos para esta norma:

2.2.1 Vacíos en un volumen unitario de agregados – Espacio entre partículas que no está ocupado por los materiales minerales sólidos en una masa de agregado.

2.2.1.1 Discusión – Los vacíos dentro de las partículas (poros), ya sean permeables o impermeables, no están incluidos en los vacíos determinados en este método de prueba.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método de prueba se emplea para determinar valores de densidad bulk que son utilizados por muchos métodos de selección de proporciones para mezclas de concreto.
- 3.2** Los valores obtenidos al aplicar esta norma, se emplean en el estudio de las estructuras granulares de las mezclas asfálticas por el método Bailey.
- 3.3** La densidad seca suelta determinada por este método de ensayo, se usa en los cálculos de la densidad de equilibrio según la norma INV E-146.
- 3.4** La densidad bulk se puede usar, también, para determinar la relación masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra y venta de agregados. Sin embargo, se desconoce la relación que pueda existir entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de transporte o en una pila de acopio y la lograda en este método de prueba. Además, mientras generalmente los agregados en las unidades de transporte y en las pilas de acopio contiene humedad absorbida y superficial (esta última afecta el tamaño del material), este método de prueba determina una densidad bulk basada en condiciones en seco.

4 EQUIPO

- 4.1 Balanza** – Debe tener una exactitud mínima de 0.1 % de la masa de ensayo, en cualquier punto dentro del intervalo de utilización, y graduaciones de 50 g (0.1 lb), como mínimo. Se debe entender como intervalo de utilización, el rango

comprendido entre la masa del recipiente de medida vacío y el del recipiente más un agregado con densidad de 1920 kg/m^3 (120 lb/pe^3).

- 4.2** *Varilla compactadora* – De acero, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm (24"). Un extremo, o ambos, deben tener forma semiesférica con 16 mm de diámetro (5/8").
- 4.3** *Recipiente de medida* – Metálico, cilíndrico, preferiblemente provisto de agarraderas, a prueba de agua, con el fondo y el borde superior rectos y a nivel, y suficientemente rígido para no deformarse bajo condiciones de trabajo pesado. El recipiente debe tener una altura aproximadamente igual al diámetro pero, en ningún caso, la altura puede ser menor del 80 % ni mayor del 150 % del diámetro. Su capacidad debe estar de conformidad con los límites establecidos en la Tabla 217 - 1, según el tamaño del agregado que se va a ensayar. El espesor de la lámina del recipiente debe ser el que se describe en la Tabla 217 - 2. El borde superior del recipiente debe ser liso y plano, con una tolerancia de 0.25 mm (0.01") y debe ser paralelo al fondo, con una tolerancia de 0.5° (nota 2). La superficie de la pared interior debe ser lisa y continua.

Nota 2: Se considera que la planitud del borde superior es satisfactoria, si un calibrador de separaciones, de 0.25 mm (0.01"), no se puede insertar entre el borde y una pieza de vidrio de 6 mm (¼") o más de espesor, colocada sobre el recipiente de medida. La parte superior y el fondo se consideran satisfactoriamente paralelos, si el declive entre dos piezas de vidrio, una en contacto con la parte superior y otra con el fondo, no excede 0.87 % en cualquier dirección.

- 4.3.1** Si el recipiente de medida se va a utilizar también para pruebas de densidad del concreto recién mezclado, de acuerdo con la norma INV E-405, deberá ser hecho de acero o de otro material apropiado que no sea susceptible a reacciones con la pasta de cemento. Se permite el uso de materiales reactivos tales como aleaciones de aluminio, considerando que, como consecuencia de una reacción inicial, se forma en la superficie interna del molde una película que protege al metal contra la posterior corrosión.

- 4.3.2** Los recipientes de medida cuya capacidad sea mayor de 28 litros (1 pie^3) deben ser de acero, para garantizar la rigidez necesaria o, de lo contrario, el espesor mínimo de la lámina de metal indicada en la Tabla 217 - 2 se deberá aumentar apropiadamente.

- 4.4** *Pala o cucharón* – De tamaño conveniente, para llenar el recipiente de medida con el agregado.

Tabla 217 - 1. Capacidad del recipiente de medida

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DEL RECIPIENTE DE MEDIDA ^A	
mm	pulgadas	m ³ (l)	pies ³
12.5	½	0.0028 (2.8)	1/10
25.0	1	0.0093 (9.3)	1/3
37.5	1 ½	0.014 (14)	½
75	3	0.028 (28)	1
100	4	0.070 (70)	2 ½
125	5	0.100 (100)	3 ½

^A El tamaño de medida indicado debe ser usado para ensayar agregados de tamaño máximo nominal igual o menor que el indicado. El volumen real del recipiente debe ser al menos 95 % del volumen nominal listado.

4.5 Equipo de calibración:

- 4.5.1** *Placas de vidrio* – De, por lo menos, 6 mm (¼") de espesor y 25 mm (1") más largas que el diámetro del recipiente que se va a calibrar.
- 4.5.2** *Grasa* – De bomba de agua, de chasis o similar, para colocar en el borde del recipiente con el fin de prevenir escapes.
- 4.5.3** *Termómetro* – Con una escala que abarque, como mínimo, entre 10 y 32° C (50 – 90° F) y con graduaciones cada 0.5° C (1° F) o menores.
- 4.5.4** *Balanza* – La misma descrita en el numeral 4.1.

Tabla 217 - 2. Requisitos de los recipientes de medida

CAPACIDAD DEL RECIPIENTE ^C	ESPESOR MÍNIMO DE LA LÁMINA		
	FONDO	38 mm (1 ½") SUPERIORES O PARED ^A	RESTO DE LA PARED
litros	mm	mm	mm
C < 1	5.0	2.5	2.5
1 ≤ C ≤ 42	5.0	4.0	3.0
42 < C ≤ 80	10.0	6.4	3.8
80 < C ≤ 133	13.0	7.6	5.0
pies ³	pg.	pg.	pg.
C < 0.4	0.20	0.10	0.10
0.4 ≤ C ≤ 1.5	0.20	0.20	0.12
1.5 < C ≤ 2.8	0.40	0.25	0.15
2.8 < C ≤ 4.0	0.50	0.30	0.20

^A El espesor adicionado en la parte superior de la pared puede ser obtenido colocando una banda de refuerzo alrededor del recipiente.

5 MUESTRA

- 5.1** La muestra se debe obtener de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma INV E-201, y se debe reducir al tamaño requerido para la prueba siguiendo la norma INV E-202.
- 5.2** El tamaño de la muestra debe ser de, aproximadamente, 125 a 200 % la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida, y se debe manejar evitando la segregación. La muestra de agregado se debe secar hasta obtener una masa esencialmente constante, preferiblemente en un horno a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F).

6 CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE DE MEDIDA

- 6.1** El recipiente de medida se debe recalibrar al menos una vez al año o siempre que haya motivo para dudar de la exactitud de la calibración.
- 6.2** Se determina la masa del recipiente con una de las placas de vidrio, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb) (Figura 217 - 1).
- 6.3** Se coloca una capa delgada de grasa en el borde del recipiente, la cual servirá para evitar que el agua escape de él.
- 6.4** Se llena el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubre con la placa de vidrio, de tal manera que se eliminen las burbujas y el exceso de agua. A continuación, se remueve toda agua que se haya desbordado sobre el recipiente o la placa.
- 6.5** Se determina la masa del recipiente con el agua y la placa de vidrio, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb).
- 6.6** Se mide la temperatura del agua con una aproximación de 0.5° C (1° F) y se determina su densidad en la Tabla 217 - 3, interpolando si es necesario.
- 6.7** Se calcula el volumen, V, del recipiente de medida, dividiendo la masa de agua requerida para llenarlo, por su densidad. Alternativamente, se puede calcular el factor de medida ($F = 1/V$), dividiendo la densidad del agua por la masa requerida para llenar el recipiente.

Nota 3: Para el cálculo de la densidad bulk, el volumen del recipiente de medida en unidades SI se debe expresar en m^3 , o el factor como $1/m^3$. Sin embargo, por conveniencia, el tamaño del recipiente se expresa en litros.



Figura 217 - 1. Determinación de la masa del recipiente de medida y la placa de vidrio

Tabla 217 - 3. Densidad del agua

TEMPERATURA		DENSIDAD	
°C	°F	kg/m ³	lb/pie ³
15.6	60	999.01	62.366
18.3	65	998.54	62.336
21.1	70	997.97	62.301
23	73.4	997.54	62.274
23.9	75	997.32	62.261
26.7	80	996.59	62.216
29.4	85	995.83	62.166

7 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- 7.1** El empleo del método de paladas para determinar la densidad bulk suelta se debe usar solamente cuando se haya estipulado específicamente. De lo contrario, se determinará la densidad bulk compacta por varillado o apisonado para agregados con tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1½") o menos; o

por el método de vibración para agregados cuyo tamaño máximo nominal sea mayor de 37.5 mm (1½") y menor o igual a 125 mm (5").

8 PROCEDIMIENTO DE VARILLADO O APISONADO

- 8.1** El agregado se debe colocar en el recipiente, en tres capas aproximadamente iguales, hasta colmarlo. Se vierte en el recipiente el agregado necesario para llenarlo un tercio de su volumen y se nivela con los dedos la superficie del material vertido. A continuación, se apisona la capa con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre la superficie, utilizando el extremo semiesférico de la herramienta (Figura 217 - 2). Se repite el procedimiento con las otras dos capas.



Figura 217 - 2. Apisonado de la primera capa

- 8.2** Al apisonar la primera capa, se debe evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, se aplica la fuerza necesaria para que la varilla solamente atraviese la capa respectiva.

Nota 4: Al apisonar agregados de gran tamaño máximo puede que no sea posible alcanzar todo el espesor de la capa con la varilla, especialmente si los agregados son angulosos. En este caso será necesario un esfuerzo vigoroso para satisfacer la intención del procedimiento.

- 8.3** Una vez compactada la última capa, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase (Figura 217 - 3).

- 8.4** Se determina la masa del recipiente lleno, así como la del recipiente vacío, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb) y se anotan los valores respectivos.



Figura 217 - 3. Enrase del material

9 PROCEDIMIENTO DE VIBRACIÓN

- 9.1** Se coloca el agregado en el recipiente en tres capas de más o menos el mismo volumen, hasta colmarlo.
- 9.2** Cada una de las capas se compacta del siguiente modo: Se coloca el recipiente sobre una base firme, tal como un piso de concreto, y se inclina hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2") del piso. Luego se suelta, con lo que se produce un golpe seco, y se repite la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Estos golpes alternados se ejecutan 25 veces de cada lado, de modo que el número total sea 50 para cada capa y 150 para todo el conjunto. Mediante este procedimiento, las partículas del agregado se acomodaban en una condición densa.
- 9.3** Una vez compactada la última capa, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase.
- 9.4** Se determina la masa del recipiente lleno, así como la del recipiente vacío, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb) y se anotan los valores respectivos.

10 PROCEDIMIENTO DE LLENADO A PALADAS (ESTADO SUELTO)

- 10.1** Se llena el recipiente de medida con una pala o cucharón, de modo que el agregado se descargue desde una altura no mayor de 50 mm (2") por encima del borde del recipiente, hasta colmarlo. Se debe tener cuidado de que no se segreguen las partículas constitutivas de la muestra.
- 10.2** Una vez lleno el recipiente, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones, en relación con el plano de enrase.
- 10.3** Se determina la masa del recipiente lleno, así como la del recipiente vacío, con aproximación a 0.05 kg (0.1 lb) y se anotan los valores respectivos.

11 CÁLCULOS

- 11.1** *Densidad bulk* – Se calcula la densidad bulk sea compacta (apisonada o vibrada) o suelta, con alguna de las siguientes expresiones:

$$M = \frac{G - T}{V} \quad [217.1]$$

O

$$M = (G - T) \times F \quad [217.2]$$

Donde: M: Densidad bulk del agregado, kg/m³ (lb/pie³);

G: Masa del agregado más el recipiente de medida, kg (lb);

T: Masa del recipiente de medida, kg (lb);

V: Volumen del recipiente de medida, m³ (pie³);

F: Factor de medida, 1/m³ (1/pie³).

- 11.1.1** La densidad bulk que se determina en la prueba es en condición seca al horno. Si se desea obtener la densidad bulk en estado saturado y superficialmente seco (SSS), se sigue exactamente el mismo

procedimiento descrito en esta norma y con la siguiente expresión se calcula la densidad bulk en estado SSS:

$$M_{SSS} = M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right] \quad [217.3]$$

Donde: M_{SSS} : Densidad bulk en condición SSS, kg/m^3 (lb/pie^3);

A: % de absorción, determinado según las normas INV E-222 (agregados finos) o INV E-223 (agregados gruesos).

11.2 Vacíos en los agregados – Los vacíos en los agregados se pueden calcular de la siguiente forma, empleando la densidad bulk obtenida mediante apisonado, vibrado o, simplemente, mediante el llenado a paladas:

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(S \times \rho_w) - M}{S \times \rho_w} \times 100 \quad [217.4]$$

Donde: S: Gravedad específica bulk (material seco) determinada según las normas INV E-222 (agregados finos) o INV E-223 (agregados gruesos);

M: Densidad bulk de los agregados, kg/m^3 (lb/pie^3);

ρ_w : Densidad del agua, 998 kg/m^3 (62.4 lb/pie^3)

11.3 Volumen del recipiente de medida – Se calcula con la fórmula:

$$V = \frac{W_{wv} - W_v}{\rho_{wc}} \quad [217.5]$$

Donde: V: Volumen del recipiente de medida, m^3 (pie^3);

W_{wv} : Masa del recipiente más agua más la placa de vidrio (numeral 6.5), kg (lb);

W_v : Masa del recipiente más la placa de vidrio, kg (lb);

ρ_{wc} : Densidad del agua a la temperatura de calibración, kg/m^3 (lb/pie^3) (Tabla 217 - 3).

12 INFORME

12.1 Los resultados obtenidos se deben reportar en la siguiente forma:

12.1.1 Densidad bulk compacta por apisonado, con aproximación a 10 kg/m^3 (1 lb/pie^3).

12.1.2 Densidad bulk compacta por vibración, con aproximación a 10 kg/m^3 (1 lb/pie^3).

12.1.3 Densidad bulk suelta por paladas, con aproximación a 10 kg/m^3 (1 lb/pie^3).

12.1.4 % vacíos en el agregado compactado por apisonado.

12.1.5 % vacíos en el agregado compactado por vibración.

12.1.6 % vacíos en el agregado suelto.

13 PRECISIÓN Y SESGO

13.1 Los datos que se indican a continuación, se han obtenido a partir del análisis de más de 100 parejas de resultados de pruebas realizadas entre 40 y 100 laboratorios.

13.2 *Precisión para el agregado grueso (densidad bulk):*

13.2.1 *Precisión para un solo operario* – La desviación normal de un solo operario fue 14 kg/m^3 (0.88 lb/pie^3). Por lo tanto el resultado de dos pruebas llevadas a cabo adecuadamente por el mismo operario sobre un material similar, no deberían diferir en más de 40 kg/m^3 (2.5 lb/pie^3).

13.2.2 *Precisión entre laboratorios* – Se encontró que la desviación normal entre varios laboratorios fue de 30 kg/m^3 (1.87 lb/pie^3) Por lo tanto, los resultados de dos pruebas conducidas por dos laboratorios diferentes sobre un material similar, no deberían diferir en más de 85 kg/m^3 (5.3 lb/pie^3).

13.3 Precisión para el agregado fino (densidad bulk):

13.3.1 Precisión para un solo operario – Se encontró que la desviación normal de un solo operario fue de 14 kg/m^3 (0.88 lb/pie^3). Por lo tanto, el resultado de dos pruebas llevadas a cabo adecuadamente por el mismo operario sobre un material similar, no deberían diferir en más de 40 kg/m^3 (2.5 lb/pie^3).

13.3.2 Precisión entre laboratorios – Se encontró la desviación normal entre varios laboratorios fue de 44 kg/m^3 (2.76 lb/pie^3). Por lo tanto, los resultados de dos pruebas conducidas por dos laboratorios diferentes sobre un material similar, no deberían diferir en más de 125 kg/m^3 (7.8 lb/pie^3).

13.4 Precisión en vacíos – No hay datos de precisión disponibles sobre contenidos de vacíos. Sin embargo, como el porcentaje de vacíos en el agregado se calcula a partir de la densidad bulk y de la gravedad específica bulk, la precisión en los vacíos será el reflejo de las precisiones en la obtención de los otros dos parámetros.

13.5 Sesgo – El procedimiento de este método de prueba para medir la densidad bulk y el contenido de vacíos no tiene sesgo, debido a que los valores de densidad bulk y de contenido de vacíos solo se pueden definir en términos de un método de ensayo.

14 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM C 29/C 29M – 09

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA, VASTM C – 29 – 1 – A,
["http://www.youtube.com/watch?v=tDXBjAit5u0&feature=BFa&list=PLF05009A870793FC5&index=20"](http://www.youtube.com/watch?v=tDXBjAit5u0&feature=BFa&list=PLF05009A870793FC5&index=20)

RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1½") POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

INV E – 218 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método se refiere al procedimiento a seguir para medir la resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaño menor a 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles.

Nota 1: La norma INV E – 219 presenta un procedimiento para evaluar la resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (¾").

- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–218–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo. A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración (Figura 218 - 1). Entonces, la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor, hasta que la pestaña las levanta y se repite el ciclo. Tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, como un porcentaje de pérdida.

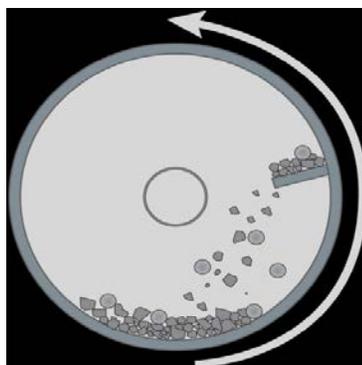


Figura 218 - 1. Degradación del agregado durante el ensayo

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este ensayo se ha usado ampliamente como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los resultados no brindan automáticamente comparaciones válidas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura. Los límites de las especificaciones deben ser asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones específicas.

4 EQUIPOS

- 4.1** *Máquina de Los Ángeles* – La máquina para el ensayo de Los Ángeles tendrá las características que se indican en la Figura 218 - 2. Consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con una longitud interior de 508 ± 5 mm (20 ± 0.2 ") y un diámetro interior, de 711 ± 5 mm (28 ± 0.2 "), fabricado con una placa de acero de espesor no menor de 12.4 mm (nota 2). El interior del cilindro deberá estar libre de protuberancias que alteren la trayectoria de la muestra y las esferas de acero, con excepción de la pestaña que se describe más adelante. El cilindro lleva en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal, con una tolerancia en pendiente del 1 % con el eje de rotación. El cilindro estará provisto de una abertura para introducir y retirar con facilidad la muestra de ensayo. La abertura se cierra por medio de una tapa que se fija por medio de pernos, que tiene un empaque para impedir la salida del polvo y que está diseñada de manera de mantener el contorno cilíndrico interior. Una pestaña desmontable de acero se extiende a todo lo largo de una generatriz del cilindro y se proyecta hacia el centro de la sección circular del cilindro, en longitud de 89 ± 2 mm ($3,5 \pm 0.1$ "). La pestaña está unida al tambor mediante pernos y su espesor debe permitir que el elemento quede instalado de un modo firme y rígido. Su posición dentro del interior del tambor debe ser tal, que impida que la muestra y las esferas caigan sobre la tapa durante el ensayo o se pongan en contacto con ella en ningún momento (nota 3). La distancia entre la pestaña y la abertura del tambor, medida a lo largo de la circunferencia exterior de éste, no debe ser menor de 1270 mm (50"). La pestaña deberá ser inspeccionada periódicamente, para verificar que no se ha doblado en sentido longitudinal ni se ha apartado de su posición radial respecto del tambor. Si se detecta alguna de estas anomalías, la pestaña deberá ser reemplazada.

Nota 2: Esta es la tolerancia permitida a las platinas de acero de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ").

Nota 3: Es preferible el empleo de una pestaña de acero resistente al desgaste de sección rectangular y montada independientemente de la tapa. No obstante, se puede usar un ángulo de acero montado adecuadamente en la parte interior de la tapa, pero teniendo en cuenta la dirección de rotación para que la carga sea recogida por la cara exterior del ángulo.

4.1.1 La máquina debe ser accionada y contrabalanceada en forma tal, que mantenga la velocidad periférica básicamente uniforme (nota 4). Si se utiliza un perfil angular como pestaña, el sentido de rotación debe ser tal, que la carga se recoja sobre la superficie exterior del perfil.

Nota 4: El juego o el deslizamiento del mecanismo de transmisión dan lugar a resultados del ensayo que no coinciden con los obtenidos en máquinas cuya velocidad periférica es constante.

- 4.2** *Tamices* – De las aberturas indicadas en la Tabla 218 - 1, más uno de 1.70 mm (No. 12).
- 4.3** *Balanza* – Con una exactitud mínima de 0.1 % en relación con la masa de ensayo, en cualquier punto dentro del intervalo de utilización.
- 4.4** *Carga* – La carga consistirá en esferas de acero, de un diámetro aproximado de 46.8 mm (1 27/32") y una masa comprendida entre 390 g y 445 g (Figura 218 - 3). Como se muestra en seguida, la carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D (las granulometrías se encuentran en la Tabla 218 - 1):

GRANULOMETRÍA	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA, g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Nota 5: Esferas de acero de 46.0 mm (1 13/16") y de 47.6 mm (1 7/8") de diámetro, que tengan una masa aproximada de 400 y 440 g cada una, respectivamente, son de fácil adquisición. También, es posible conseguir y utilizar esferas de acero de 46.8 mm (1 27/32") de diámetro con una masa aproximada de 420 g. La carga puede estar compuesta por una combinación de estos tamaños, siempre que se encuentre dentro de las tolerancias indicadas

4.5 *Horno* – Que pueda mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

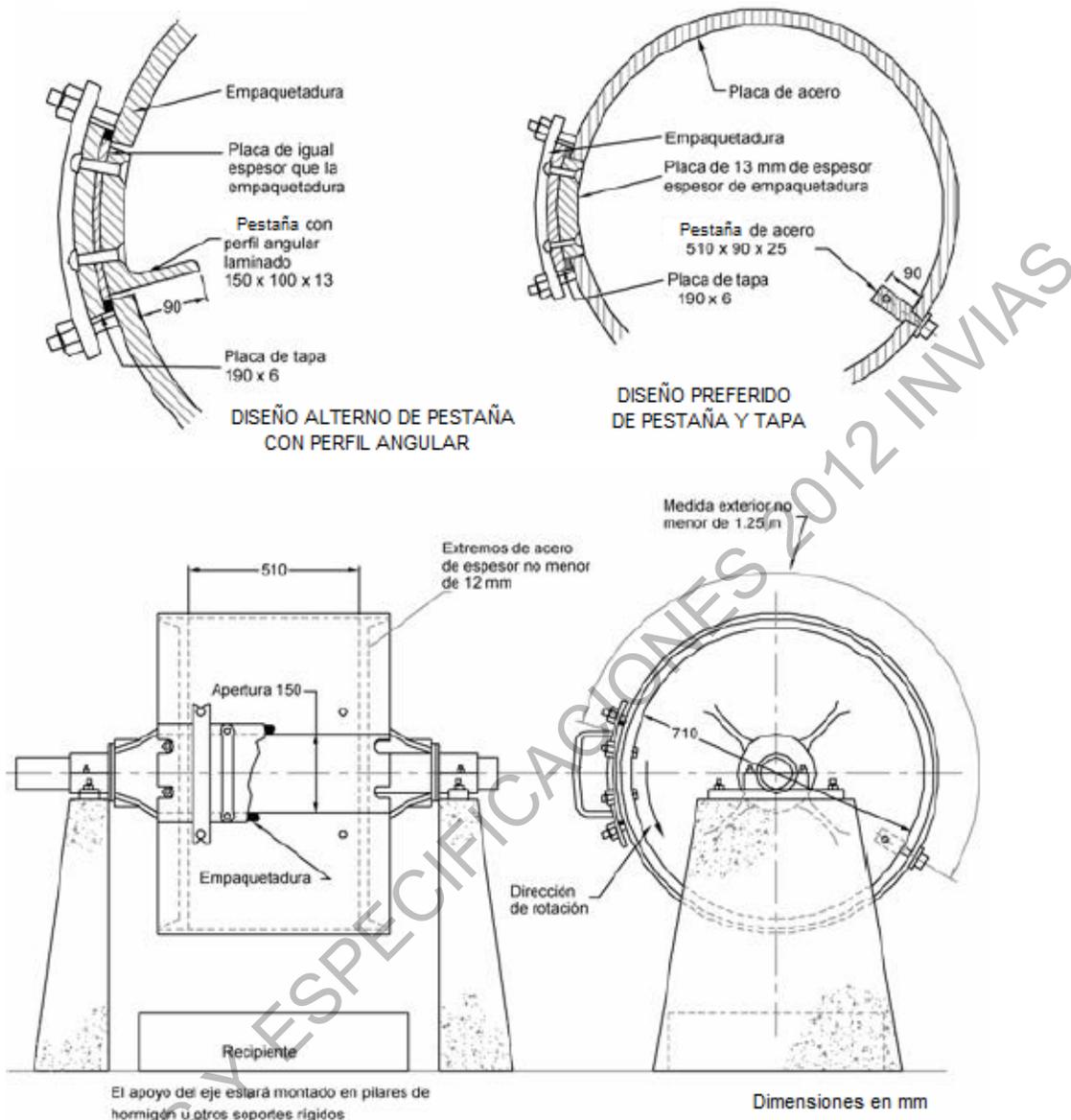


Figura 218 - 2. Máquina de Los Ángeles

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 5.1 La muestra destinada al ensayo se obtendrá empleando el procedimiento descrito en la norma INV E-201 y se reducirá a un tamaño adecuado para el ensayo, según la norma INV E-202.
- 5.2 La muestra reducida se lava y se seca en el horno hasta masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

- 5.3** Se elige en la Tabla 218 - 1 la granulometría más parecida a la del agregado que se va a usar en la obra. Se separa la muestra reducida en las fracciones indicadas en la tabla, de acuerdo con la granulometría elegida. Se recombinan las fracciones para formar una muestra de ensayo con la composición indicada en la tabla. Se pesa la muestra de ensayo con aproximación a 1 g y se registra el valor obtenido.

Tabla 218 - 1. Granulometrías de las muestras de ensayo

TAMAÑOS DE TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g			
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRÍAS			
		A	B	C	D
37.5 (1½")	25.0 (1")				
25.0 (1")	19.0 (¾")	1250 ± 25			
19.0 (¾")	12.5 (½")	1250 ± 25			
12.5 (½")	9.5 (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5 (3/8")	6.3 (¼")	1250 ± 10	2500 ± 10	2500 ± 10	
6.3 (¼")	4.75 (No. 4)			2500 ± 10	
4.75 (No.4)	2.36 (No. 8)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10



Figura 218 - 3. Esferas de acero

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Luego de comprobar que el tambor este limpio, la muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de Los Ángeles (Figura 218 - 4) y se hace girar el tambor a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 rpm) hasta completar 500 revoluciones (nota 6). La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del tambor y se procede con una separación preliminar de

la muestra ensayada, empleando un tamiz de abertura mayor al de 1.70 mm (No. 12). La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (No. 12), utilizando el procedimiento de la norma INV E-213. El material más grueso que la abertura del tamiz de 1.70 mm (No. 12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante, y se determina su masa con precisión de 1 g (nota 7).

6.1.1 Si el agregado está libre de costras o de polvo se puede eliminar la exigencia de lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida en más del 0.2 % del peso de la muestra original. Sin embargo, en el caso de ensayos con fines de referencia o de arbitraje, el procedimiento de lavado es perentorio.

Nota 6: Se puede obtener una valiosa información sobre la uniformidad de la muestra que se está ensayando, determinando la pérdida después de 100 revoluciones. Al efectuar esta determinación no se debe lavar el material retenido en el tamiz de 1.7 mm (No. 12). La relación entre la pérdida después de 100 revoluciones y la pérdida después de 500 revoluciones, no debería exceder de 0.20 para materiales de dureza uniforme. Cuando se realice esta determinación, se debe evitar cualquier pérdida de muestra; la muestra total, incluido el polvo producido por el desgaste, se vuelve a introducir en la máquina hasta completar las 500 revoluciones requeridas para completar el ensayo.

Nota 7: No lavar el material grueso después del ensayo, puede reducir las pérdidas medidas en el ensayo hasta en 0.2 % respecto de la masa original de la muestra.



Figura 218 - 4. Colocación de la muestra dentro de la máquina de Los Ángeles

7 CÁLCULOS

7.1 El resultado del ensayo es la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra ensayada, expresada como tanto por ciento de la masa original (nota 8):

$$\% \text{ pérdidas} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad [218.1]$$

Donde: P_1 : Masa de la muestra seca antes del ensayo, g;

P_2 : Masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No. 12), g.

Nota 8: No hay una relación consistente que sea conocida, entre el porcentaje de pérdidas determinado con este método de ensayo y el porcentaje de pérdidas del mismo material cuando se somete al ensayo descrito en la norma INV E-219.

8 INFORME

8.1 Deberá incluir lo siguiente:

8.1.1 Identificación del agregado (tipo, fuente y tamaño máximo nominal).

8.1.2 Granulometría usada en el ensayo (tomada de la Tabla 218 - 1).

8.1.3 Pérdidas del agregado por abrasión e impacto, redondeadas a 1% por masa

9 PRECISIÓN Y SESGO

9.1 *Precisión* – Para agregados con tamaño máximo nominal de 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), con porcentajes de pérdida entre 10 y 45 %, el coeficiente de variación entre resultados de varios laboratorios, es del 4.5 % . Por lo tanto, resultados de dos ensayos bien ejecutados, por dos laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo agregado grueso, no deberían diferir el uno del otro en más del 12.7 % de su promedio (probabilidad del 95 %). El coeficiente de variación de operarios individuales, se encontró que es del 2.0 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos bien ejecutados por el mismo operario sobre el mismo agregado grueso, no deberían diferir, el uno del otro en más del 5.7 % de su promedio (probabilidad del 95 %).

9.2 *Sesgo* – Dado que no hay un material de referencia apropiado para determinar el sesgo para este procedimiento, no hay ninguna declaración sobre el particular.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 131 – 06

ANEXO A (Informativo)

MANTENIMIENTO DE LA PESTAÑA

- A.1** La pestaña de la máquina de Los Ángeles está sometida a desgaste superficial e impacto severos. La superficie de trabajo de la pestaña es golpeada repetidamente por las esferas y tiende a desarrollar un resalto paralelo y a una distancia de 32 mm (1 ¼") de su unión con la superficie interna del tambor. Si la pestaña está construida con un perfil angular, no solo puede desarrollar este resalto sino que, además, se puede curvar longitudinal o transversalmente.
- A.2** La pestaña se debe inspeccionar periódicamente para determinar si no se ha curvado a lo largo o desde su posición radial con respecto al tambor. Si se halla alguna de estas dos situaciones, la pestaña debe ser reparada o reemplazada antes de usar la máquina de nuevo. No se conoce la influencia del resalto sobre los resultados del ensayo. Sin embargo, para hacer uniformes las condiciones del ensayo, se recomienda reperfilear el resalto cuando su altura exceda de 2 mm (0.1 mm).

RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES DE 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

INV E – 219 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma presenta el método de ensayo para determinar la resistencia a la degradación de agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), mediante la máquina de Los Ángeles.

Nota 1: Para evaluar la resistencia a la degradación de agregados de tamaños menores de 37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ ") por medio de la máquina de Los Ángeles, se deberá utilizar la norma INV E-218.

- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-219-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene 12 esferas metálicas. A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. Entonces, la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor, hasta que la pestaña las levanta y se repite el ciclo. Tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, como un porcentaje de pérdida.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Este ensayo se ha usado ampliamente como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los resultados no brindan automáticamente comparaciones válidas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura. Los límites de las especificaciones deben ser

asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones específicas.

4 EQUIPO

4.1 *Máquina de Los Ángeles* – La cual debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma INV E–218.

4.1.1 La operación y el mantenimiento de la máquina se deben realizar como se indica en la norma INV E–218.

4.2 *Tamices* – De las aberturas indicadas en la Tabla 219 - 1, más uno de 1.70 mm (No. 12).

4.3 *Balanza* – Con una exactitud mínima de 0.1 % en relación con la masa de ensayo, en cualquier punto dentro del intervalo de utilización.

4.4 *Horno* – Que pueda mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

4.5 *Carga abrasiva* – La carga abrasiva estará formada por 12 esferas de acero, con un diámetro aproximado de 47 mm ($1 \frac{27}{32}$ ") y con una masa entre 390 y 445 g cada una. La masa total deberá ser de 5000 ± 25 g.

Nota 2: Esferas de acero de 46.0 mm ($1 \frac{13}{16}$ ") y de 47.6 mm ($1 \frac{7}{8}$ ") de diámetro, que tengan una masa aproximada de 400 y 440 g cada una, respectivamente, son de fácil adquisición. También, es posible conseguir y utilizar esferas de acero de 46.8 mm ($1 \frac{27}{32}$ ") de diámetro con una masa aproximada de 420 g. La carga puede estar compuesta por una combinación de estos tamaños, siempre que se encuentre dentro de las tolerancias indicadas.

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

5.1 La muestra destinada al ensayo se debe obtener mediante el procedimiento descrito en la norma INV E–201 y se debe reducir a un tamaño adecuado para el ensayo en acuerdo con la norma INV E–202.

5.2 La muestra reducida se lava y luego se introduce en el horno, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), hasta que su masa sea constante.

5.3 Se elige en la Tabla 219 - 1 la granulometría más parecida a la del agregado que se va a usar en la obra. Se separa la muestra reducida en las fracciones

indicadas en la tabla, de acuerdo con la granulometría elegida. Se recombinan las fracciones para formar una muestra de ensayo con la composición indicada en la tabla. Se pesa la muestra de ensayo con aproximación a 1 g y se registra el valor obtenido.

Tabla 219 - 1. Granulometrías de las muestras de ensayo

TAMAÑO DEL TAMIZ		MASA DE LAS FRACCIONES, g		
PASA	RETIENE	GRANULOMETRÍAS		
		1	2	3
75 mm (3")	63 mm (2½")	2500 ± 50	5000 ± 50	5000 ± 25
63 mm (2½")	50 mm (2")			
50 mm (2")	37.5 mm (1½")	2500 ± 50	5000 ± 25	5000 ± 25
37.5 mm (1½")	25 mm (1")	5000 ± 50	5000 ± 25	
25 mm (1")	19 mm (¾")			
Total		10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Luego de comprobar que el tambor esté limpio, la muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de Los Ángeles y se hace girar el tambor a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 rpm) hasta completar 1000 revoluciones (nota 3). La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del tambor y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, empleando un tamiz de abertura mayor al de 1.70 mm (No. 12). La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (No. 12), utilizando el procedimiento de la norma INV E-213. El material más grueso que la abertura del tamiz de 1.70 mm (No. 12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), hasta masa constante, y se determina la masa con precisión de 1 g.
- 6.2** Si el agregado está libre de costras o de polvo se puede eliminar la exigencia de lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida en más del 0.2 % del peso de la muestra original. Sin embargo, en el caso de ensayos con fines de referencia o de arbitraje, el procedimiento de lavado es preteritorio.

Nota 3: Se puede obtener una valiosa información sobre la uniformidad de la muestra que se está ensayando, determinando la pérdida después de 200 revoluciones. Al efectuar esta determinación no se debe lavar el material retenido en el tamiz de 1.7 mm (No. 12). La relación entre la pérdida después de 200 revoluciones y la pérdida después de 1000 revoluciones, no debería exceder de 0.20 para materiales de dureza uniforme. Cuando se realice esta determinación, se procurará evitar toda pérdida de muestra; la muestra total, incluido el polvo producido por el desgaste, se vuelve a introducir en la máquina hasta completar las 1000 revoluciones requeridas para completar el ensayo.

7 CÁLCULOS

- 7.1** El resultado del ensayo es la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra ensayada, expresada como tanto por ciento de la masa original (nota 4):

$$\% \text{ pérdidas} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad [219.1]$$

Donde: P_1 : Masa de la muestra seca antes del ensayo, g;

P_2 : Masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No. 12), g.

Nota 4: No hay una relación consistente que sea conocida, entre el porcentaje de pérdidas determinado con este método de ensayo y el porcentaje de pérdidas del mismo material cuando se somete al ensayo descrito en la norma INV E-218.

8 INFORME

- 8.1** Deberá incluir lo siguiente:

8.1.1 Identificación del agregado (tipo, fuente y tamaño máximo nominal).

8.1.2 Granulometría usada en el ensayo (tomada de la Tabla 219 - 1).

8.1.3 Pérdidas del agregado por abrasión e impacto, redondeadas a 1% por masa

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – A partir de los resultados de cuatro ensayos hechos por duplicado por un operario con un agregado en un laboratorio, utilizando el mismo equipo, la pérdida promedio por degradación empleando la granulometría 1, fue 38.8 %, con una desviación estándar de 1.8 %.
- 9.2** *Sesgo* – No se presenta declaración sobre el sesgo, por cuanto no hay un material aceptado de referencia para determinarlo por este método de ensayo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 535 – 09

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVERSES

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO

INV E – 220 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento a seguir para determinar la resistencia de los agregados pétreos cuando deben soportar la intemperie en concretos y otras aplicaciones. Este efecto se simula sometiendo los agregados a inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguida de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables de las partículas del agregado. La fuerza de expansión interna, derivada de la rehidratación de la sal después de re-inmersión, simula la expansión del agua por congelamiento.
- 1.2 Mediante este método se puede obtener información útil para juzgar la resistencia de los agregados a la acción de los agentes atmosféricos, cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológicas reales de servicio.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E–220–07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Este método de ensayo brinda un procedimiento para hacer una valoración preliminar de la solidez de los agregados previstos para la elaboración de concretos y para otros propósitos. Los valores obtenidos se pueden comparar con los indicados en las especificaciones, con el fin de establecer la aptitud de un agregado para un determinado uso. Dado que la precisión de este método de ensayo es baja, el rechazo de los agregados que no cumplan las especificaciones pertinentes no se puede dar sin confirmar los resultados de otros ensayos mejor relacionados con el uso que se le va a dar al material.
- 2.2 Los valores de las pérdidas resultantes al aplicar este método son, generalmente, diferentes para agregados finos y agregados gruesos. Además, se llama la atención sobre el hecho de que los resultados que se obtienen, varían según la sal que se emplee y que hay que ser cuidadoso al fijar los límites de cualquier especificación que incluya un requisito en relación con este ensayo. Normalmente, el ensayo es más severo cuando se usa sulfato de

magnesio; por lo tanto, los porcentajes de pérdida permitidos cuando se usa sulfato de magnesio suelen ser mayores que cuando se usa sulfato de sodio.

3 EQUIPO

- 3.1 Recipientes para muestras** – Recipientes para sumergir las muestras de los agregados en la solución, de acuerdo con el procedimiento descrito en este método. Los recipientes deberán tener perforaciones para permitir el libre acceso de la solución a la muestra, así como para que pueda drenar de ésta, sin que se produzcan pérdidas de partículas del agregado.

Nota 1: Se consideran adecuadas para utilizar en este ensayo, las canastas hechas de malla de alambre o tamices con aberturas acordes al tamaño de la fracción que van a contener.

- 3.2 Tamices** – Se utilizan tamices con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños, para tamizar las muestras de acuerdo con las Secciones 5, 6 y 8:

SERIE FINA	SERIE GRUESA
	8.0 mm (5/16")
	9.5 mm (3/8")
150 µm (No. 100)	12.5 mm (½")
300 µm (No. 50)	16 mm (5/8")
600 µm (No. 30)	19 mm (¾")
1.18 mm (No. 16)	25 mm (1")
2.36 mm (No. 8)	31.5 mm (1 ¼")
4.00 mm (No. 5)	37.5 mm (1 ½")
4.75 mm (No. 4)	50 mm (2")
	63 mm (2 ½")
	Los tamices mayores de 63 mm se deberán tomar en incrementos de 12.5 mm (½")

- 3.3 Regulador de la temperatura** – Se debe disponer de un medio apropiado para regular la temperatura de la solución durante el período de inmersión en sulfato de sodio o de magnesio.
- 3.4 Termómetro** – Un termómetro con una precisión de lectura de 0.1° C (0.2° F).
- 3.5 Balanzas** – Para el agregado fino, se requiere una balanza con posibilidad de lectura de 0.1 g en el intervalo requerido por este ensayo; para el agregado grueso, se necesita una balanza con aproximación de lectura al 0.1 % de la

masa de la muestra o a 1 g, la que sea mayor, dentro del intervalo requerido para este ensayo.

- 3.6** *Horno* – Un horno capaz de mantener una temperatura a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), cuya rata de evaporación para esta temperatura sea, al menos, de 25 g/h por 4 horas, período durante el cual la puerta del horno se deberá mantener cerrada. Esta velocidad se determinará midiendo la pérdida de agua en vasos de precipitados de 1.0 litro de capacidad, que contengan inicialmente cada uno 500 g de agua a una temperatura de $21 \pm 2^\circ \text{C}$ ($70 \pm 3^\circ \text{F}$), colocados en los rincones y en el centro de cada anaquel del horno. Esta comprobación se efectúa con el horno conteniendo solamente los vasos con agua.
- 3.7** *Medidores de gravedad específica* – Hidrómetros que cumplan con los requisitos indicados en la norma INV E-123, o una combinación apropiada de un recipiente de vidrio graduado y una balanza, que permitan medir la gravedad específica de la solución con una exactitud de ± 0.001 .

4 SOLUCIONES NECESARIAS

- 4.1** Se prepara una solución de sulfato de sodio o de magnesio para sumergir las muestras de ensayo, de acuerdo con los numerales 4.1.1 o 4.1.2 (nota 2). El volumen de solución debe ser, como mínimo, cinco veces el volumen de sólidos de todas las muestras sumergidas al mismo tiempo.

Nota 2: Algunos agregados que tienen carbonatos de calcio o de magnesio son atacados químicamente por soluciones frescas de sulfato, dando como resultado pérdidas muy altas. Si se presenta esta condición o se sospecha que se pueda presentar, se repite el ensayo usando una solución filtrada que haya sido utilizada antes para ensayar el mismo tipo de roca carbonatada, siempre y cuando la solución cumpla con los requisitos de gravedad específica estipulados en los numerales 4.1.1 y 4.1.2.

- 4.1.1** *Solución de sulfato de sodio* – Se prepara una solución saturada de sulfato de sodio, disolviendo en agua la cantidad necesaria de sulfato de sodio de tipo farmacéutico (United States Pharmacopeia/USP) a una temperatura de 25 a 30°C (77 a 86°F). Se añade suficiente cantidad de sulfato (nota 3), anhidro (Na_2SO_4) o decahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), para asegurar no solo la saturación sino, también, un exceso de cristales cuando la solución esté lista para ser usada en el ensayo. Se agita bien la solución durante la adición del sulfato y, posteriormente, a intervalos frecuentes hasta que se vaya a utilizar. Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, la solución se debe mantener cubierta todo el tiempo cuando no se requiera su utilización. Se permite que la solución alcance una temperatura de $21 \pm 1^\circ \text{C}$ ($70 \pm 2^\circ$

F). Se agita de nuevo y se permite que permanezca a esta temperatura por lo menos durante 48 horas antes de emplearla. Previo a cada uso, se rompe la pasta de sal que haya en el recipiente, se revuelve completamente la solución y se determina su gravedad específica. En el momento de su empleo, la solución debe tener una gravedad específica entre 1.154 y 1.171. Si la solución está descolorida, se deberá desechar descartar o filtrar y comprobar su gravedad específica.

Nota 3: Para la solución, son suficientes 215 g de la sal anhidra o 700 g de la decahidratada por litro de agua para saturación a 22° C (71.6° F). No obstante, como estas sales no son completamente estables, y puesto que es preferible que haya exceso de cristales en la solución, se recomienda emplear, como mínimo, 350 g de la sal anhidra y 750 g de la decahidratada por litro de agua.

- 4.1.2 Solución de sulfato de magnesio** – Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio, disolviendo en agua la cantidad necesaria de sulfato de magnesio de tipo farmacéutico (United States Pharmacopeia/USP) a una temperatura de 25 a 30° C (77 a 86° F). Se añade suficiente cantidad de sulfato (nota 4), anhidro (MgSO_4) o heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (sal de Epsom), para asegurar no solo la saturación sino, también, un exceso de cristales cuando la solución esté lista para ser usada en el ensayo. Se agita bien la solución durante la adición del sulfato y, posteriormente, a intervalos frecuentes hasta que se vaya a utilizar. Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, la solución se debe mantener cubierta todo el tiempo cuando no se requiera su utilización. Se permite que la solución alcance una temperatura de $21 \pm 1^\circ \text{C}$ ($70 \pm 2^\circ \text{F}$). Se agita de nuevo y se permite que permanezca a esta temperatura por lo menos durante 48 horas antes de emplearla. Previo a cada uso, se rompe la pasta de sal que haya en el recipiente, se revuelve completamente la solución y se determina su gravedad específica. En el momento de su empleo, la solución debe tener una gravedad específica entre 1.295 y 1.308. Si la solución está descolorida, se deberá descartar o filtrar y comprobar su gravedad específica.

Nota 4: Para la solución, son suficientes 350 g de la sal anhidra o 1230 g de la heptahidratada por litro de agua para saturación a 23° C (73.4° F). No obstante, como estas sales no son completamente estables y puesto que es preferible que haya exceso de cristales en la solución, se recomienda emplear la sal heptahidratada en una cantidad no menor de 1400 g por litro de agua.

- 4.2 Solución de cloruro de bario** – Se prepara una solución de cloruro de bario, disolviendo 5 g de BaCl_2 en 100 ml de agua destilada.

5 MUESTRAS

- 5.1** La muestra se debe obtener de acuerdo con la norma INV E–201 y reducir a la fracción requerida para el ensayo, de acuerdo con la norma INV E–202.
- 5.2** *Agregado fino* – El agregado fino debe pasar en su totalidad por el tamiz de 9.5 mm (3/8"). Su cantidad deberá ser suficiente para obtener 100 g de cada una de las fracciones que se indican a continuación. Si en la muestra original hay menos de 5 % de agregado en alguno de los pares de tamices, ese grupo no debe ser sometido a ensayo.

PASA TAMIZ	RETENIDO EN 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")	4.75 mm (No. 4)

- 5.3** *Agregado grueso* – El agregado grueso debe ser un material del que se han retirado todas las fracciones inferiores al tamiz de 4.75 mm (No.4). Las partículas de estos tamaños removidos se ensayan de acuerdo con el procedimiento para el agregado fino. La muestra de agregado grueso debe tener el tamaño suficiente para obtener de ella las cantidades de las fracciones indicadas a continuación, cada una de las cuales debe estar presente en cantidad de 5 %, como mínimo.

TAMICES	MASA, g	COMPOSICIÓN DEL MATERIAL
de 4.75 mm a 9.5 mm (No. 4 a 3/8")	300 ± 5	
de 9.5 mm a 19.0 mm (3/8" a ¾")	1000 ± 10	de 9.5 mm a 12.5 mm (3/8" a ½") 330 ± 5 g de 12.5 mm a 19.0 mm (½" a ¾") 670 ± 10 g
de 19.0 mm a 37.5 mm (¾" a 1 ½")	1500 ± 50	de 19.0 mm a 25.0 mm (¾" a 1") 500 ± 30 g de 25.0 mm a 37.5 mm (1" a 1 ½") 1000 ± 50 g
de 37.5 mm a 63 mm (1 ½" a 2 ½")	5000 ± 300	de 37.5 mm a 50 mm (1 ½" a 2") 2000 ± 200 g de 50 mm a 63 mm (2" a 2 ½") 3000 ± 300 g
de 63 mm a 75 mm (2 ½" a 3")	7000 ± 1000	
de 75 mm a 90 mm (3" a 3 ½")	7000 ± 1000	
de 90 mm a 100 mm (3 ½" a 4")	7000 ± 1000	

- 5.4** Cuando el agregado que se va a ensayar contiene cantidades apreciables de ambos materiales, fino y grueso, teniendo una granulometría con más de 10 % de gruesos de tamaño mayor a 9.5 mm (3/8") y, también, más de 10 % de partículas menores de 4.75 mm (No. 4), se deben ensayar muestras separadas de las fracciones menor y mayor de 4.75 mm (No. 4), con los procedimientos respectivos para agregado fino y para agregado grueso. Los resultados se reportan por aparte para la fracción fina y la fracción gruesa, indicando los porcentajes de ellas en la granulometría inicial.

6 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- 6.1** *Agregado fino* – La muestra de agregado fino se lava bien sobre el tamiz de 300 μm (No. 50); se seca hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se separa en las diferentes fracciones por medio de un tamizado realizado de la siguiente manera: Se efectúa primero una separación aproximada, por medio de un montaje de los tamices indicados en el numeral 5.2. De cada una de las fracciones obtenidas de esta forma se separa la suficiente cantidad de muestra para obtener 100 g, después de tamizar sobre el tamiz correspondiente hasta rechazo (en general, son suficientes unos 110 g). Las partículas de agregado fino que quedan atrapadas en la malla del tamiz, no se emplean en la preparación de las muestras. Se pesan las muestras de $100 \pm 1 \text{ g}$ de cada una de las fracciones separadas después del tamizado final y luego se colocan en recipientes individuales para el ensayo.
- 6.2** *Agregado grueso* – La muestra de agregado grueso se lava bien, se seca hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se separa en las diferentes fracciones indicadas en el numeral 5.3, tamizando hasta que no pase más material por ningún tamiz. Se pesan fracciones de los diferentes tamaños dentro de las tolerancias indicadas en el numeral 5.3, y donde la fracción deba estar conformada por dos porciones según se indica en ese numeral, se pesa cada una por separado y luego se combinan para conformar la fracción respectiva. Se anotan las masas de las fracciones y de cada una de las porciones que las componen, cuando corresponda. En el caso de las fracciones con tamaño superior a 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), se anota también el número de partículas.

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Inmersión y almacenamiento de las fracciones de agregado en la solución – Las diferentes fracciones de la muestra total se sumergen en la solución de sulfato de sodio o de magnesio durante un período no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de manera que el nivel de la solución las cubra por lo menos 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ ") (nota 5). Los recipientes se deben cubrir para evitar la evaporación y la contaminación accidental con sustancias extrañas. Las muestras se deben mantener a una temperatura de $21 \pm 1^\circ \text{C}$ ($70 \pm 2^\circ \text{F}$), durante todo el periodo de inmersión.

Nota 5: En el caso de agregados livianos, es conveniente tapar con una rejilla pesada de alambre los recipientes que contienen las muestras.

7.2 Secado de las fracciones de agregado luego de la inmersión – Después del período de inmersión, cada fracción se saca de la solución dejándola escurrir durante 15 ± 5 minutos y se la introduce en el horno, cuya temperatura se debe haber regulado previamente a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Se secan las fracciones a la temperatura indicada hasta masa constante. El tiempo requerido para obtener masa constante se establece de la siguiente manera: Con la máxima carga esperada de fracciones de la muestra total dentro del horno se verifica la pérdida de masa de ellas, removiéndolas y pesándolas sin dejarlas enfriar, a intervalos de 2 a 4 horas; se deben realizar las verificaciones que sean necesarias para determinar el tiempo de secado para la ubicación menos favorable en el horno (Ver numeral 3.6) y la condición más desfavorable de la muestra (nota 6). Se puede considerar que se ha alcanzado una masa constante, cuando la pérdida de masa es menor del 0.1 % luego de 4 horas de secado. Una vez alcanzada la masa constante se retiran las diferentes fracciones del horno y se permite su enfriamiento a temperatura ambiente, luego del cual se sumergen de nuevo en la solución, como se indica en el numeral 7.1. Se puede ayudar al enfriamiento de las fracciones usando aire acondicionado o un ventilador. La temperatura del material se debe verificar con un termómetro antes de llevar el material nuevamente a inmersión.

Nota 6: El tiempo requerido para alcanzar la masa constante puede variar considerablemente por muchas razones. La eficacia del secado disminuirá a medida que se acumulan los ciclos, debido a que la sal se adhiere a las partículas y, en algunos casos, porque se aumenta el área superficial debido a que las partículas se parten. Las diferentes fracciones de agregado tendrán diferentes velocidades de secado. Las partículas más finas tienden a secarse más lentamente debido a que tienen mayor área superficial y más restringidos los vacíos interparticulares, pero esta tendencia se puede alterar por el efecto del tamaño y de la forma del recipiente que contiene la muestra.

7.3 Número de ciclos – El proceso de inmersión y secado de las muestras se repite hasta completar el número especificado de ciclos.

Nota 7: Salvo indicación en contrario, el número de ciclos será cinco (5).

- 7.4** Después de terminado el último ciclo y de que todas las fracciones se han enfriado, se lavan hasta que queden exentas de sulfato de sodio o de magnesio, lo que se determina por la reacción del agua de lavado con el cloruro de bario. El lavado se realiza haciendo circular agua a $43 \pm 6^\circ \text{C}$ ($110 \pm 10^\circ \text{F}$) a través de las fracciones de agregado en sus recipientes, lo que se hace colocando éstos en un tanque en el cual se introduce el agua caliente cerca del fondo y permitiéndole pasar a través de los agregados hasta que rebose por encima de ellos. Durante la operación de lavado, las fracciones de agregado no se deben someter a efectos de impacto o abrasión que puedan quebrar las partículas.

Nota 8: Cuando en la operación de lavado se usa agua del acueducto que contiene sulfatos, ella se vuelve turbia con la solución de cloruro de bario (CaCl_2). Se requiere lavado adicional si la muestra del agua se torna turbia después de la adición de cloruro de bario.

8 EXAMEN CUANTITATIVO

- 8.1** El examen cuantitativo se debe realizar así:

- 8.1.1** Después de remover todo el sulfato de sodio o de magnesio, cada fracción de la muestra se seca hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se pesa. Se tamiza el agregado fino sobre los mismos tamices en los que fueron retenidas sus fracciones antes del ensayo, y el agregado grueso sobre los tamices indicados más adelante en este mismo numeral, según el tamaño de las partículas. Para el agregado fino, el método y la duración del tamizado deben ser iguales a los usados para preparar la muestra de ensayo. Para el agregado grueso, el tamizado debe ser manual y con el suficiente agitado para que pasen las partículas de tamaño inferior a la abertura del tamiz. No se debe ejercer manipulación adicional para quebrar partículas u obligarlas a pasar por los tamices. Se determina la masa del material retenido en cada tamiz y se registra cada cantidad. La diferencia entre cada una de estas cantidades y la masa inicial de la fracción de la muestra ensayada, es la pérdida durante el ensayo, la cual se debe expresar como un porcentaje de la masa inicial para ser usado en la Tabla 220 - 1.

TAMAÑO DEL AGREGADO	TAMIZ EMPLEADO PARA DETERMINAR LA PÉRDIDA
100 mm - 90 mm (4" - 3 ½")	75 mm (3")
90 mm - 75 mm (3 ½" - 3")	63 mm (2 ½")
75 mm - 63 mm (3" - 2 ½")	50 mm (2")
63 mm - 37.5 mm (2 ½" - 1 ½")	31.5 mm (1 ¼")
37.5 mm - 19.0 mm (1 ½" - ¾")	16.0 mm (5/8")
19.0 mm - 9.5 mm (¾" - 3/8")	8.0 mm (5/16")
9.5 mm - 4.75 mm (3/8" - No. 4)	4.00 mm (No. 5)

9 EXAMEN CUALITATIVO

9.1 Se hace un examen cualitativo a las muestras de ensayo con tamaño mayor de 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ "), como sigue (nota 9):

9.1.1 Se separan en grupos las partículas de cada muestra de ensayo, de acuerdo con el efecto que produce la acción del sulfato de sodio o magnesio (nota 9).

9.1.2 Se anota el número de partículas que muestran algún tipo de afectación.

Nota 9: La acción del sulfato se puede manifestar de muy diversas maneras; en general, se podrá clasificar como desintegración, fragmentación, rotura, agrietamiento, formación de lascas, descascaramiento, etc. Aunque solo se requiere el examen cualitativo de las partículas con tamaño mayor de 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ "), se recomienda que también se examinen los tamaños inferiores, para observar si se ha producido una fragmentación excesiva.

Tabla 220 - 1. Formato sugerido para el registro de los datos (Con valores ilustrativos)

TAMAÑO TAMIZ	GRADACIÓN DE LA MUESTRA ORIGINAL, %	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO, g	% QUE PASA EL TAMIZ DESIGNADO DESPUÉS DEL ENSAYO	PÉRDIDA PONDERADA EN PORCENTAJE
Ensayo de solidez sobre el agregado fino				
Menor de 150 μ m (No. 100)	6	-	-	-
300 μ m (No. 50) a 150 μ m (No. 100)	11	-	-	-
600 μ m (No. 30) a 300 μ m (No. 50)	26	100	4.2	1.1
1.18 mm (No. 16) a 600 μ m (No. 30)	25	100	4.8	1.2
2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16)	17	100	8.0	1.4
4.75 mm (No. 4) a 2.36 mm (No. 8)	11	100	11.2	1.2
9.55 mm ($\frac{3}{8}$ ") a 4.75 mm (No. 4)	4	-	11.2 ^A	0.4
	100.0	-	-	5
Ensayo de solidez sobre el agregado grueso				
63 mm ($2\frac{1}{2}$ ") a 50 mm (2")				
50 mm (2") a 37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ ")	20	4783	4.8	1.0
37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ ") a 25.0 mm (1")				
25 mm (1") a 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ ")	45	1525	8.0	3.6
19.0 mm ($\frac{3}{4}$ ") a 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ ")				
12.5 mm ($\frac{1}{2}$ ") a 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ")	23	1008	9.6	2.2
9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ") a 4.75 mm (No. 4)	12	298	11.2	1.3
Totales	100.0	-	-	8

^A Se toma el porcentaje de pérdida del tamaño mayor más próximo, puesto que el tamaño en cuestión contiene menos de 5 % en la muestra original como fue recibida (Ver numeral 10.1.3.4)

10 INFORME

10.1 Se debe incluir la siguiente información (nota 10):

10.1.1 La masa de cada fracción de la muestra antes del ensayo.

10.1.2 Material de cada fracción de la muestra, más fino que el tamiz especificado en el numeral 8.1.1, en el tamizado posterior al ensayo, expresado como porcentaje de la masa de la fracción original.

10.1.3 Pérdida promedio ponderada, calculada a partir del porcentaje de pérdida de cada fracción, teniendo en cuenta la granulometría del material tal como se recibió en el laboratorio o, preferiblemente, teniendo en cuenta la granulometría promedio del material al cual representa la muestra, excepto que:

10.1.3.1 Para agregados finos [con menos de 10 % mayor de 9.5 mm (3/8")], se asume que los tamaños inferiores al tamiz de 300 μm (No. 50) tienen pérdida igual a 0 % y que los tamaños superiores a 9.5 mm (3/8") tienen la misma pérdida que el tamaño inferior más próximo del cual se dispone de información.

10.1.3.2 Para agregados gruesos [con menos del 10 % de material de tamaño inferior a 4.75 mm (No. 4)], se asume que los tamaños inferiores a 4.75 mm (No. 4) tienen la misma pérdida que el tamaño superior más próximo del cual se dispone de información.

10.1.3.3 Para un agregado que contenga cantidades apreciables de materiales finos y gruesos, ensayados como dos muestras separadas (requisito establecido en el numeral 5.4), se calculan separadamente los promedios de pérdida en masa para las fracciones inferiores y superiores a 4.75 mm (No. 4), con base en granulometrías recalculadas considerando la fracción fina como el 100 % y la fracción gruesa como el 100 %. Se reportan los resultados por aparte, mencionando el porcentaje de las partículas inferiores y superiores a 4.75 mm (No. 4) en la gradación inicial.

10.1.3.4 Con el propósito de calcular la pérdida promedio ponderada, se debe considerar que todo grupo de tamaños de los

numerales 5.2 y 5.3 que contenga menos del 5 % de la muestra, tiene una pérdida igual al promedio de las pérdidas de los tamaños menores y mayores más próximos, o si alguno de estos tamaños no existe, se considera la misma pérdida del tamaño mayor o menor más próximo que esté presente.

10.1.4 Se reporta el porcentaje de pérdida, aproximándolo al número entero más próximo.

10.1.5 En el caso de partículas cuyo tamaño era mayor de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") antes del ensayo, se informará: (1) el número de partículas de cada fracción antes del ensayo y, (2) el número de partículas afectadas, clasificadas según la acción, en la siguiente forma: agrietadas, partidas, escamosas, desintegradas, vueltas lajas, etc., como se muestra en la Tabla 220 - 2.

10.1.6 Tipo de solución empleada (sulfato de sodio o sulfato de magnesio) y si la solución era recién preparada o ya había sido usada con anterioridad.

Nota 10: La Tabla 220 - 1 se ha incluido dentro de esta norma solamente para ilustrar la manera como se pueden anotar los datos. Los valores numéricos mostrados en ella pudieran ser satisfactorios para cualquiera de los sulfatos, dependiendo de la calidad del agregado.

Tabla 220 - 2. Formato sugerido para el examen cualitativo (Con valores ilustrativos)

EXAMEN CUALITATIVO DE LAS PARTÍCULAS GRUESAS									
TAMAÑO TAMIZ	PARTÍCULAS QUE EXHIBEN ALTERACIÓN								NO. TOTAL DE PARTÍCULAS ANTES DEL ENSAYO
	ROTURA		DESINTEGRACIÓN		AGRIETAMIENTO		EXFOLIACIÓN		
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	
63 mm (2 ½") a 37.5 mm (1 ½")	2	7	-	-	2	7	-	-	29
37.5 mm (1 ½") a 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ ")	5	10	1	2	4	8	-	-	50

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 Precisión – Para agregados gruesos con pérdidas promedio ponderadas entre 6 % y 16 % utilizando sulfato de sodio, y entre 9 % y 20 % utilizando sulfato de magnesio, los índices de precisión son los siguientes:

PARÁMETRO	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (1s) PORCENTAJE	DIFERENCIA ENTRE 2 ENSAYOS (d2s) PORCENTAJE DEL PROMEDIO
<i>Varios laboratorios:</i> Sulfato de sodio Sulfato de magnesio	41 25	116 71
<i>Un solo operario</i> Sulfato de sodio Sulfato de magnesio	24 11	68 31

11.2 Sesgo – Dado que no hay un material de referencia aceptable para la determinación del sesgo para este método de ensayo, no se presenta una declaración sobre el particular.

12 NORMAS DE REFERENCIA

12.1 ASTM C 88 – 05

CANTIDAD DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN UN AGREGADO PÉTREO

INV E – 221 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma presenta un procedimiento para determinar el porcentaje de partículas livianas en los agregados pétreos, mediante su separación por suspensión en un líquido de gravedad específica elevada.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–221–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Empleando un líquido pesado, se separan del agregado pétreo las partículas livianas y se establece su cuantía como porcentaje de la masa total del agregado seco.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Mediante esta norma se determina el porcentaje de partículas livianas en los agregados pétreos, con el fin de verificar el cumplimiento de las especificaciones de los agregados a emplear en la elaboración de concretos hidráulicos.
- 3.2 El ensayo es útil, también, para identificar partículas porosas en actividades de investigación o en análisis petrográficos.

4 EQUIPO

- 4.1 *Balanzas* – Una con capacidad de 500 g y sensibilidad de 0.1 g, para el ensayo de agregados finos; y otra con capacidad mínima de 5000 g y sensibilidad de 1 g, como mínimo, para el ensayo de los agregados gruesos.
- 4.2 *Recipientes* – Adecuados para colocar las muestras para su secado y para contener el líquido de alta densidad durante la separación por suspensión.

- 4.3** *Tamices* – Con aberturas de 4.75 mm (No. 4) y 300 μm (No. 50).
- 4.4** *Horno* – Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.5** *Colador* – Hecho de malla de alambre, con tejido cuadrado correspondiente al tamiz de 300 μm (No. 50), y con forma y tamaño adaptados para separar las partículas que flotan en el líquido pesado.
- 4.6** *Medidor de gravedad específica* – Hidrómetro adecuado para líquidos de alta gravedad específica, capaz de medir la gravedad específica con aproximación de ± 0.01 .

5 LÍQUIDO PESADO

- 5.1** El líquido pesado puede ser uno de los siguientes (Ver numeral 5.1.4):
- 5.1.1** Una solución de cloruro de zinc en agua (para una gravedad específica hasta de 2.0).
 - 5.1.2** Una solución de bromuro de zinc en agua (para una gravedad específica cercana a 2.4).
 - 5.1.3** Una mezcla de líquidos orgánicos pesados, dosificados para alcanzar las gravedades específicas deseadas (nota 1).
 - 5.1.4** *Advertencia* – Los compuestos orgánicos clorados y bromados son altamente tóxicos y extremadamente peligrosos. Se deben usar en una campana (preferiblemente de tiro descendente) o al aire libre, y evitando inhalación o contacto con los ojos o la piel. Se deben manejar solamente por personal entrenado y calificado y almacenar en un lugar seguro. No hay ningún peligro particular proveniente de los vapores de las soluciones de cloruro de zinc (numeral 5.1.1) o de bromuro de zinc (numeral 5.1.2), pero se deben usar anteojos protectores y guantes para evitar el contacto con los ojos y la piel.
- 5.2** La gravedad específica del líquido pesado no debe variar durante el ensayo en ± 0.01 del valor especificado.

Nota 1: Los líquidos sugeridos y sus gravedades específicas, son los siguientes: tetrabromoetano (2.95), dibromoetano (2.70), 2,6 tetracloroetano (1.63) y diclorometano (1.33). El tetrabromoetano es altamente tóxico; su uso es extremadamente peligroso y al calentarse emite vapores altamente tóxicos de bromo, bromuro hidrógeno y bromuro de carbono.

6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1 La muestra se debe obtener de acuerdo con la norma INV E–201 y reducir a la fracción requerida para el ensayo, de acuerdo con la norma INV E–202.
- 6.2 Se seca la muestra hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$, ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) antes del ensayo y se tamiza para remover las partículas de tamaño inferior a los indicados en los numerales 7.1 y 7.2. La masa mínima de la muestra seca de ensayo debe ser la siguiente:

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO (TAMICES DE ABERTURAS CUADRADAS)		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA, g (lb)
4.75 mm o menor	(No.4 o menor)	200 (0.5)
9.5 mm	(3/8")	1500 (3.0)
12.5 mm a 19.0 mm	(½" a ¾")	3000 (7.0)
25 mm a 37.5 mm	(1" a 1 ½")	5000 (11.0)
50 mm o mayor	(2" o mayor)	10000 (22.0)

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1 *Agregado fino* – Se deja enfriar la muestra a la temperatura ambiente, y se pasa por el tamiz de $300 \mu\text{m}$ (No. 50), hasta cuando menos del 1 % del material retenido pase después de un minuto de tamizado continuo. Se determina la masa del material retenido en el tamiz de $300 \mu\text{m}$ (No. 50), con aproximación a 0.1 g y, en seguida, se somete el material al proceso descrito en la norma INV E–222, hasta cuando el agregado alcance la condición de saturado con superficie seca (SSS). A continuación, se coloca la muestra dentro del recipiente con el líquido pesado. El volumen del líquido debe ser, al menos, tres veces el volumen absoluto del agregado. Se vierte el líquido, incluidas las partículas flotantes, en un segundo recipiente, pasándolo a través del colador, teniendo el cuidado de que solo las partículas que flotan se viertan en el colador. El líquido recogido en el segundo recipiente se devuelve al primero y, luego de agitar la muestra vigorosamente, se repite el proceso de decantación, hasta que la muestra esté libre de partículas flotantes. Las partículas decantadas contenidas en el colador se lavan en un solvente apropiado para removerles el líquido pesado. El alcohol es apropiado para los compuestos orgánicos clorados y bromados, y el agua para las soluciones de cloruro de zinc y de bromuro de zinc. Después del lavado, se permite que las partículas

decantadas se sequen. Con un cepillo, se retiran cuidadosamente las partículas del colador, se llevan a la balanza y se determina su masa con una aproximación de 0.1 g. Si se desea una determinación más precisa, las partículas decantadas se pueden secar a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante, para determinar el valor M_1 que se emplea en los cálculos del numeral 8.1.

7.1.1 Si se ha determinado la absorción con la norma INV E-222, el agregado fino se puede preparar para el ensayo añadiendo a una masa conocida del agregado seco la cantidad de agua que éste absorbería, mezclándola completamente y colocando el agregado en un recipiente tapado durante 30 minutos antes de su uso.

7.1.2 El secado se debe hacer en la campana o al aire libre si se usan soluciones diferentes al cloruro de zinc o al bromuro de zinc. Se pueden usar un horno o un reverbero para acelerar el secado, siempre y cuando la operación se efectúe en la campana o que el horno sea de ventilación forzada hacia el exterior del laboratorio y que no se exceda una temperatura de 115°C (240°C).

7.1.3 Normalmente, la discrepancia entre la masa seca al horno y la masa saturada y superficialmente seca (SSS) de las partículas decantadas, no afecta significativamente el porcentaje calculado de partículas livianas.

7.2 *Agregado grueso* – Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente y se pasa por el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Se determina la masa del material retenido en dicho tamiz, aproximada a 1 g y se somete al proceso descrito en la norma INV E-223, hasta cuando el agregado alcance la condición de saturado con superficie seca (SSS). A continuación, se coloca la muestra dentro del recipiente con el líquido pesado. El volumen del líquido debe ser, al menos, tres veces el volumen absoluto del agregado. Se retiran las partículas que suban a la superficie, usando el colador y se colocan en otro recipiente. Se agita la muestra repetidamente y se retiran las partículas que flotan, hasta cuando ninguna suba a la superficie del líquido. Se lavan las partículas que han sido retiradas, tal como se indica en el numeral 7.1. Una vez removido el líquido pesado, se dejan secar las partículas decantadas (Ver numeral 7.1.2) y se determina su masa, redondeada a 1 g. Si se desea una determinación más precisa, las partículas decantadas se pueden secar a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230^\circ \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante, para determinar el valor M_1 que se emplea en los cálculos del numeral 8.1.

8 CÁLCULOS

8.1 El porcentaje de partículas livianas en los agregados se calcula mediante las siguientes fórmulas:

8.1.1 Agregado fino:

$$L = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad [221.1]$$

Donde: L: Porcentaje en masa de partículas livianas;

M₁: Masa seca de las partículas retenidas en el colador;

M₂: Masa seca de la porción de la muestra retenida en el tamiz de 300 μm (No. 50).

8.1.2 Agregado grueso:

$$L = \frac{M_1}{M_3} \times 100 \quad [221.2]$$

Donde: L: Porcentaje, en masa, de partículas livianas;

M₁: Masa seca de las partículas retenidas en el colador;

M₃: Masa seca de la porción de la muestra retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

9 INFORME

9.1 Se reporta la siguiente información:

9.1.1 Identificación del agregado en cuanto a su origen, tipo y tamaño máximo nominal.

9.1.2 La masa de la muestra de ensayo utilizada.

9.1.3 El tipo y la gravedad específica del líquido pesado usado para los ensayos.

9.1.4 El porcentaje por masa de partículas livianas, aproximado a 0.1 %.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión* – No se han realizado estudios en uno o varios laboratorios empleando este método de ensayo para determinar índices de precisión.

10.2 *Sesgo* – El sesgo de este método de ensayo se puede estimar realizando determinaciones separadas de gravedad específica y de absorción sobre partículas individuales.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 123/C 123M – 12

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

INV E – 222 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad, en kg/m^3 (lb/pe^3), se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente. Además, la densidad relativa (gravedad específica), que es una cantidad adimensional, se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente (gravedad específica aparente). La densidad seca al horno (SH) y la densidad relativa seca al horno (SH) se deben determinar luego del secado del agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de sumergir el agregado en agua durante un período especificado.
- 1.2** El ensayo descrito en esta norma se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y suministra el valor promedio que representa la muestra. Se debe establecer distinción entre la densidad de las partículas de agregado determinadas mediante este método de ensayo, y la densidad bulk de los agregados determinada a través de la norma INV E–217, la cual incluye el volumen de los vacíos entre las partículas del agregado.
- 1.3** El método de ensayo descrito en esta norma no es aplicable a agregados livianos.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E–222–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Absorción* – Incremento de la masa de un agregado, debido a la penetración de agua dentro de los poros de sus partículas durante un período especificado, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas. La absorción se expresa como un porcentaje de la masa seca del agregado.

- 2.2** *Densidad* – Masa por unidad de volumen de un material, expresada generalmente en kg/m^3 (lb/pe^3).
- 2.2.1** *Densidad en condición seca al horno (SH)* – Masa por unidad de volumen de las partículas de agregado secas al horno, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables de las partículas, pero no los vacíos entre ellas.
- 2.2.2** *Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Masa por unidad de volumen de las partículas del agregado saturadas y superficialmente secas, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables de las partículas y el agua que llena los poros permeables, pero no los vacíos entre las partículas.
- 2.2.3** *Densidad aparente* – Masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas del agregado.
- 2.3** *Condición seca al horno (SH)* – Condición en la cual el agregado ha sido secado por calentamiento en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) durante un lapso suficiente para alcanzar masa constante.
- 2.4** *Densidad relativa (gravedad específica)* – Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua a una temperatura indicada. Su valor es adimensional.
- 2.4.1** *Densidad relativa (gravedad específica) en condición seca al horno (SH)* – Relación entre la densidad del agregado en condición seca al horno (SH) y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- 2.4.2** *Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Relación entre la densidad SSS del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- 2.4.3** *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)* – Relación entre la densidad aparente del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- 2.5** *Condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Condición en la cual los poros permeables de las partículas del agregado están llenos de agua en la cantidad que se logra al sumergirlas en agua durante un tiempo especificado, pero sin que exista agua libre en la superficie de las partículas.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se sumerge en agua una muestra del agregado durante un período de 24 ± 4 h, para llenar sus poros permeables. Una vez retiradas del agua, las partículas del agregado se secan superficialmente y se determina su masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y se determina su volumen por el método gravimétrico o el volumétrico. Finalmente, la muestra se seca al horno y se determina su masa seca. Usando los valores de masa obtenidos y las fórmulas incluidas en esta norma, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente empleada para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como las de concreto hidráulico, concreto asfáltico y otras que se dosifican o analizan sobre la base de un volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) se usa, también, en el cálculo de los vacíos del agregado en la norma INV E-217. La densidad relativa (gravedad específica) SSS se emplea en la determinación de la humedad superficial del agregado fino por el método de desplazamiento de agua indicado en la norma ASTM C70. La densidad relativa (gravedad específica) SSS se usa si el agregado está húmedo, es decir, si su absorción ha sido satisfecha. Por el contrario, la densidad relativa (gravedad específica) en condición seca (SH) se usa para los cálculos requeridos cuando el agregado está seco o se asume que lo está.
- 4.2** La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) se refieren a las partículas del agregado excluyendo todo espacio en ellas que sea accesible al agua, y son poco utilizadas en la tecnología de los agregados para construcción.
- 4.3** Los valores de absorción se usan para calcular el cambio de masa de un agregado a causa del agua absorbida por los poros permeables de sus partículas, en relación con la masa en condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua un tiempo suficiente para satisfacer la mayoría de su potencial de absorción. La norma de laboratorio para la absorción es que ella se debe obtener luego de sumergir el agregado seco en agua durante un tiempo prescrito. Los agregados extraídos por debajo del nivel freático tienen, por lo general, un contenido de agua mayor que la

absorción determinada por este método, si se emplean sin darles la oportunidad de secarse. Por el contrario, algunos agregados que no han permanecido continuamente en condición húmeda hasta el instante de su uso, posiblemente contengan una humedad absorbida menor que la que se obtiene tras la inmersión durante 24 h. Para un agregado que ha estado en contacto con el agua y que tiene humedad libre en las superficies de sus partículas, el porcentaje de agua libre se determina deduciendo la absorción de su contenido de agua total, determinado por secado de acuerdo con la norma INV E-216.

- 4.4** Los procedimientos generales descritos en esta norma son también apropiados para determinar la absorción de agregados que han sido acondicionados de un modo diferente a la inmersión durante 24 h como, por ejemplo, mediante el empleo de agua hervida o la saturación por vacío. Los valores de absorción obtenidos por otros métodos son diferentes de los que se determinan tras la inmersión por 24 h. Lo mismo sucede con los valores de la densidad SSS y de la densidad relativa (gravedad específica) SSS.
- 4.5** En los agregados livianos, los poros no se llenan necesariamente tras un período de inmersión de 24 h. En efecto, el potencial de absorción de muchos de esos agregados no se satisface ni siquiera luego de varios días de inmersión. Por lo tanto, este método de ensayo no es aplicable a ese tipo de agregados.

5 EQUIPO

- 5.1** *Balanza* – Con capacidad mínima de 1 kg, sensibilidad de 0.1 g o menor, y una exactitud de 0.1 % de la masa de la muestra en cualquier punto del rango de pesada empleado en el ensayo. Para un rango de carga de 100 g, una diferencia de lecturas deberá ser exacta dentro de 0.1 g.
- 5.2** *Picnómetro (para uso con el procedimiento gravimétrico)* – Un matraz u otro recipiente aforado, en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de agregado fino y donde se puedan apreciar volúmenes con una exactitud de $\pm 0.1 \text{ cm}^3$. Su capacidad hasta la marca superior será, como mínimo, un 50 % mayor que el volumen ocupado por la muestra. Un matraz de 500 cm^3 o un frasco para frutas con tapa de picnómetro, son satisfactorios para 500 g de muestra de prueba, en la mayoría de los agregados finos.
- 5.3** *Matraz (para uso con el procedimiento volumétrico)* – Un frasco de Le Chatelier es adecuado para una muestra de prueba de, aproximadamente, 55 g.

- 5.4** *Molde cónico* – Molde metálico en forma de tronco de cono, construido con una chapa de 0.8 mm de espesor mínimo, de 40 ± 3 mm de diámetro interior en su base superior, 90 ± 3 mm de diámetro interior en la base inferior y 75 ± 3 mm de altura.
- 5.5** *Pisón* – Varilla metálica recta, con una masa de 340 ± 15 g, con una superficie circular plana para el apisonado, de 25 ± 3 mm de diámetro.
- 5.6** *Horno* – De tamaño suficiente y capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{C}$).
- 5.7** *Secador de pelo* – Para secar la muestra hasta la condición saturada y superficialmente seca.
- 5.8** *Embudo* – Para verter la muestra dentro del picnómetro.
- 5.9** *Elementos accesorios* – Recipientes de diversos tamaños para el secado y manejo la muestra, agitador mecánico, etc.

6 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE PRUEBA

- 6.1** La muestra del agregado se debe obtener de acuerdo con la norma INV E–201 y reducir a la fracción requerida para el ensayo (aproximadamente 1 kg), de acuerdo con la norma INV E–202.
- 6.2** Se coloca la muestra en un recipiente adecuado y se seca hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Se permite que se enfríe hasta una temperatura en la que sea manejable (unos 50°C), se cubre con agua de manera que quede sumergida, o se le añade la necesaria para que su humedad sea de 6 % o más, y se mantiene en ese estado por 24 ± 4 horas.
- 6.2.1** Cuando los valores de la densidad relativa (gravedad específica) y de la absorción se vayan a utilizar en el diseño de mezclas de concreto hidráulico, en las que los agregados se emplean en su condición normal de humedad, se puede prescindir del secado previo hasta masa constante. Además, si los agregados se han mantenido previamente con su superficie continuamente húmeda, se puede, igualmente, omitir el período de 24 ± 4 horas de inmersión.

Nota 1: Los valores que se obtienen para la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) SSS, pueden ser significativamente más altos si se omite el secado previo antes del período de inmersión.

- 6.3** Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos (Ver Anexo A) y se extiende la muestra sobre una superficie plana no absorbente. Se inicia la operación de secar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire tibio (Figura 222 - 1) y se revuelve periódicamente para asegurar un secado homogéneo, buscando que el material alcance la condición de saturado y superficialmente seco. La operación se continúa hasta que las partículas del agregado puedan fluir libremente. Se debe seguir el procedimiento indicado en el numeral 6.4, para determinar si la superficie de las partículas de agregado fino está aun húmeda. Se hace un primer tanteo con el molde cónico cuando todavía hay humedad superficial en el espécimen. Se continúa el proceso de secado y se efectúa periódicamente la prueba del cono, hasta que el espécimen alcanza la condición saturada y superficialmente seca. Si el primer tanteo indica que no hay agua superficial o se ha secado más allá de la condición saturada y superficialmente seca, se agregan a la muestra unos pocos mililitros de agua, se mezcla, y se deja en reposo en un recipiente cubierto durante 30 minutos. Después de este tiempo se reinicia el proceso de secado y de prueba de cono a intervalos frecuentes, hasta alcanzar la condición saturada y superficialmente seca.



Figura 222 - 1. Secado de la muestra con aire tibio

- 6.4** *Prueba del cono para verificar la condición saturada y superficialmente seca* – Cuando se empiece a observar visualmente que el agregado fino se está aproximando a esta condición, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, se pone en su interior una porción de muestra en estado suelto, en cantidad suficiente para llenarlo hasta rebosar y amontonando material adicional sobre la parte superior, el cual se sostiene colocando en forma de bocina los dedos de la

mano que está sujetando el molde. En seguida, se apisona ligeramente el agregado dentro del molde, aplicándole 25 golpes con la varilla (Figura 222 - 2). Cada golpe se debe dar dejando caer libremente el pisón bajo la acción de la gravedad, únicamente, desde unos 5 mm (0.2") por encima de la superficie superior del agregado fino. A continuación, se remueve la arena suelta que haya alrededor de la base del molde y se levanta éste verticalmente. Si hay humedad superficial aun presente, la muestra de agregado fino mantendrá su forma cónica (Figura 222 - 3), por lo que se continuará secando y mezclando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un derrumbe parcial, el cual indica que se ha alcanzado la condición superficialmente seca.



Figura 222 - 2. Aplicación de los golpes con el pisón

6.4.1 Algunos agregados finos angulosos o con alta proporción de partículas finas no se derrumban en la condición de superficialmente secos. Para verificarlo, se deja caer desde una altura entre 100 y 150 mm la cantidad de muestra de ensayo que puede ser sostenida en una mano y se observa si se presentan finos suspendidos en el aire. Su presencia es indicativa del problema. Para estos materiales, se considera la condición saturada y superficialmente seca como el punto en el cual un lado del cono formado con el espécimen se asienta ligeramente al remover el molde.



Figura 222 - 3. Agregado con humedad superficial

Nota 2: Se han usado los siguientes criterios para los materiales que no se derrumban fácilmente:

1 - Prueba de cono provisional– El llenado se hace de acuerdo con el numeral 6.4, excepto que se usan solamente 10 golpes con el pisón. Se agrega más agregado fino y nuevamente se aplican 10 golpes del pisón. Posteriormente, se agrega material otras dos veces y se aplican tres y dos golpes del pisón, respectivamente. Se enrasa la parte superior del molde, se remueve el material suelto alrededor de la base; y se levanta verticalmente el molde.

2 - Prueba superficial provisional – Si se observan partículas suspendidas en el aire cuando la condición del agregado fino es tal, que no se derrumba cuando está en la condición de humedad, se añade más agua a la arena, y al comienzo de la condición saturada y superficialmente seca, se arma con palmadas suaves una pasta (torta) de unos 100 g de material sobre una superficie plana, seca, limpia, oscura, o una superficie mate no absorbente, como una lámina de caucho o sobre una superficie de acero, de material galvanizado o una superficie metálica pintada de negro. Después de 1 a 3 segundos, se remueve el agregado fino. Si se puede apreciar humedad en la superficie plana por más de 1 o 2 segundos, ello quiere decir que en el agregado aun hay humedad superficial.

3 – Se pueden emplear los procedimientos colorimétricos descritos por Kandhal y Lee en la página 44 del boletín 307 del Highway Research Record.

4 - Para alcanzar la condición saturada y superficialmente seca de un material de un solo tamaño que se derrumba aun teniendo humedad superficial, se pueden utilizar toallas de papel resistentes para secar la humedad superficial hasta el punto justo en donde la toalla de papel no absorba más humedad de la superficie de las partículas del agregado fino.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** El procedimiento gravimétrico se describe en el numeral 7.2 y el volumétrico en el numeral 7.3. Todas las determinaciones de masa se deben realizar con aproximación a 0.1 g.

7.2 Procedimiento gravimétrico:

7.2.1 Se llena parcialmente el picnómetro con agua. Inmediatamente, se introducen en el picnómetro, 500 ± 10 g del agregado fino saturado y superficialmente seco, preparado como se ha descrito en la Sección 6 (Figura 222 - 4), y se añade agua hasta aproximadamente un 90 % de su capacidad. Se agita el picnómetro como se describe en el numeral 7.2.1.1 (manualmente) o en el numeral 7.2.1.1 (mecánicamente).

7.2.1.1 El picnómetro se rueda, agita o invierte (o se combinan las tres acciones) para eliminar las burbujas de aire visibles.

Nota 3: Normalmente, se requieren de 15 a 20 minutos de agitación para eliminar las burbujas de aire en el método manual. Se ha encontrado útil introducir la punta de una toalla de papel en el picnómetro para remover la espuma que se forma a veces en el proceso de eliminación de aire. Opcionalmente, se puede usar una pequeña cantidad de alcohol isopropílico para remover la espuma.

7.2.1.2 La agitación mecánica se logra aplicando vibración externa al picnómetro de una manera que no degrade la muestra. Un nivel de agitación justo para remover el aire atrapado sin degradar, es el que mueve las partículas individuales del material. Se considera aceptable un agitador mecánico para este uso, si la comparación de resultados de pruebas realizadas cada 6 meses muestra una variación menor que la aceptada para dos resultados del mismo material con agitación manual (d2s) según se indica en la Tabla 222 - 1.



Figura 222 - 4. Introducción de la muestra en el picnómetro

- 7.2.2** Luego de eliminar las burbujas de aire, se ajusta la temperatura del picnómetro con la muestra a $23 \pm 2.0^\circ \text{C}$, introduciéndolo parcialmente en un baño de agua si es necesario. Se lleva el nivel de agua (a igual temperatura) hasta la marca de capacidad del picnómetro; se seca rápidamente su superficie y se determina su masa total (picnómetro, muestra y agua).
- 7.2.3** Se remueve el agregado fino del picnómetro y se seca hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{C}$). Se deja enfriar a temperatura ambiente por $1 \pm \frac{1}{2} \text{h}$, y se determina su masa.
- 7.2.4** Se determina la masa del picnómetro lleno de agua hasta su marca de capacidad, a $23 \pm 2.0^\circ \text{C}$.

7.3 *Procedimiento volumétrico (frasco de Le Chatelier):*

- 7.3.1** Se llena el frasco inicialmente con agua hasta un punto en su cuello entre las marcas 0 y 1 ml y se registra la lectura. Tanto el frasco como el agua se deben encontrar a $23 \pm 2.0^\circ \text{C}$. Se añaden $55 \pm 5 \text{g}$ de agregado fino en condición saturada y superficialmente seca, (u otra cantidad si así se ha especificado). Después de introducir la muestra de agregado fino, se pone el tapón en el frasco, se coloca éste en posición inclinada y se gira suavemente en círculos para eliminar el aire atrapado, hasta que no salgan burbujas de aire a la superficie (nota 4). Se toma y registra la lectura final en el frasco, cuando la temperatura del frasco con su contenido esté a la temperatura de la lectura inicial $\pm 1^\circ \text{C}$.

Nota 4: Se puede usar una pequeña cantidad de alcohol isopropílico (no más de 1 ml) para remover la espuma. El volumen de alcohol se debe restar de la lectura final (R_2).

- 7.3.2** Para determinar la absorción, se usa una porción diferente de agregado fino, de $50 \pm 10 \text{g}$, la cual se seca hasta masa constante, determinándose luego dicha masa.

Tabla 222 - 1. Precisión

PARÁMETRO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)
<i>Precisión de un solo operador:</i>		
Densidad (SH), kg/m ³	11	13
Densidad (SSS), kg/m ³	9.5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9.5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0.011	0.032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0.0095	0.027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.0095	0.027
Absorción, % ^A	0.11	0.31
<i>Precisión varios laboratorios:</i>		
Densidad (SH), kg/m ³	23	64
Densidad (SSS), kg/m ³	20	56
Densidad aparente, kg/m ³	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0.023	0.066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0.020	0.056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.020	0.056
Absorción, % ^A	0.23	0.66

^A La precisión estimada se basa en agregados con absorción menor del 1 % y puede diferir para agregados finos de trituración, y para agregados con valores de absorción mayor a 1 %.

8 CÁLCULOS

8.1 Símbolos:

- A: Masa al aire de la muestra seca al horno, g;
- B: Masa del picnómetro aforado lleno de agua, g;
- C: Masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, g;
- R₁: Lectura inicial con agua en el frasco de Le Chatelier, ml;
- R₂: Lectura final con agua y muestra en el frasco de Le Chatelier, ml;

S: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (usada para hallar la densidad y la densidad relativa en el procedimiento gravimétrico o la absorción en ambos procedimientos), g;

S₁: Masa de la muestra saturada y superficialmente seca añadida al frasco (usada para hallar la densidad y la densidad relativa en el procedimiento volumétrico), g;

8.2 Densidad relativa (gravedad específica):

8.2.1 Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH) – Se calcula sobre la base del agregado secado al horno, de la siguiente forma:

8.2.1.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{A}{(B + S - C)} \quad [222.1]$$

8.2.1.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{\left[S_1 \left(\frac{A}{S} \right) \right]}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.2]$$

8.2.2 Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS) – Se calcula sobre la base del agregado en condición saturada y superficialmente seca, de la siguiente forma:

8.2.2.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad [222.3]$$

8.2.2.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{[S_1]}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.4]$$

8.2.3 Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) – Se calcula de la siguiente forma:

8.2.3.1 *Procedimiento gravimétrico:*

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad [222.5]$$

8.2.3.2 *Procedimiento volumétrico:*

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{\left[S_1 \left(\frac{A}{S} \right) \right]}{\left[0.9975 (R_2 - R_1) \right] - \left[\left(\frac{S_1}{S} \right) (S - A) \right]} \quad [222.6]$$

8.3 *Densidad:*

8.3.1 *Densidad en condición seca al horno (SH)* – Se calcula de la siguiente forma:

8.3.1.1 *Procedimiento gravimétrico:*

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(B + S - C)} \quad [222.7]$$

$$\text{Densidad (SH), lb/pie}^3 = \frac{62.27 A}{(B + S - C)} \quad [222.8]$$

8.3.1.2 *Procedimiento volumétrico:*

$$\text{Densidad SH, kg/m}^3 = \frac{\left[997.5 S_1 \left(\frac{A}{S} \right) \right]}{\left[0.9975 (R_2 - R_1) \right]} \quad [222.9]$$

$$\text{Densidad SH, lb/pie}^3 = \frac{\left[62.67 S_1 \left(\frac{A}{S} \right) \right]}{\left[0.9975 (R_2 - R_1) \right]} \quad [222.10]$$

8.3.2 Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS) – Se calcula sobre la base del agregado en condición saturada y superficialmente seca, de la siguiente forma:

8.3.2.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad SSS, kg/m}^3 = \frac{997.5 S}{(B + S - C)} \quad [222.11]$$

$$\text{Densidad SSS, lb/pie}^3 = \frac{62.27 S}{(B + S - C)} \quad [222.12]$$

8.3.2.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad SSS, kg/m}^3 = \frac{997.5 [S_1]}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.13]$$

$$\text{Densidad SSS, lb/pie}^3 = \frac{62.27 [S_1]}{[0.9975 (R_2 - R_1)]} \quad [222.14]$$

8.3.3 Densidad aparente – Se calcula de la siguiente forma:

8.3.3.1 Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad aparente, kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(B + A - C)} \quad [222.15]$$

$$\text{Densidad aparente, lb/pie}^3 = \frac{62.27 A}{(B + A - C)} \quad [222.16]$$

8.3.3.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad aparente, kg/m}^3 = \frac{997.5 \left[S_1 \left(\frac{A}{S} \right) \right]}{[0.9975(R_2 - R_1)] - \left[\left(\frac{S_1}{S} \right) (S - A) \right]} \quad [222.17]$$

$$\text{Densidad aparente, lb/pie}^3 = \frac{62.27 \left[S_1 \left(\frac{A}{S} \right) \right]}{\left[0.9975(R_2 - R_1) \right] - \left[\left(\frac{S_1}{S} \right) (S - A) \right]} \quad [222.18]$$

Nota 5: Las constantes utilizadas en las fórmulas de los numerales 8.3.1 a 8.3.3 (997.5 kg/m³ y 62.27 lb/pie³) corresponden a la densidad del agua a 23° C. Algunas autoridades consideran que el uso de la densidad del agua a 4° C (1000 kg/m³ y 62.43 lb/pie³) brinda suficiente exactitud en los resultados.

8.4 Absorción – Se calcula, en porcentaje, con la expresión:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{S - A}{A} \times 100 \quad [222.19]$$

9 INFORME

- 9.1** Los resultados de densidad se deben reportar redondeados a 10 kg/m³ o 0.5 lb/pie³, y los de densidad relativa (gravedad específica) a 0.01. Se debe indicar si los valores están referidos a la condición seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente.
- 9.2** El porcentaje de absorción se debe informar redondeado a 0.1%.
- 9.3** Si los valores de densidad y densidad relativa (gravedad específica) se determinaron sin el secado previo del material, como se permite en el numeral 6.2, ello debe quedar indicado en el informe.

10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1 Precisión** – Los estimativos de precisión de este método (mostrados en la Tabla 222 - 1) se basan en los resultados obtenidos en el *AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Program*, con pruebas realizadas mediante este ensayo y el método AASHTO T-84. La diferencia entre los métodos está en que en el presente método de ensayo requiere un período de saturación de 24 ± 4 horas mientras que en el de AASHTO se requiere un período de saturación de 15 a 19 horas. Esta diferencia tiene un efecto insignificante sobre la precisión de los índices. Los datos están basados en el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios. Para efectos de conversión, se utilizó la densidad del agua a 23° C.

10.2 Sesgo – No hay un material de referencia aceptado para determinar el sesgo para este método; por lo tanto no hay ninguna declaración sobre el particular.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 128 – 07a

ANEXO A (Informativo)

DIFERENCIAS POTENCIALES EN LA DENSIDAD RELATIVA BULK Y EN LA ABSORCIÓN DEBIDO A LA PRESENCIA DE PARTÍCULAS MENORES DE 75 μm

A.1 Se ha encontrado que puede haber diferencias significativas en las densidades relativas y la absorción entre muestras de agregados con y sin material menor de 75 μm . Las muestras a las que no se les remueven los finos presentan, por lo general, mayor absorción y menor densidad relativa que aquellas a las cuales se les removieron según el procedimiento de la norma INV E-214. En las muestras con finos se puede formar una capa alrededor de las partículas más gruesas del agregado fino durante el proceso de secado superficial. Debido a ello, la densidad relativa y la absorción se miden sobre las partículas aglomeradas y cubiertas y no sobre el material principal. Las magnitudes de las diferencias dependen de la cantidad de material menor de 75 μm y de la naturaleza del mismo. Cuando el material fino está presente en una proporción inferior a 4 % en masa, la diferencia entre las densidades relativas halladas sobre muestras lavadas y sin lavar, es menor de 0.03. Si los finos constituyen más del 8 % en masa, la diferencia puede ser tan alta como 0.13. Se ha encontrado que la densidad relativa determinada sobre un agregado fino del cual se han removido las partículas menores de 75 μm antes del ensayo, refleja con mayor exactitud la densidad relativa del material.

ANEXO B (Informativo)

RELACIONES ENTRE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y LA ABSORCIÓN DEFINIDAS DE ACUERDO CON LAS NORMAS INV E-222 E INV E-223

B.1 Este anexo presenta algunas relaciones matemáticas entre los tres tipos de densidades relativas (gravidades específicas) y la absorción. Las relaciones son útiles para verificar la consistencia de los valores incluidos en un informe, o para calcular un valor no informado que se va a usar con otros datos informados. Los símbolos empleados son los siguientes:

- S_d : Densidad relativa (gravidad específica) (SH);
 S_s : Densidad relativa (gravidad específica) (SSS);
 S_a : Densidad relativa aparente (gravidad específica aparente);
 A: % de absorción.

B.2 Las relaciones son las siguientes:

$$S_s = S_d \left(1 + \frac{A}{100} \right) \quad [222.20]$$

$$S_s = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{A S_d}{100}} \quad [222.21]$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1 + \frac{A}{100}}{S_s} - \frac{A}{100}} \quad [222.22]$$

$$A = \left(\frac{S_s}{S_d} - 1 \right) 100 \quad [222.23]$$

$$A = \left[\frac{S_a - S_s}{S_a (S_s - 1)} \right] 100 \quad [222.24]$$

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

INV E – 223 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir los vacíos entre ellas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad, en kg/m^3 (lb/pie^3), se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente. Además, la densidad relativa (gravedad específica), que es una cantidad adimensional, se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente (gravedad específica aparente). La densidad seca al horno (SH) y la densidad relativa seca al horno (SH) se deben determinar luego del secado del agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de sumergir el agregado en agua durante un período especificado.
- 1.2** El ensayo descrito en esta norma se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y suministra el valor promedio que representa la muestra. Se debe establecer distinción entre la densidad de las partículas de agregado determinadas mediante este método de ensayo, y la densidad bulk de los agregados determinada a través de la norma INV E–217, la cual incluye el volumen de los vacíos entre las partículas del agregado.
- 1.3** El método de ensayo descrito en esta norma no es aplicable a agregados livianos.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E–223–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Absorción* – Incremento de la masa de un agregado, debido a la penetración de agua dentro de los poros de sus partículas durante un período especificado, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas. La absorción se expresa como un porcentaje de la masa seca del agregado.

- 2.2** *Densidad* – Masa por unidad de volumen de un material, expresada generalmente en kg/m^3 (lb/pie^3).
- 2.2.1** *Densidad en condición seca al horno (SH)* – Masa por unidad de volumen de las partículas de agregado secas al horno, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables de las partículas, pero no los vacíos entre ellas.
- 2.2.2** *Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Masa por unidad de volumen de las partículas del agregado saturadas y superficialmente secas, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables de las partículas y el agua que llena los poros permeables, pero no los vacíos entre las partículas.
- 2.2.3** *Densidad aparente* – Masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas del agregado.
- 2.3** *Condición seca al horno (SH)* – Condición en la cual el agregado ha sido secado por calentamiento en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) durante un lapso suficiente para alcanzar masa constante.
- 2.4** *Densidad relativa (gravedad específica)* – Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua a una temperatura indicada. Su valor es adimensional.
- 2.4.1** *Densidad relativa (gravedad específica) en condición seca al horno (SH)* – Relación entre la densidad del agregado en condición seca al horno (SH) y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- 2.4.2** *Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Relación entre la densidad SSS del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- 2.4.3** *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)* – Relación entre la densidad aparente del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- 2.5** *Condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Condición en la cual los poros permeables de las partículas del agregado están llenos de agua en la cantidad que se logra al sumergirlas en agua durante un tiempo especificado, pero sin que exista agua libre en la superficie de las partículas.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se sumerge en agua una muestra del agregado durante un período de 24 ± 4 h, para llenar sus poros permeables. Una vez retiradas del agua, las partículas del agregado se secan superficialmente y se determina su masa. Posteriormente, se determina el volumen de la muestra por el método de desplazamiento de agua. Finalmente, la muestra se seca al horno y se determina su masa seca. Usando los valores de masa obtenidos y las fórmulas incluidas en esta norma, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente empleada para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como las de concreto hidráulico, concreto asfáltico y otras que se dosifican o analizan sobre la base de un volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) se usa, también, en el cálculo de los vacíos del agregado en la norma INV E-217. La densidad relativa (gravedad específica) SSS se usa si el agregado está húmedo, es decir, si su absorción ha sido satisfecha. Por el contrario, la densidad relativa (gravedad específica) en condición seca (SH) se usa para los cálculos requeridos cuando el agregado está seco o se asume que lo está.
- 4.2** La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) se refieren a las partículas del agregado excluyendo todo espacio en ellas que sea accesible al agua.
- 4.3** Los valores de absorción se usan para calcular el cambio de masa de un agregado a causa del agua absorbida por los poros permeables de sus partículas, en relación con la masa en condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua un tiempo suficiente para satisfacer la mayoría de su potencial de absorción. La norma de laboratorio para la absorción es que ella se debe obtener luego de sumergir el agregado seco en agua durante un tiempo prescrito. Los agregados extraídos por debajo del nivel freático tienen, por lo general, un contenido de agua mayor que la absorción determinada por este método, si se emplean sin darles la oportunidad de secarse. Por el contrario, algunos agregados que no han permanecido continuamente en condición húmeda hasta el instante de su uso, posiblemente contengan una humedad absorbida menor que la que se

obtiene tras la inmersión durante 24 h. Para un agregado que ha estado en contacto con el agua y que tiene humedad libre en las superficies de sus partículas, el porcentaje de agua libre se determina deduciendo la absorción de su contenido de agua total, determinado por secado de acuerdo con la norma INV E-216.

- 4.4** Los procedimientos generales descritos en esta norma son también apropiados para determinar la absorción de agregados que han sido acondicionados de un modo diferente a la inmersión durante 24 h como, por ejemplo, mediante el empleo de agua hervida o la saturación por vacío. Los valores de absorción obtenidos por otros métodos son diferentes de los que se determinan tras la inmersión por 24 h. Lo mismo sucede con los valores de la densidad relativa (gravedad específica) SSS.
- 4.5** En los agregados livianos, los poros no se llenan necesariamente tras un período de inmersión de 24 h. En efecto, el potencial de absorción de muchos de esos agregados no se satisface ni siquiera luego de varios días de inmersión. Por lo tanto, este método de ensayo no es aplicable a ese tipo de agregados.

5 EQUIPO

- 5.1** *Balanzas* – Con legibilidad y exactitud de 0.05 % del peso de la muestra dentro del rango empleado en el ensayo, o 0.5 g, el que sea mayor. La balanza debe estar equipada con un sistema que permita suspender el recipiente con la muestra y determinar su masa dentro de agua.
- 5.2** *Canastillas metálicas (Figura 223 - 1)* – Como recipientes para las muestras en las pesadas sumergidas. Se dispondrá de dos tipos de canastillas metálicas, de aproximadamente igual base y altura, fabricadas con armazón de suficiente rigidez y paredes de tela metálica con malla de 3.35 mm (No. 6). Para agregados con tamaño máximo nominal igual o inferior a 37.5 mm (1 ½") se utilizarán canastillas con capacidades de 4 a 7 litros y para tamaños superiores, canastillas de mayor capacidad. El recipiente debe estar construido de tal forma que prevenga atrapar aire cuando se sumerja.
- 5.3** *Tanque de agua* – Un tanque que permita que la canastilla metálica con la muestra quede totalmente inmersa y suspendida debajo de la balanza.
- 5.4** *Dispositivo de suspensión* – Se utilizará cualquier dispositivo que permita suspender las canastillas de la balanza, una vez sumergidas. Debe ser del

menor tamaño posible para minimizar los efectos de una profundidad de inmersión variable.

- 5.5** *Tamices* – Un tamiz de 4.75 mm de abertura (No. 4) y los demás que se puedan requerir, según se describe en los numerales 6.2, 6.3 y 6.4.
- 5.6** *Horno* – De capacidad suficiente y que pueda mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).



Figura 223 - 1. Canastilla metálica

6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1** La muestra del agregado se debe obtener de acuerdo con la norma INV E–201.
- 6.2** Se comienza por mezclar completamente los agregados, cuarteándolos a continuación conforme se indica en la norma INV E–202, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo. Se debe eliminar el material inferior a 4.75 mm (No. 4) mediante tamizado en seco y lavado para remover los finos adheridos a la superficie. Si el agregado grueso contiene una cantidad sustancial de material menor de 4.75 mm, se debe usar el tamiz de 2.36 mm (No. 8), en lugar del de 4.75 mm (No. 4). Alternativamente, se puede separar el material menor de 4.75 mm y ensayarlo de acuerdo con la norma INV E–222.

Nota 1: Si en la muestra de ensayo van a quedar partículas menores de 4.75 mm, se debe verificar que las aberturas de la canastilla de alambre sean de menor tamaño que el tamaño mínimo del agregado.

- 6.3** La masa mínima de la muestra para ensayo se indica en la Tabla 223 - 1. Se permite ensayar el agregado en varias fracciones. Si la muestra contiene más de un 15 % retenido en el tamiz de 37.5 mm (1 ½"), el material retenido se ensaya en una o más fracciones separadas de las más pequeñas. Cuando se fracciona la muestra, la cantidad mínima para ensayo de cada fracción será la diferencia entre las masas prescritas en la Tabla 223 - 1 para los tamaños máximos y mínimos de cada fracción.

Tabla 223 - 1. Cantidades mínimas para ensayo

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	
mm	pg.	kg	lb
12.5	½	2	4.4
19	¾	3	6.6
25	1	4	8.8
37.5	1 ½	5	11
50	2	8	18
63	2 ½	12	26
75	3	18	40
90	3 ½	25	55
100	4	40	88
125	5	75	165

- 6.4** Si la muestra se ensaya en dos o más fracciones, se debe determinar la granulometría de la muestra (norma INV E-213), incluyendo los tamices usados para separar las fracciones. Al calcular el porcentaje de material en cada fracción, se deberá ignorar la cantidad de material más fino que la abertura del tamiz 4.75 mm (No. 4) o del tamiz de 2.36 mm (No. 8), según el tamiz usado en acuerdo con lo indicado en el numeral 6.2.

Nota 2: Según lo que indica la Tabla 223 - 1, al ensayar agregados gruesos de tamaño máximo nominal muy grande, la masa requerida de muestra es considerable. En tal caso, es conveniente ensayar el material sobre dos o más sub-muestras y combinar los valores obtenidos mediante los cálculos de la Sección 8.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se seca la muestra en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante, se deja al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas para muestras de tamaño máximo nominal hasta de 37.5 mm (1 ½"); o un lapso mayor para muestras

con tamaños mayores, hasta que el agregado sea manipulable (aproximadamente 50° C). Posteriormente se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante un período de 24 ± 4 horas.

- 7.2** Cuando los valores de la densidad relativa (gravedad específica) y de la absorción se vayan a utilizar en el diseño de mezclas de concreto hidráulico, en las que los agregados se emplean en su condición normal de humedad, se puede prescindir del secado previo hasta masa constante. Además, si los agregados se han mantenido previamente con su superficie continuamente húmeda, se puede, igualmente, omitir el período de 24 ± 4 horas de inmersión.

Nota 3: Los valores obtenidos para la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) SSS, pueden ser significativamente más altos para agregados que no se han secado en el horno antes de la inmersión, que para los mismos agregados sometidos al procedimiento indicado en el numeral 7.1. Esto es especialmente válido cuando hay partículas mayores de 75 mm, puesto que es posible que el agua no alcance a penetrar suficientemente en los vacíos más profundos durante el período prescrito de inmersión.

- 7.3** Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores (Figura 223 - 2). Se deben tomar las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación del agua de los poros durante la operación de secado de la superficie de las partículas. A continuación, se determina la masa de la muestra en la condición saturada con superficie seca (SSS). Estas y todas las pesadas subsiguientes se deberán realizar con una aproximación de 0.5 g o de 0.05 % de la masa de la muestra, la que sea mayor.



Figura 223 - 2. Secado superficial de la muestra

- 7.4** Después de determinar la masa en el aire, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su masa sumergida en el agua, a la

temperatura de $23 \pm 2^\circ \text{C}$ (Figura 223 - 3). Se debe evitar la inclusión de aire en la muestra antes de determinar su masa, agitando la canastilla mientras está sumergida.



Figura 223 - 3. Determinación de la masa de la muestra sumergida

Nota 4: La diferencia entre las masas de la muestra en el aire y sumergida en agua, es igual a la masa de agua desplazada por la muestra.

Nota 5: La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada. El hilo de suspensión deberá ser lo más corto posible, para minimizar los efectos de una profundidad de inmersión variable.

- 7.5** Se seca entonces la muestra en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante, se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 h o hasta que el agregado sea manipulable (aproximadamente 50°C) y, en seguida, se determina su masa.

8 CÁLCULOS

8.1 Densidad relativa (gravedad específica):

8.1.1 *Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH)* – Se calcula sobre la base del agregado secado al horno, de la siguiente forma:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SH} = \frac{A}{(B - C)} \quad [223.1]$$

- Donde: A: Masa al aire de la muestra seca al horno, g;
- B: Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca, g;
- C: Masa aparente de la muestra saturada en agua, g.

8.1.2 *Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Se calcula sobre la base del agregado en condición saturada y superficialmente seca, de la siguiente forma:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) SSS} = \frac{B}{(B - C)} \quad [223.2]$$

8.1.3 *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)* – Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(A - C)} \quad [223.3]$$

8.2 Densidad:

8.2.1 *Densidad en condición seca al horno (SH)* – Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(B - C)} \quad [223.4]$$

$$\text{Densidad (SH), lb/pe}^3 = \frac{62.27 A}{(B - C)} \quad [223.5]$$

8.2.2 *Densidad en condición saturada y superficialmente seca (SSS)* – Se calcula sobre la base del agregado en condición saturada y superficialmente seca, de la siguiente forma:

$$\text{Densidad SSS, kg/m}^3 = \frac{997.5 B}{(B - C)} \quad [223.6]$$

$$\text{Densidad SSS, lb/pie}^3 = \frac{62.27 B}{(B - C)} \quad [223.7]$$

8.2.3 *Densidad aparente* – Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Densidad aparente, kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(A - C)} \quad [223.8]$$

$$\text{Densidad aparente, lb/pie}^3 = \frac{62.27 A}{(A - C)} \quad [223.9]$$

Nota 6: Las constantes utilizadas en las fórmulas de los numerales 8.2.1 a 8.2.3 (997.5 kg/m³ y 62.27 lb/pie³) corresponden a la densidad del agua a 23° C. Algunas autoridades consideran que el uso de la densidad del agua a 4° C (1000 kg/m³ y 62.43 lb/pie³) brinda suficiente exactitud en los resultados.

8.3 *Valores promedio de densidad y densidad relativa (gravedad específica)* – Cuando la muestra total para ensayo se ha dividido en fracciones más pequeñas como se indica en el numeral 6.3, se determina el promedio de los valores de densidad y densidad relativa (gravedad específica) calculados con las fórmulas de los numerales 8.1 y 8.2, con la siguiente expresión:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100 G_1} + \frac{P_2}{100 G_2} + \dots + \frac{P_n}{100 G_n}} \quad [223.10]$$

Donde: G: Densidad o densidad relativa (gravedad específica) promedio. Todas las formas de expresión de la densidad o de la densidad relativa (gravedad específica) se pueden promediar con esta fórmula;

G_1, G_2, \dots, G_n : Valores de densidad o densidad relativa (gravedad específica) de cada fracción, dependiendo del tipo de densidad o densidad relativa (gravedad específica) que se esté promediando;

P_1, P_2, \dots, P_n : Porcentajes respectivos de la masa de cada fracción con respecto a la masa total de la muestra.

8.4 *Absorción* – Se calcula, en porcentaje, con la expresión:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad [223.11]$$

8.5 *Valor promedio de absorción* – Cuando la muestra total para ensayo se ha dividido en fracciones más pequeñas como se indica en el numeral 6.3, se determina el promedio de los valores de absorción calculados para cada fracción con la fórmula del numeral 8.4, con la siguiente expresión:

$$A = \left[\frac{P_1 A_1}{100} \right] + \left[\frac{P_2 A_2}{100} \right] + \dots + \left[\frac{P_n A_n}{100} \right] \quad [223.12]$$

Donde: A: Absorción promedio, %;

A_1, A_2, \dots, A_n : Porcentajes de absorción de cada fracción de la muestra total;

P_1, P_2, \dots, P_n : Porcentajes respectivos de la masa de cada fracción con respecto a la masa total de la muestra.

9 INFORME

9.1 Los resultados de densidad se deben reportar redondeados a 10 kg/m^3 o 0.5 lb/pie^3 , y los de densidad relativa (gravedad específica) a 0.01. Se debe indicar si los valores están referidos a la condición seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o aparente.

9.2 El porcentaje de absorción se debe informar redondeado a 0.1 %.

9.3 Si los valores de densidad y densidad relativa (gravedad específica) se determinaron sin el secado previo del material, como se permite en el numeral 7.2, ello debe quedar indicado en el informe.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión* – Los estimativos de precisión de este método (mostrados en la tabla 2) se basan en los resultados obtenidos en el *AASHTO Materials Reference*

Laboratory Proficiency Program, con pruebas realizadas mediante este ensayo y el método AASHTO T-84. La diferencia entre los métodos está en que el presente método de ensayo requiere un período de saturación de 24 ± 4 horas mientras que en el de AASHTO se requiere un período de saturación de 15 a 19 horas. Esta diferencia tiene un efecto insignificante sobre la precisión de los índices. Los datos están basados en el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios. Para efectos de conversión, se utilizó la densidad del agua a 23°C .

- 10.2 Sesgo** – No hay un material de referencia aceptado para determinar el sesgo para este método; por lo tanto no hay ninguna declaración sobre el particular.

Tabla 223 - 2. Precisión

PARÁMETRO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)
<i>Precisión de un solo operador:</i>		
Densidad (SH), kg/m^3	9	25
Densidad (SSS), kg/m^3	7	20
Densidad aparente, kg/m^3	7	20
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0.009	0.025
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0.007	0.020
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.007	0.020
<i>Precisión varios laboratorios:</i>		
Densidad (SH), kg/m^3	13	38
Densidad (SSS), kg/m^3	11	32
Densidad aparente, kg/m^3	11	32
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0.013	0.038
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0.011	0.032
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.011	0.032

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 127 – 07

ANEXO A (Informativo)

DESARROLLO DE ECUACIONES

A.1 Para presentar la derivación de la fórmula incluida en el numeral 8.3, se presenta un caso simplificado con dos sólidos. El primero tiene una masa M_1 (g) y un volumen V_1 (ml). Su densidad relativa G_1 es, entonces M_1/V_1 . El segundo tiene una masa M_2 (g), un volumen V_2 (ml) y $G_2 = M_2/V_2$. Si los dos sólidos se consideran juntos, la densidad relativa (gravedad específica) de dicha combinación será la masa total en gramos sobre el volumen total en mililitros:

$$G = \frac{M_1 + M_2}{V_1 + V_2} \quad [223.13]$$

Cambiando la forma de la ecuación:

$$G = \frac{1}{\frac{V_1 + V_2}{M_1 + M_2}} = \frac{1}{\frac{V_1}{M_1 + M_2} + \frac{V_2}{M_1 + M_2}} \quad [223.14]$$

$$G = \frac{1}{\frac{M_1}{M_1 + M_2} \left(\frac{V_1}{M_1}\right) + \frac{M_2}{M_1 + M_2} \left(\frac{V_2}{M_2}\right)} \quad [223.15]$$

Sin embargo, las fracciones de masa de los dos sólidos son:

$$\frac{M_1}{M_1 + M_2} = \frac{P_1}{100} \quad [223.16]$$

Y

$$\frac{M_2}{M_1 + M_2} = \frac{P_2}{100} \quad [223.17]$$

Además

$$\frac{1}{G_1} = \frac{V_1}{M_1} \quad [223.18]$$

Y

$$\frac{1}{G_2} = \frac{V_2}{M_2} \quad [223.19]$$

Por lo tanto

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100} \frac{1}{G_1} + \frac{P_2}{100} \frac{1}{G_2}} \quad [223.20]$$

Un ejemplo de los cálculos se presenta en la Tabla 223A - 1.

Tabla 223A - 1. Ejemplo de cálculo de los valores promedio de densidad relativa (gravedad específica) y absorción de un agregado grueso ensayado por fracciones

TAMAÑO DE LA FRACCIÓN		% EN LA MUESTRA ORIGINAL	MASA USADA EN EL ENSAYO, g	DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) SSS	ABSORCIÓN, %
mm	pg.				
4.75 a 12.5	No. 4 a ½	44	2213.0	2.72	0.4
12.5 a 37.5	½ a 1 ½	35	5462.5	2.56	2.5
37.5 a 63	1 ½ a 2 ½	21	12593.0	2.54	3.0

Densidad relativa promedio (gravedad específica) SSS

$$G = \frac{1}{\frac{44}{100 \times 2.72} + \frac{35}{100 \times 2.56} + \frac{21}{100 \times 2.54}} = 2.62$$

Absorción promedio

$$A = \left[\frac{44 \times 0.4}{100} \right] + \left[\frac{35 \times 2.5}{100} \right] + \left[\frac{21 \times 3.0}{100} \right] = 1.7 \%$$

ANEXO B (Informativo)

RELACIONES ENTRE LAS DENSIDADES RELATIVAS (GRAVEDADES ESPECÍFICAS) Y LAS ABSORCIONES DEFINIDAS EN LAS NORMAS INV E-222 E INV E-223

B.1 Este anexo presenta algunas relaciones matemáticas entre los tres tipos de densidades relativas (gravidades específicas) y la absorción. Las relaciones son útiles para verificar la consistencia de los valores incluidos en un informe, o para calcular un valor no informado que se va a usar con otros datos informados. Los símbolos empleados son los siguientes:

- S_d : Densidad relativa (gravidad específica) (SH);
 S_s : Densidad relativa (gravidad específica) (SSS);
 S_a : Densidad relativa aparente (gravidad específica aparente);
 A: % de absorción.

B.2 Las relaciones son las siguientes:

$$S_s = S_d \left(1 + \frac{A}{100} \right) \quad [223.21]$$

$$S_s = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{AS_d}{100}} \quad [223.22]$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1 + \frac{A}{100}}{S_s} - \frac{A}{100}} \quad [223.23]$$

$$A = \left(\frac{S_s}{S_d} - 1 \right) 100 \quad [223.24]$$

$$A = \left[\frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)} \right] 100 \quad [223.25]$$

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL 10% DE FINOS

INV E – 224 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este norma cubre un procedimiento para evaluar la resistencia mecánica de un agregado grueso al aplastamiento cuando es sometido a un esfuerzo de compresión, determinando la carga necesaria para que el agregado produzca 10 % de finos, constituidos por el material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8).
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–224–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Se compacta en un cilindro metálico una muestra de agregado de tamaño especificado, aplicándole golpes con una varilla. La muestra compactada se somete gradualmente a un esfuerzo de compresión, a causa del cual sus partículas se van fragmentando en una cuantía que depende de su resistencia al aplastamiento. El grado de fragmentación del agregado se evalúa mediante el tamizado del espécimen a través de un tamiz de 2.36 mm (No. 8), luego de terminada la compresión. El procedimiento se realiza con varias cargas de compresión, con el fin de establecer la carga con la cual se produce en el agregado un 10 % de finos.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Los materiales granulares de los pavimentos asfálticos están sometidos a elevados esfuerzos interparticulares debido a la acción de las cargas del tránsito. Cada capa del pavimento debe soportar los esfuerzos que recibe y disiparlos con el fin de transmitirlos en magnitud apropiada a las capas subyacentes. Es importante, por lo tanto, que los materiales de cada capa soporten los esfuerzos recibidos sin desintegrarse. El ensayo del 10 % de finos contribuye en la evaluación del comportamiento de un agregado pétreo cuando se somete a degradación mecánica.

4 EQUIPO

4.1 *Conjunto de acero para montar la muestra en el dispositivo de compresión* – Un conjunto de acero, descrito en la Figura 224 - 1 y en la Tabla 224 - 1, el cual está constituido por:

4.1.1 *Un cilindro de ensayo* – Un cilindro de 154 ± 0.5 mm de diámetro interior, 125 a 140 mm de altura y un espesor mínimo de pared de 16 mm.

4.1.2 *Placa de base* – Una placa de base cuadrada de 200 a 300 mm de lado y espesor mínimo de 10 mm. La placa debe tener una muesca o abatimiento de una profundidad 2.0 mm y del diámetro adecuado para que el cilindro de ensayo encaje perfectamente en ella.

4.1.3 *Pistón* – Un pistón para aplicar esfuerzos de compresión a la muestra, de 152 ± 0.5 mm de diámetro.

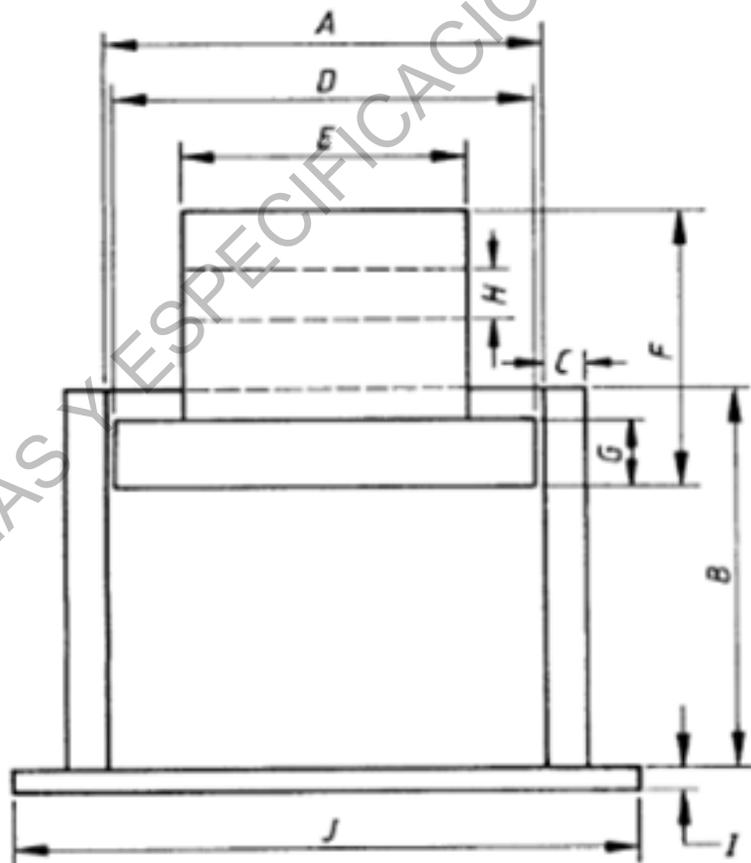


Figura 224 - 1. Conjunto de acero para el ensayo de 10% de finos

Tabla 224 - 1. Dimensiones básicas del conjunto de acero para el ensayo del 10 % de finos

COMPONENTE	DIMENSIONES (VER FIGURA 224 - 1)	CILINDRO DE DIÁMETRO INTERNO NOMINAL DE 150 mm	CILINDRO DE DIÁMETRO INTERNO NOMINAL DE 75 mm (VER ANEXO A)
		mm	mm
Cilindro	Diámetro interior, A Altura interior, B Espesor mínimo de pared, C	154 ± 0.5 125 a 140 16.0	78 ± 0.5 70 a 85 8.0
Pistón	Diámetro del pistón, D Diámetro del vástago, E Longitud total del pistón más el vástago, F Espesor mínimo del pistón, G Diámetro del orificio, H	152 ± 0.5 > 95 y ≤ D 110 a 115 ≥ 25 20 ± 0.1	76 ± 0.5 > 45 y ≤ D 60 a 80 ≥ 19 20 ± 0.1
Placa de base	Espesor mínimo, I Lado, J ^A	10 200 a 230	10 110 a 115

^A La placa de base también puede ser circular. En tal caso, su diámetro se deberá encontrar entre 250 y 300 mm

- 4.2 Varilla para compactación** – Una varilla cilíndrica de sección circular recta de 16 ± 1 mm de diámetro, y de 600 ± 5 mm de longitud, con un extremo semiesférico (Figura 224 - 2).
- 4.3 Recipiente cilíndrico de medida** – Un recipiente cilíndrico de 115 ± 1 mm de diámetro interior y 180 ± 1 mm de altura, el cual tendrá como función proporcionar una medida de la muestra para el ensayo (Figura 224 - 2).
- 4.4 Balanza** – Con precisión de 1.0 g y una capacidad no menor de 3 kg.
- 4.5 Tamices** – Tamices de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ "), 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ") y 2.36 mm (No. 8), con tapa y la base respectiva.
- 4.6 Bandeja** – Una bandeja metálica de tamaño suficiente para manejar 3 kg de agregados.
- 4.7 Pala** – Una pala de cabo corto.

- 4.8** *Máquina para aplicar esfuerzos de compresión* – Un sistema de carga o una prensa, con la capacidad de aplicar cargas hasta de 500 kN, con una de sus bases articulada, y que garantice la transmisión de cargas de una manera uniforme para alcanzar la carga máxima de ensayo en 10 minutos.
- 4.9** *Horno* – Termostáticamente controlado y que pueda mantener una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.10** *Una o más canastas de tela de alambre* – Con aberturas no mayores de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ "), o un recipiente perforado de tamaño adecuado y con una manija que permita su suspensión.
- 4.11** *Recipiente impermeable* – Dentro del cual se sumergen las canastas en agua.
- 4.12** *Elementos accesorios* – Mazo de caucho, cepillo con cerdas rígidas, regla metálica, toallas o papel absorbente, suministro de agua limpia.

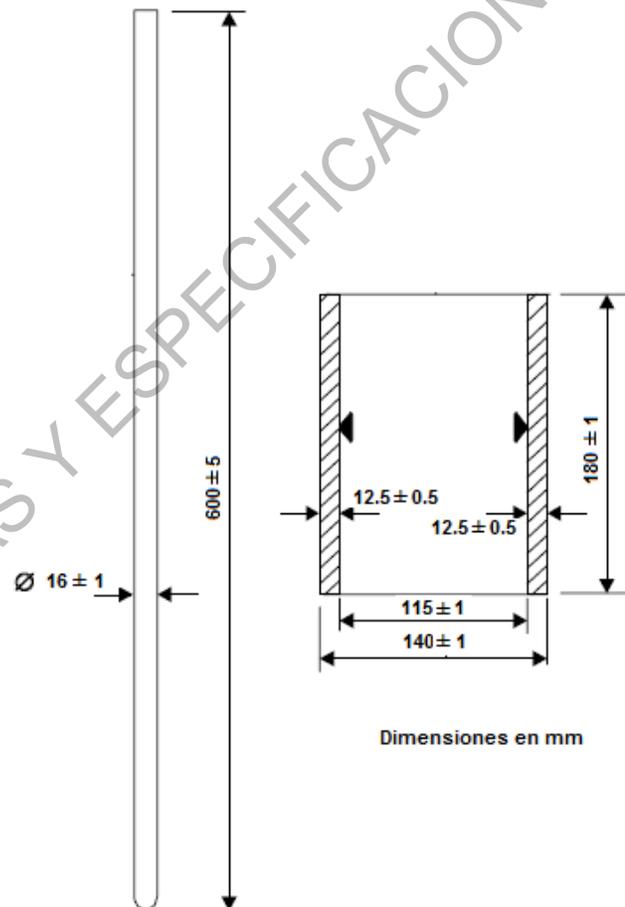


Figura 224 - 2. Varilla para compactación y recipiente cilíndrico de medida

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

5.1 Porciones de ensayo:

5.1.1 La muestra del agregado se debe obtener de acuerdo con la norma INV E–201 y reducir a la fracción requerida para el ensayo, de acuerdo con la norma INV E–202. Deberá ser suficiente para producir tres especímenes de ensayo con la fracción comprendida entre 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") y 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ").

Nota 1: Un espécimen de ensayo es la cantidad requerida para llenar el recipiente cilíndrico de medida (Ver numeral 6.1.1 y Tabla 224 - 2).

Tabla 224 - 2. Masa mínima de las muestras requeridas para el ensayo del 10 % de finos

GRANULOMETRÍA	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA, kg ^A
Agregado todo uno, tamaño máximo 40 mm	60
Agregado todo uno, tamaño máximo 20 mm	45
Agregado gradado, 37.5 mm a 4.75 mm ($1\frac{1}{2}$ " a No. 4)	40
Agregado gradado, 19.0 mm a 4.75 mm ($\frac{3}{4}$ " a No. 4)	25
Agregado gradado, 12.5 mm a 4.75 mm ($\frac{1}{2}$ " a No. 4)	15

^A Para agregados de densidad normal

5.2 Especímenes de ensayo en condición seca:

5.2.1 La muestra de agregado se seca al aire y se tamiza por las mallas de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") y 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "). Las partículas mayores y menores se descartan, pues se utilizará exclusivamente el material comprendido entre estos dos tamices. El material seleccionado se divide de manera de formar tres especímenes, cada uno con una masa tal que ocupe una altura aproximada de 100 mm en el cilindro de ensayo luego de ser compactado con la varilla como se describe en el numeral 6.1 (nota 2).

Nota 2: La cantidad apropiada de agregado se puede determinar llenando el cilindro de medida en tres capas de igual espesor, golpeado cada una 25 veces desde una altura aproximada de 25 mm con el extremo redondeado de la varilla para compactación (Figura 224 - 3a). El espécimen compactado se deberá enrasar con la varilla o con una regla metálica (Figura 224 - 3b).



Figura 224 - 3. Determinación de la cantidad apropiada del agregado para el ensayo

5.2.2 Se secan los especímenes en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) durante un lapso no mayor de 4 h. Se permite que la muestra se enfríe a temperatura ambiente antes de someterla al ensayo. Se pesan los especímenes y se anotan sus masas.

5.3 *Especímenes de ensayo en condición saturada:*

5.3.1 Los especímenes se preparan como se describió en el numeral 5.2, excepto que la porción de ensayo no se somete a secado en el horno. Cada espécimen de ensayo se coloca en una canasta de alambre (nota 3) y se sumerge en agua en el recipiente destinado a ello, de manera que exista una lámina de agua de 50 mm por encima del borde superior de la canasta.

Nota 3: La cantidad apropiada de agregado por usar es la misma descrita en el numeral 5.2.

5.3.2 Inmediatamente después de sumergir la canasta en el agua, se remueve al aire atrapado en el espécimen levantando la canasta 25 mm por encima del fondo del recipiente y dejándola caer 25 veces a razón de una vez por segundo. La canasta y el agregado se deben encontrar totalmente sumergidos durante esta operación y durante las subsiguientes 24 ± 2 h, período durante el cual el agua se debe mantener a $20 \pm 5^\circ \text{C}$.

5.3.3 Cumplido el período de saturación, se retira el agregado de la canasta y con una toalla o papel absorbente se seca el agua libre de la superficie de sus partículas. Terminada esta operación, el procedimiento de ensayo se deberá adelantar de manera inmediata.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 *Especímenes de ensayo en condición seca:*

- 6.1.1** Se coloca el cilindro de ensayo en posición sobre su placa de base y se vierte el espécimen en tres capas sucesivas de una misma altura, aplicando a cada capa 25 golpes con la varilla descrita en el numeral 4.2. Los golpes se deben distribuir uniformemente sobre la superficie de la capa, con una altura de caída de 25 mm (nota 4). Cualquier exceso de material al término de la compactación de la tercera capa, se eliminará enrasando el espécimen con la varilla o con una regla metálica.

Nota 4: Las partículas de algunos agregados se parten bajo la acción de la varilla. Cuando ello suceda, se hará la anotación correspondiente en el informe de ensayo.

- 6.1.2** Una vez nivelada la superficie del agregado, se inserta el pistón de manera que descansa horizontalmente sobre ella (Figura 224 - 4). Hay que tener cuidado para que el pistón no se atranque en el cilindro.



Figura 224 - 4. Colocación del pistón sobre el espécimen de ensayo

- 6.1.3** Se coloca el conjunto en posición entre las platinas de la máquina de compresión y se aplica carga con una velocidad lo más uniforme posible, hasta que el pistón alcance la penetración especificada, en un lapso de $10 \text{ min} \pm 30 \text{ s}$. La penetración especificada depende de la naturaleza del agregado que se ensaya, como se indica en la Tabla 224 - 3.

Tabla 224 - 3. Penetración requerida del pistón durante el ensayo

TIPO DE AGREGADO	PENETRACIÓN, mm (NOTA 6)
Redondeado o parcialmente redondeado; por ejemplo, grava natural	15
Agregados triturados normales	20
Agregados vesiculares; por ejemplo, escoria	24

Nota 5: Si en la etapa inicial del ensayo se produce una deformación significativa, puede resultar difícil mantener la uniformidad en la velocidad de aplicación de la carga. De todas maneras, se recomienda el máximo cuidado, con el fin de cumplir el principal objetivo, cual es terminar la penetración en el plazo de 10 min \pm 30 s.

Nota 6: Los valores de penetración del primer y tercer tipo de agregado se pueden variar, dependiendo de la magnitud de la redondez o los vacíos de las partículas.

- 6.1.4** Al alcanzar la penetración seleccionada en el tiempo previsto, se anota el valor de la carga aplicada en Newton, (f). Se libera la carga y se remueve el material triturado del cilindro de ensayo. Para hacerlo, se sostiene el cilindro sobre una bandeja limpia de masa conocida y se golpea por los lados con el mazo de caucho hasta que las partículas del agregado se aflojen lo suficiente para caer libremente sobre la bandeja. Las partículas que queden adheridas a la parte interior del cilindro, a la placa de base y a la parte inferior del pistón se deben transferir a la bandeja con ayuda del cepillo de cerdas rígidas. Se pesa la bandeja con el agregado y se calcula la masa de agregado usado (M_1), con aproximación a 1 g.

Nota 7: Si el espécimen no se puede remover del cilindro de la manera descrita, se deberá emplear otro procedimiento que no cause fractura posterior de las partículas.

- 6.1.5** Todo el material recogido en la bandeja se criba en el tamiz de 2.36 mm (No. 8) hasta que no pase ninguna partícula durante un período de 1 minuto (Figura 224 - 5). Se pesan las fracciones pasante y retenida y se anotan sus masas con aproximación a un gramo (M_2 y M_3 , respectivamente). Si la suma $M_2 + M_3$ difiere de M_1 en más de 10 g, se descarta el resultado y se deberá ensayar un nuevo espécimen. Si la relación M_2/M_1 , en porcentaje, no cae entre 7.5 % y 12.5 %, se deberá ensayar un nuevo espécimen ajustando la carga máxima de ensayo (nota 8), para obtener una relación dentro del rango citado.



Figura 224 - 5. Tamizado sobre el tamiz de 2.36 mm (No. 8)

Nota 8: Se debe emplear la fórmula del numeral 7.1 para calcular la fuerza requerida.

Nota 9: Se debe tener cuidado en el desarrollo de las operaciones descritas en los numerales 6.1.4 y 6.1.5, para evitar la pérdida de finos.

- 6.1.6** Se repite el procedimiento completo con otra masa igual de agregados, determinando la fuerza, f , que da lugar a un porcentaje de finos [pasante del tamiz de 2.36 mm (No. 8)] entre 7.5 % y 12.5 %.

6.2 *Especímenes de ensayo en condición saturada:*

- 6.2.1** Se sigue el procedimiento descrito en el numeral 6.1, excepto que luego de que el espécimen aplastado ha sido removido del cilindro, se seca en el horno hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Luego, se permite que el material seco se enfríe y se pesa con aproximación a 1 g (M_1). Se completa el procedimiento como se describe en los numerales 6.1.5 y 6.1.6.

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula la fuerza F (en kN), redondeada al entero, requerida para producir 10 % de finos en cada espécimen cuyo pasante por el tamiz de 2.36 mm (No. 8) se haya encontrado entre 7.5 % y 12.5 %, con la expresión:

$$F = \frac{14 f}{m + 4} \quad [224.1]$$

Donde: f: Máxima fuerza, kN;

m: Porcentaje de material que pasa el tamiz de 2.36 mm a la máxima fuerza, ($m = 100M_2/M_1$).

- 7.2** Se calcula el promedio de los dos resultados, redondeando a 10 kN si la fuerza calculada es de 100 kN o más, o a 5 kN, si la fuerza es menor de 100 kN. El valor obtenido debe informarse como el “valor del 10 % de finos”, salvo que los dos valores difieran en más de 10 kN y en más de 0.1 veces el valor promedio. En este caso, se repite el ensayo con otros dos especímenes y se calcula la mediana de los cuatro especímenes (nota 10), redondeando a 10 kN si la fuerza es de 100 kN o más, o a 5 kN, si la fuerza es menor de 100 kN, y se reporta dicha mediana como el “valor del 10 % de finos”.

Nota 10: La mediana de cuatro resultados se calcula excluyendo los valores más alto y más bajo y promediando los dos del medio.

8 INFORME

- 8.1** Se debe presentar la siguiente información:

8.1.1 Identificación y descripción de la muestra de ensayo.

8.1.2 Condición de ensayo del agregado (muestra seca o saturada).

8.1.3 El porcentaje de finos producido, m, por la acción de cada carga f.

8.1.4 El valor del 10% de finos del agregado seco.

8.1.5 El valor del 10% de finos del agregado saturado.

9 PRECISIÓN

- 9.1** Los datos sobre precisión que se muestran en las Tablas 224 - 4 y 224 - 5 se determinaron en un estudio en el cual intervinieron 15 laboratorios. Se emplearon 5 materiales diferentes. Con cada muestra de laboratorio se prepararon dos fracciones para el ensayo. Los valores presentados en las tablas aplican cuando el resultado de un ensayo se obtiene como el promedio de dos determinaciones del 10 % de finos sobre sub-muestras de la misma porción de ensayo y cuando ambas determinaciones cumplen con las

verificaciones de masas y los porcentajes de finos mencionados en el numeral 6.1.5.

Tabla 224 - 4. Valores de precisión para la determinación del 10 % de finos usando agregados en condición seca

MATERIAL	VALOR PROMEDIO DEL 10 % DE FINOS	REPETIBILIDAD	VARIANZA	REPRODUCIBILIDAD	VARIANZA
Caliza arcillosa	118	18	6	40	13
Escoria de alto horno	104	15	5	38	12
Caliza carbonífera	219	13	5	42	14
Roca ígneas	263	20	7	59	20
Grava mixta	192	16	6	42	14

Tabla 224 - 5. Valores de precisión para la determinación del 10 % de finos usando agregados en condición saturada

MATERIAL	VALOR PROMEDIO DEL 10 % DE FINOS	REPETIBILIDAD	VARIANZA	REPRODUCIBILIDAD	VARIANZA
Caliza arcillosa	39	3	1	21	7
Escoria de alto horno	89	10	3	12	3
Caliza carbonífera	214	13	5	52	18
Roca ígneas	195	18	6	57	19
Grava mixta	172	10	4	32	11

10 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

BS 812 Part 110 – 1990

SABS Method 842

ANEXO A (Informativo)

MÉTODO RECOMENDADO PARA DETERMINAR EL 10 % DE FINOS PARA FRACCIONES DE AGREGADOS DE OTROS TAMAÑOS

A.1 Generalidades:

A.1.1 Cuando se requiera, o si en definitiva el agregado entre 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") y 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ") no está presente, el ensayo se puede realizar empleando partículas de otros tamaños comprendidos entre los tamices de 25.4 mm (1") y de 2.36 mm (No. 8). Debido a la falta de experiencia en el ensayo de tamaños diferentes del normalizado, no es posible brindar una indicación positiva sobre la manera como los resultados obtenidos sobre muestras de otros tamaños se puedan comparar con los obtenidos sobre partículas de tamaño entre 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") y 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ").

A.2 Equipo:

A.2.1 Se requiere el mismo equipo descrito en la Sección 4, excepto que si el tamaño del agregado es menor de 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "), se requieren los elementos descritos en los numerales A.2.2 a A.2.7.

A.2.2 *Cilindro de ensayo* – De 75 mm (3") diámetro interno, con su pistón y su placa de base. La forma y las dimensiones respectivas se muestran en la Figura 224 - 1 y en la Tabla 224 - 1.

A.2.3 *Varilla para compactación* – Una varilla cilíndrica de sección circular recta de 8 ± 1 mm de diámetro, con una longitud de 300 ± 5 mm. Uno de sus extremos debe ser semiesférico.

A.2.4 *Balanza* – De 500 g de capacidad mínima y que brinde lecturas con aproximación a 0.2 g.

A.2.5 *Tamices* – De acuerdo con lo indicado en la Tabla 224A - 1.

A.2.6 *Máquina para aplicar esfuerzos de compresión* – Como la descrita en el numeral 4.8, salvo que su capacidad de carga debe ser solo de 100 kN.

A.2.7 *Recipiente cilíndrico de medida* – Un recipiente cilíndrico como el descrito en el numeral 4.3, excepto que su diámetro interior será de 57 ± 1 mm y su altura de 90 ± 1 mm.

A.3 *Preparación de la muestra y de los especímenes de ensayo:*

A.3.1 Se deben seguir las indicaciones de la Sección 5, usando los tamices indicados en la Tabla 224A - 1, de acuerdo al tamaño de la fracción que se ensaya. Para una fracción de tamaño inferior a 9.5 mm ($3/8$ "), se requiere una masa mínima de 1 kg.

A.4 *Procedimiento:*

A.4.1 Se debe seguir el procedimiento de la Sección 6, usando los tamices apropiados de separación que se indican en la Tabla 224A - 1.

Nota A.1: La penetración requerida del pistón puede no ser la misma indicada en la Sección 6.

A.5 *Cálculos:*

A.5.1 Se sigue el procedimiento general descrito en la Sección 7.

A.6 *Informe:*

A.6.1 Se presenta la misma información mencionada en la Sección 8, más el tamaño del agregado usado para el ensayo.

Tabla 224A - 1. Tamices a emplear para ensayar otras fracciones de agregado

TAMAÑO DE LA FRACCIÓN	TAMICES A EMPLEAR		
	PARA PREPARAR LOS ESPECÍMENES		PARA SEPARAR LOS FINOS
	PASA	RETENIDO	
Mayor que el normalizado	25.4 mm (1") 19.0 ($3/4$ ")	19.0 ($3/4$ ") 12.7 ($1/2$ ")	4.75 mm (No. 4) 3.35 mm (No. 6)
Normalizado	12.7 ($1/2$ ")	9.5 mm ($3/8$ ")	2.36 mm (No. 8)
Menor que el normalizado	9.5 mm ($3/8$ ") 6.35 mm ($1/4$ ") 4.75 mm (No.4) 3.35 mm (No. 6)	6.35 mm ($1/4$ ") 4.75 mm (No. 4) 3.35 mm (No. 6) 2.36 mm (No. 8)	1.70 mm (No. 12) 1.18 mm (No. 16) 850 μ m (No. 20) 600 μ m (No. 30)

ANEXO B (Informativo)

MÉTODO GRÁFICO PARA DETERMINAR EL 10 % DE FINOS

- B.1** La norma SABS Method 842 del *South African Bureau of Standards*, presenta un procedimiento gráfico para determinar el 10 % de finos. Según este método, no solo se debe establecer la fuerza necesaria para producir un pasante entre 7.5 % y 12.5 % por el tamiz de 2.36 mm (No. 8), sino que, además, se deben fabricar especímenes adicionales que se someten a fuerzas que den lugar a porcentajes de pérdidas menores de 7.5 % y mayores de 12.5%.
- B.2** Con los valores obtenidos se dibuja una curva que muestre la relación entre la fuerza máxima aplicada en cada caso y el porcentaje de pérdidas, en la cual se escoge como “valor del 10 % de finos” la fuerza que da lugar a un pasante de 10 % por el tamiz de 2.36 mm (No. 8).

Nota B1: Este procedimiento se incluye a manera de información y se recomienda para investigaciones y análisis de tipo general. Los ensayos que se realicen con fines de aceptación o rechazo en aplicación de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías se deberán realizar de acuerdo con el procedimiento y los cálculos descritos en las Secciones 6 y 7 de esta norma.

DENSIDAD BULK DEL LLENANTE MINERAL EN KEROSENE

INV E – 225 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para determinar la densidad bulk de un llenante mineral. La densidad bulk determinada en estas condiciones es una medida relativa del grado de finura del llenante ensayado.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–225–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El método consiste en medir el volumen ocupado por una cantidad especificada del llenante mineral cuando se sedimenta en kerosene.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La finura de un llenante mineral está relacionada con su mayor o menor actividad desde el punto de vista de la estabilización del ligante en el sistema llenante–ligante. Valores de densidad bulk en kerosene entre 0.5 y 0.8 g/ml corresponden a una actividad media adecuada para su utilización en mezclas asfálticas. Valores por debajo o por encima de dichos límites son indicativos, respectivamente, de una actividad excesiva o insuficiente.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1** *Probeta graduada* – Con tapón de vidrio esmerilado, de una capacidad de 50 ml, de 200 mm de longitud y 22 a 25 mm de diámetro interior, graduada en centímetros cúbicos.
- 4.2** *Balanza* – Con capacidad no menor de 100 g y legible a 0.01 g.
- 4.3** *Horno*– Regulado termostáticamente, que pueda mantener una temperatura de $110 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 1^\circ \text{F}$).

4.4 *Desecador.*

4.5 *Kerosene* – Destilado de petróleo con punto de ebullición entre 180 y 280° C.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Se reduce la muestra de laboratorio por los procedimientos descritos en la norma INV E-202, con el fin de producir una porción de masa suficiente para elaborar cinco especímenes de ensayo.
- 5.2 Se seca la porción de ensayo durante 4 horas en el horno a $110 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($230^\circ \pm 1^\circ \text{F}$) y, a continuación, se deja enfriar en un desecador hasta que alcance la temperatura ambiente.
- 5.3 Se pesan 10 g del llenante seco, con una precisión de ± 0.01 g, y se introducen en la probeta, la cual se llena hasta la mitad con kerosene
- 5.4 Se tapa la probeta y se agita el conjunto hasta que todas las partículas del llenante mineral queden completamente humedecidas. Se añade más kerosene, hasta que su nivel quede a unos 40 mm del borde superior de la probeta. Se coloca la tapa y se agita de nuevo.
- 5.5 Se debe lograr, mediante la agitación, que todas las partículas del llenante queden en suspensión en el kerosene, antes de dejarlas sedimentar. Para ello, inmediatamente después de la última agitación, se debe realizar la operación que se describe en numeral siguiente.
- 5.6 Se invierte la probeta con su contenido y se mantiene en esta posición hasta que todas las burbujas de aire hayan atravesado, ascendiendo, la longitud total de la probeta. En seguida, se voltea la probeta hacia su posición original, manteniéndola en esta posición hasta que todas las burbujas de aire vuelvan a la parte superior. Este ciclo se repite otras cuatro veces en rápida sucesión y, a continuación, se apoya la probeta sobre una superficie libre de vibraciones. Si algunas partículas del llenante quedan adheridas a la probeta por encima del nivel del kerosene luego del quinto ciclo, se lavan cuidadosamente con una pequeña cantidad adicional de kerosene para retornarlas al líquido.
- 5.7 Se deja la probeta en reposo durante un período mínimo de 6 horas, tras el cual se lee el volumen aparente ocupado por el llenante mineral sedimentado, *V*, con aproximación a 1 ml.

- 5.8** Se repiten los pasos 5.3 a 5.7, empleando otros dos especímenes de ensayo (Ver numeral 5.1).

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula la densidad bulk de cada espécimen, con la siguiente expresión:

$$\text{Densidad bulk, g/ml} = \frac{10}{V} \quad [225.1]$$

Donde: 10: Masa de la muestra de llenante utilizada, g;

V: Volumen aparente del llenante sedimentado, ml.

- 6.2** Se calcula el promedio de las densidades bulk de los tres especímenes, con aproximación a 0.01 g/ml. Si alguno de los tres valores obtenidos difiere en más de 0.05 g/ml del valor promedio, se prescinde de este resultado y se realizan dos nuevas determinaciones con los especímenes restantes tomados de la misma porción (Ver numeral 5.1).
- 6.3** El valor promedio de los tres o cuatro ensayos, según el caso, expresado con aproximación de 0.1 g/ml, es el resultado de la densidad bulk del llenante en kerosene.

7 INFORME

- 7.1** Se debe presentar la siguiente información:

7.1.1 Identificación de la muestra.

7.1.2 Densidad bulk del llenante en kerosene.

8 NORMAS DE REFERENCIA

BS 812: Part 2: 1995 – Numeral 6.4

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN UN AGREGADO GRUESO

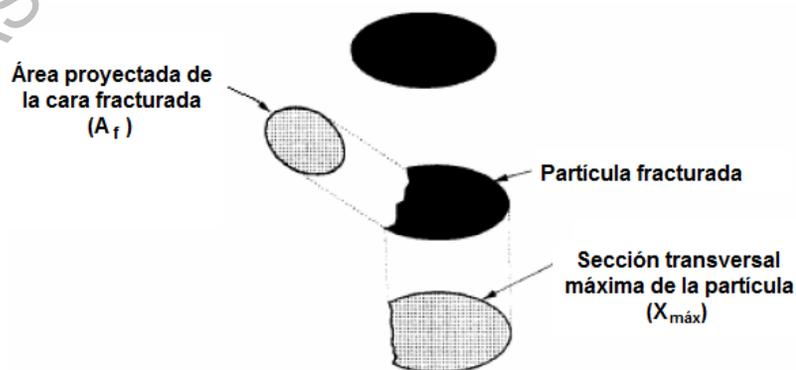
INV E – 227 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en masa o por conteo, de partículas de un agregado grueso que tienen un número especificado de caras fracturadas.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–227–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Cara fracturada* – Una superficie angulosa, áspera o quebrada de una partícula de agregado, formada por trituración, por otros medios artificiales o por la naturaleza.
- 2.1.1 *Discusión* – Se considera que una cara es fracturada, solamente si tiene un área proyectada al menos tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (sección transversal máxima) de la partícula (excluyendo pequeñas mellas) y dicha cara tiene bordes cortantes o ligeramente despuntados. Ver Figura 227 - 1.
- 2.2 *Partícula fracturada* – Una partícula de agregado que tiene, al menos, el número mínimo de caras fracturadas especificadas (generalmente una o dos).



Nota: Se considera que una cara es fracturada, solo si $A_f \geq 0.25 X_{máx}$

Figura 227 - 1. Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Algunas especificaciones contienen requisitos relacionados con un porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos. Uno de los propósitos de este requisito es maximizar la resistencia al corte, incrementando la fricción entre partículas en mezclas de agregados, ligadas o no. Otro propósito, es dar estabilidad a los agregados usados en tratamientos superficiales y proporcionar mayor fricción y textura a los agregados usados en la construcción de capas de rodadura. Este método proporciona un procedimiento normalizado para determinar la aceptabilidad de los agregados gruesos con respecto a estos requisitos.
- 3.2** Las especificaciones difieren en cuanto al número de caras fracturadas requeridas en una partícula fracturada, y también difieren en relación con el criterio por utilizar, si el porcentaje por masa o el porcentaje por conteo de partículas. Si la especificación no lo define con claridad, se debe utilizar el criterio de al menos una cara fracturada y se calcula el porcentaje por masa.

4 EQUIPO

- 4.1** *Balanza* – Una balanza de 5000 g de capacidad, con exactitud y legibilidad del 0.1 % de la masa de la muestra de ensayo en cualquier punto del rango de utilización.
- 4.2** *Tamices* – Tamices de 90.0, 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5 y 9.5 mm ($3\frac{1}{2}$ ", 3", $2\frac{1}{2}$ ", 2", $1\frac{1}{2}$ ", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " y $3/8$ ").
- 4.3** *Cuartheador* – Cuartheador para la obtención de muestras representativas, en concordancia con la norma INV E-202.
- 4.4** *Espátula* – O un utensilio similar, para ayudar a clasificar las partículas del agregado.

5 MUESTREO

- 5.1** La muestra se debe obtener de acuerdo con el procedimiento definido en la norma INV E-201.

6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1** Se seca la muestra lo suficiente para obtener por tamizado una separación nítida de los agregados gruesos y finos. Se tamiza el material sobre el tamiz de 4.75 mm (No. 4), u otro tamiz especificado para esta prueba, de acuerdo con la norma INV E-213 y, posteriormente, se reduce la muestra retenida en ese tamiz por cuarteo, de acuerdo con la norma INV E-202, para obtener el tamaño de muestra apropiado para este ensayo.
- 6.2** La masa de la muestra de ensayo: (1) debe ser lo suficientemente grande para que la partícula de mayor tamaño no represente más del 1.0 % de la masa de la muestra; o (2) debe ser al menos del tamaño indicado en la siguiente lista, la que sea menor de las dos:

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL mm (pulgadas)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA g (lb aprox.)
9.50 (3/8)	200 (0.5)
12.5 (½)	500 (1.0)
19.0 (¾)	1500 (3.0)
25.0 (1)	3000 (6.5)
37.5 (1 ½)	7500 (16.5)
50.0 (2)	15 000 (33.0)
63.0 (2 ½)	30 000 (66.0)
75.0 (3)	60 000 (132.0)
90.0 (3 ½)	90 000 (198.0)

Nota 1: Cuando la masa mínima de la muestra exceda la capacidad de la balanza, la muestra se deberá dividir en sub-muestras.

- 6.3** Para agregados con tamaño nominal máximo de 19.0 mm (¾") o mayor, donde el contenido de partículas fracturadas se determina para el material retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) o en uno de menor abertura, la muestra de ensayo se debe separar por el tamiz de 9.5 mm (3/8"). La porción pasante del tamiz de 9.5 mm (3/8") debe ser reducida posteriormente, de acuerdo con la norma INV E-202, a un mínimo de 200 g (0.5 libras). Esto reducirá el número de partículas que deben ser separadas durante el procedimiento. En este caso, el porcentaje de partículas fracturadas se determina sobre cada porción, y se calcula un porcentaje promedio de partículas fracturadas con base en la masa de cada una de las porciones, para representar el porcentaje de partículas fracturadas de la muestra total.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se lava el material sobre el tamiz designado para la determinación de las partículas fracturadas, con el fin de remover cualquier residuo de material fino, y se seca a masa constante. Se determina la masa de la muestra, y cualquier determinación posterior de masa se deberá efectuar con una exactitud de 0.1 % respecto de la masa seca original de la muestra.
- 7.2** Se esparce la muestra seca sobre una superficie limpia y plana que sea lo suficientemente grande para permitir la inspección detallada de cada partícula. Para verificar que una partícula cumple el criterio de fractura, se la sostiene de manera que la cara se pueda ver directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto de la mayor sección transversal de la partícula, se debe considerar como una cara fracturada.
- 7.3** Utilizando la espátula o una herramienta similar, se divide la muestra en dos categorías, así: (1) partículas fracturadas, con base en el hecho de que la partícula tiene el número requerido de caras fracturadas, (2) partículas que no cumplan el criterio especificado. Se pueden emplear las fotografías de las Figuras 227 - 2 a 227 - 7 para efectuar esta clasificación (observar que algunas de las partículas de las Figuras 227 - 2 a 227 - 7 tienen más de una cara fracturada). Si la especificación no menciona el número requerido de caras fracturadas, la determinación se hará sobre la base de una cara fracturada.
- 7.4** Se determina la masa o se cuenta el número de partículas clasificadas en la categoría de partículas fracturadas, así como la masa o el conteo de las partículas que no cumplen el criterio especificado de fracturadas. Se debe usar la masa para calcular el porcentaje de partículas fracturadas, a menos que se especifique calcular el porcentaje con base en el conteo de partículas.
- 7.5** Si se especifica más de un número de caras fracturadas (por ejemplo, 70 % con una o más caras fracturadas y 40 % con dos o más caras fracturadas), se repite el procedimiento sobre la misma muestra para cada requisito.

8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula el porcentaje en masa o el porcentaje obtenido por conteo, de partículas que presentan el número especificado de caras fracturadas, redondeado al 1 % de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P = \frac{F}{F + N} \times 100 \quad [227.1]$$

- Donde: P: Porcentaje de partículas con el número especificado de caras Fracturadas;
- F: Masa o número de partículas fracturadas con, al menos, el número de caras fracturadas especificado;
- N: Masa o número de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de partículas fracturadas.

9 INFORME

9.1 Se debe informar lo siguiente:

- 9.1.1 Procedencia e identificación de la muestra.
- 9.1.2 Criterio de fractura utilizado para evaluar el material.
- 9.1.3 Masa total, en g, de la muestra de material grueso evaluada.
- 9.1.4 Tamiz sobre el cual se retuvo la muestra al principio del ensayo.
- 9.1.5 Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.
- 9.1.6 Se reporta, igualmente, si el porcentaje de partículas fracturadas se calculó por masa o por conteo de partículas.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión* – El Ministerio de Transporte de Ontario (Canadá) informó que en un estudio formal, realizado por 34 operarios sobre dos muestras de una grava parcialmente fracturada (76 % de partículas fracturadas), se obtuvo una desviación estándar de 5.2 %. Por lo tanto, la diferencia en los resultados entre dos operarios bien entrenados, al observar muestras del mismo material, no debería exceder del 14.7 % del promedio, en el 95 % de las oportunidades.

Nota 2: Cuando las observaciones las realizaron un operario entrenado y otro sin entrenamiento, la desviación estándar promedio multi-operario se incrementó a 7.6 %.

10.2 Sesgo – Este procedimiento no tiene sesgo, porque los valores determinados pueden ser definidos únicamente en términos del método de ensayo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5821 – 01 (Re-aprobada 2006)



Figura 227 - 2. Partículas fracturadas (bordes agudos, superficies rugosas)



Figura 227 - 3. Partículas fracturadas (bordes agudos, superficies lisas)



Figura 227 - 4. Partículas fracturadas (bordes redondeados, superficies rugosas)



Figura 227 - 5. Partícula fracturada, flanqueada por dos partículas no fracturadas (solo desportilladas)

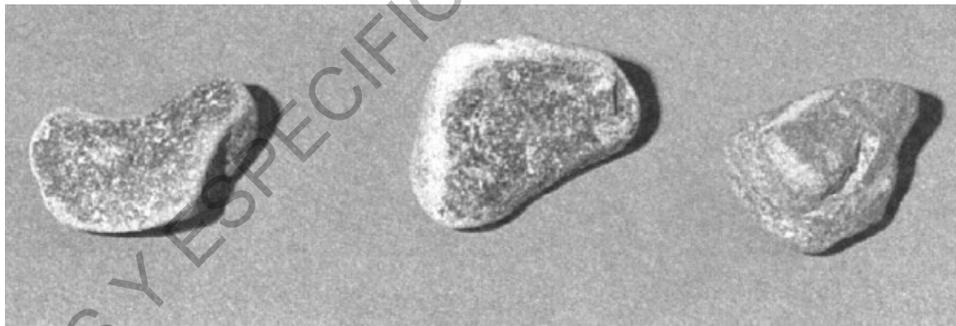


Figura 227 - 6. Partículas no fracturadas (bordes redondeados, superficies lisas)



Figura 227 - 7. Partículas no fracturadas (partículas redondeadas, superficies lisas)

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

VACÍOS DEL LLENANTE SECO COMPACTADO

INV E – 229 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento a seguir para determinar el volumen de vacíos de un llenante mineral cuando se compacta en seco bajo condiciones específicas.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–229–07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** El volumen de vacíos del llenante compactado en las condiciones de esta norma se corresponde, aproximadamente, con el contenido óptimo de ligante asfáltico que da un mástico asfáltico de máxima viscosidad, para empleo en la construcción de carreteras.

3 EQUIPO

- 3.1** *Dispositivo para compactar el llenante seco (Figuras 229 – 1 y 229 – 2) –* Deberá estar fabricado totalmente en acero, con la forma y dimensiones indicadas en la Figura 229 - 1, y cumplir los siguientes requisitos:
- 3.1.1** *Base* – Una base rígida, provista de dos guías verticales, con las dimensiones aproximadas indicadas en la Figura 229 - 1.
- 3.1.2** *Cilindro* – Un cilindro de 25.4 ± 1.3 mm de diámetro interno y 63.5 mm de profundidad interior, cerrado en un extremo.
- 3.1.3** *Pisón* – Un pisón o émbolo con una masa de 350 ± 2 g, cuyo diámetro le permita deslizarse libremente por el interior del cilindro, sin juego lateral. Deberá tener un orificio a lo largo de su eje, de aproximadamente 1.6 mm de diámetro, que permita el escape de aire y con una entalladura circular a lo largo de su perímetro a una distancia aproximada de 6 mm de su extremo inferior, que sirva para recoger el llenante que quede adherido en las paredes del cilindro durante el ensayo.

- 3.1.4** *Dispositivo para manejar el cilindro por las guías verticales* – Un dispositivo, donde va alojado el cilindro, que permite levantarlo y dejarlo caer libremente deslizándose por las guías, desde una altura de 100 ± 1 mm sobre la base. La masa total que cae sobre la base, incluyendo el llenante mineral, deberá estar comprendida entre 850 y 900 g.
- 3.1.5** *Dispositivo para lectura del espesor del llenante compactado* – Un dispositivo que permita la lectura del espesor de la plantilla de llenante compactado con una aproximación de 0.1 mm, mediante un nonio como el indicado en la Figura 229 - 1.
- 3.1.6** El equipo se deberá emplear seco y sin que ninguna de sus partes este lubricada. Durante el ensayo, se deberá mantener sujeto firmemente sobre una base rígida, no resiliente, nivelada y libre de vibraciones.
- 3.2** *Balanza* – Con capacidad de 50 g y una exactitud de 0.01 g.
- 3.3** *Horno* – De ventilación forzada, regulado termostáticamente y que pueda mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{C}$).
- 3.4** *Dsecador*.
- 3.5** *Pincel fino*.
- 3.6** *Espátula* – Una micro espátula de puntas planas y de unos 120 mm de longitud.

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** Se reduce la muestra de laboratorio por los procedimientos descritos en la norma INV E-202, con el fin de producir una porción de masa suficiente para elaborar cinco especímenes de ensayo.
- 4.2** Se seca el llenante durante un mínimo de 4 horas, a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y, a continuación, se deja enfriar en el desecador.
- 4.3** Se colocan aproximadamente 10 g de llenante seco en el cilindro de compactación y se distribuyen uniformemente en el fondo golpeándolo ligeramente sobre la base de trabajo.

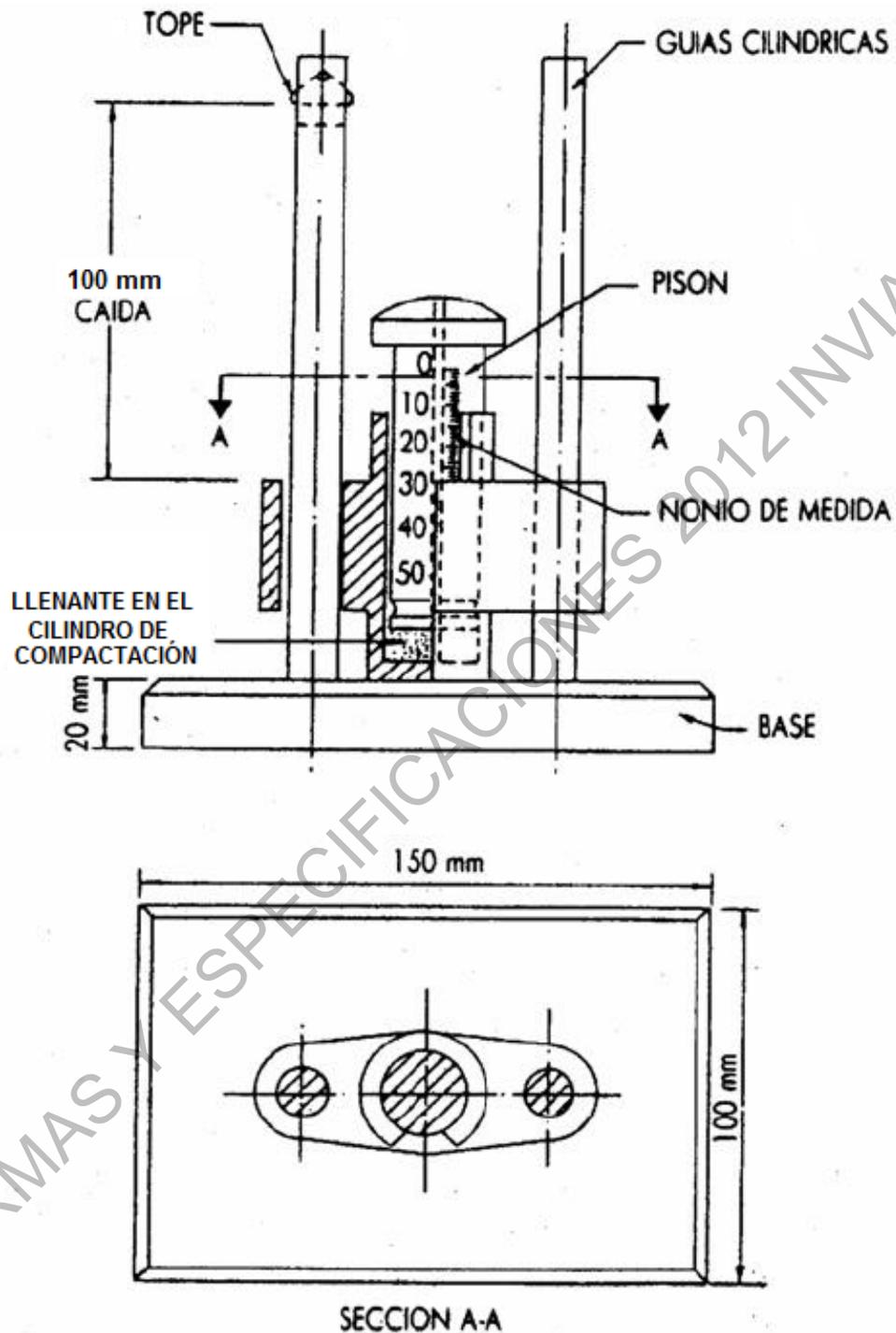


Figura 229 - 1. Aparato para la compactación en seco del llenante

- 4.4 Se introduce el pistón en el cilindro, permitiendo que se deslice lentamente sobre el llenante, tapando con el dedo su orificio central para evitar la proyección del llenante fuera del cilindro.



Figura 229 - 2. Fotografía del aparato

- 4.5** Se aplica al pistón una pequeña presión con la mano, para conseguir que el llenante forme una capa ligeramente compactada. Se saca entonces el pistón sin alterar el llenante, se limpia el exceso de éste que quede en el pistón y en las paredes del cilindro. Se limpia, también, el orificio central del pistón, si ha quedado obturado.
- 4.6** Se vuelve a introducir el pistón y se coloca cuidadosamente el cilindro sobre la base de caída, la cual deberá estar sujeta con firmeza a la base rígida, la cual debe permanecer libre de vibraciones o de cualquier otro movimiento.
- 4.7** Se levanta el cilindro con el pistón en posición y se le deja caer libremente sobre la base desde la altura establecida de 100 ± 1 mm. Esta operación se realiza 100 veces, a intervalos de 1 segundo.
- 4.8** El pistón debe tener libre movimiento durante esta operación, para lo cual se gira frecuentemente dentro del cilindro y, si fuese necesario, se saca cuidadosamente para eliminar el llenante adherido a las paredes
- 4.9** Después de aplicados los 100 impactos se lee el espesor (d) de la pastilla de llenante, mediante el nonio del dispositivo para la lectura del espesor, con una precisión de 0.1 mm.
- 4.10** Se desmonta el aparato sin alterar la pastilla de llenante y se elimina con un pincel todo el llenante no compactado. A continuación, con ayuda de la espátula se saca el llenante que formaba la pastilla, y se pesa éste con precisión de 0.01 g (M).

- 4.11** Se repiten los pasos 4.3 a 4.10, empleando otros dos especímenes de ensayo (Ver numeral 4.1).

5 CÁLCULOS

- 5.1** El contenido de vacíos del llenante seco compactado se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Vacíos del llenante seco compactado} = 1 - \frac{1000 M}{A \times d \times d_f} \quad [229.1]$$

- Donde: M: Masa de la pastilla de llenante, g;
A: Área de la sección transversal interior del cilindro, mm²;
d: Espesor de la pastilla de llenante, mm;
d_f: Gravedad específica del llenante (norma INV E-128).

- 5.2** Se calcula el promedio de los vacíos de los tres especímenes. Si alguno de los valores difiere en más de 0.01 del valor medio, se debe prescindir de ese resultado y se realizan dos nuevas determinaciones con los especímenes restantes tomados de la misma porción (Ver numeral 5.1).
- 5.3** El valor promedio de los tres o cuatro ensayos, según el caso, expresado con aproximación a 0.01, es el resultado de los vacíos del llenante seco compactado.

6 INFORME

- 6.1** Se debe presentar la siguiente información:

- 6.1.1** Identificación de la muestra.
6.1.2 Vacíos del llenante seco compactado.

7 NORMAS DE REFERENCIA

BS 812: Part 2: 1995 – Numeral 6.5

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ÍNDICES DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS

INV E – 230 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento que se deben seguir para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras.
- 1.2** Esta norma se aplica a agregados de origen natural o artificial. El ensayo para determinar el índice de aplanamiento no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ") o mayores de 63 mm ($2\frac{1}{2}$ "); mientras que la prueba para hallar el índice de alargamiento no aplica a los tamaños de partículas menores de 6.3mm ($\frac{1}{4}$ ") o mayores de 50 mm (2").
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–230–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Fracción granulométrica d_i/D_i* – Fracción de un agregado comprendida entre los tamices de aberturas D_i (mayor) y d_i (menor).
- 2.2** *Dimensión media de una fracción* – Promedio de las aberturas de los tamices correspondientes a cada fracción en la cual se divide la muestra para ensayo.
- 2.3** *Partícula plana* – Partícula cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a $3/5$ de la dimensión media de la fracción.
- 2.4** *Índice de aplanamiento de una fracción, d_i/D_i* – Porcentaje en masa de las partículas planas de la fracción d_i/D_i .
- 2.5** *Índice de aplanamiento global* – Masa del total de las partículas planas, expresada como porcentaje de la masa total seca de las partículas sometidas al ensayo.
- 2.6** *Partícula larga* – Partícula cuya dimensión máxima (largo) es superior a $9/5$ de la dimensión media de la fracción.

- 2.7 *Índice de alargamiento de una fracción, d_i/D_i* – Porcentaje en masa de las partículas largas de la fracción d_i/D_i .
- 2.8 *Índice de alargamiento global* – Masa total de las partículas largas, expresada como porcentaje de la masa total seca de las partículas sometidas al ensayo.
- 2.9 *Muestra de ensayo* – Muestra utilizada íntegramente para un mismo ensayo.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El ensayo de índice de aplanamiento consiste en dos operaciones sucesivas. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones. Luego, cada una de las fracciones se criba empleando para ello tamices de barras paralelas colocadas a separaciones $3/5[(d_i + D_i)/2]$. Las partículas que pasen el tamiz son consideradas planas. En lugar de los tamices de barras paralelas, se puede utilizar un calibrador con ranuras cuyas aberturas son del mismo tamaño de las separaciones de las barras de los tamices.
- 3.2 El ensayo de índice de alargamiento consiste en dos operaciones sucesivas. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones. Luego, cada fracción se analiza utilizando un calibrador de longitudes, el cual tiene barras verticales separadas a distancias $9/5[(d_i + D_i)/2]$. Se considera que todas las partículas retenidas por las barras son alargadas.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 La forma de las partículas de los agregados es importante en la construcción de carreteras, porque las partículas de forma defectuosa suelen generar inconvenientes. Las partículas planas y alargadas tienden a producir mezclas de concreto poco trabajables, lo que puede afectar su durabilidad a largo plazo. En las capas granulares y en las mezclas asfálticas, esas partículas son propensas a rotura y desintegración durante el proceso de compactación, modificando la granulometría del agregado y afectando adversamente su comportamiento.

5 EQUIPO

- 5.1 *Tamices de barras* – Siete tamices, formados por barras cilíndricas paralelas (Figura 230 - 1) y con las separaciones entre barras que se muestran a continuación. El bastidor debe ser metálico, de 75 mm de altura y entre 250 y

300 mm de lado. La altura libre del bastidor por encima de las barras se deberá encontrar entre 55 y 65 mm. El diámetro de las barras deberá oscilar entre 5 y 15 mm, dependiendo del ancho de la ranura (a mayor ancho, mayor diámetro).

FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA di/Di		ANCHO DE LA RANURA DEL TAMIZ DE BARRAS
mm	pg	mm
50/ 63	2 / 2 ½	33.9 ± 0.3
37.5/50	1 ½ / 2	26.3 ± 0.2
25/37.5	1 / 1 ½	18.8 ± 0.2
19/25	¾ / 1	13.2 ± 0.2
12.5/19	½ / ¾	9.5 ± 0.1
9.5/12.5	3/8 / ½	6.6 ± 0.1
6.3/9.5	¼ / 3/8	4.7 ± 0.1

- 5.2 *Calibradores metálicos* – Dos calibradores metálicos, uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrador de longitudes), cuyas dimensiones deben estar de acuerdo con lo especificado a continuación (Figuras 230 - 2 y 230 - 3). El calibrador de espesores sustituye al juego de tamices de barras paralelas mencionado en el numeral 5.1.

FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA di/Di		DIMENSIONES DEL CALIBRADOR	
mm	pg	APLANAMIENTO (ANCHO DE LA RANURA)	ALARGAMIENTO (SEPARACIÓN ENTRE BARRAS)
		mm	mm
50/ 63	2 / 2 ½	33.9 ± 0.3	-
37.5/50	1 ½ / 2	26.3 ± 0.3	78.8 ± 0.3
25/37.5	1 / 1 ½	18.8 ± 0.3	56.3 ± 0.3
19/25	¾ / 1	13.2 ± 0.15	39.6 ± 0.3
12.5/19	½ / ¾	9.5 ± 0.15	28.4 ± 0.3
9.5/12.5	3/8 / ½	6.6 ± 0.1	19.8 ± 0.2
6.3/9.5	¼ / 3/8	4.7 ± 0.1	14.2 ± 0.2

- 5.3 *Tamices* – De los siguientes tamaños de abertura: 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ "), 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "), 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "), 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), 25 mm (1"), 37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ "), 50 mm (2") y 63 mm ($2\frac{1}{2}$ ").
- 5.4 *Balanza* – Con una sensibilidad mínima de 0.1 % de la masa de la muestra de ensayo.
- 5.5 *Horno* – Horno de ventilación forzada, regulado por un termostato que mantenga la temperatura a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 5.6 *Equipo misceláneo* – Cuarteador de agregados, bandejas, tamizadora mecánica (opcional) etc.



Figura 230 - 1. Tamices de barras

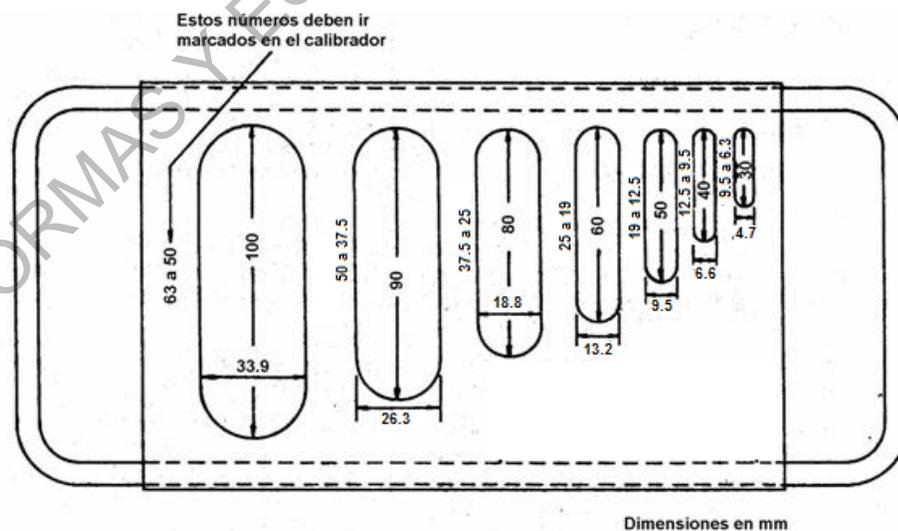


Figura 230 - 2. Calibrador de espesores (para el índice de aplanamiento)

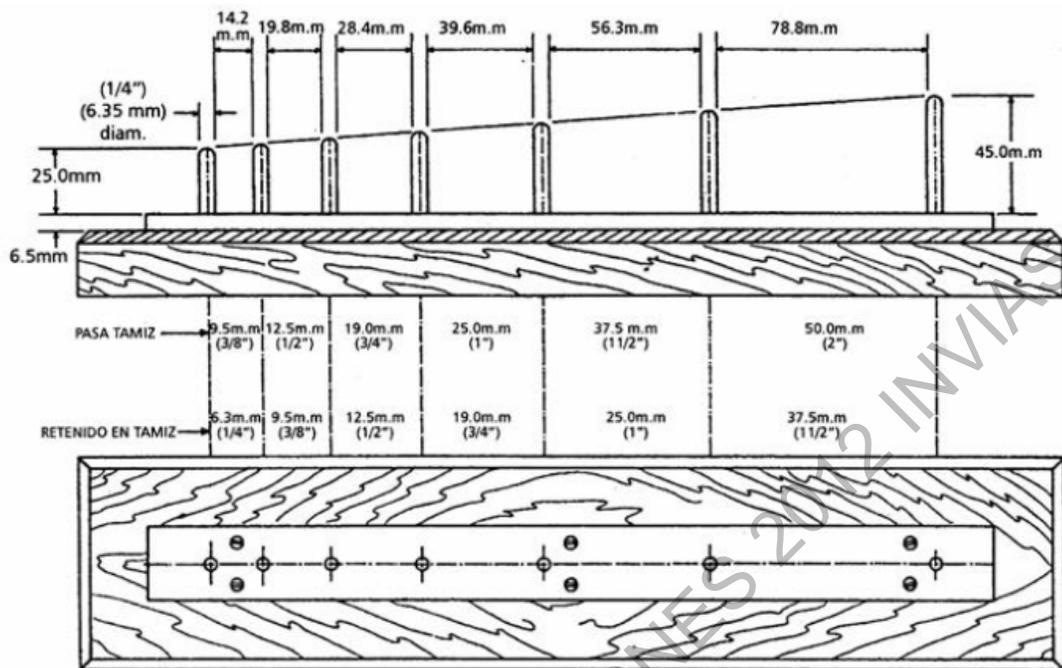


Figura 230 - 3. Calibrador de longitudes (para el índice de alargamiento)

6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1** El material recibido en el laboratorio, se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa de ensayo, de masa mínima acorde con el tamaño máximo nominal del agregado, como se muestra en la Tabla 230 - 1, teniendo en cuenta que más adelante se deberán rechazar tanto las partículas consideradas sobretamaños como las menores de 6.3 mm (1/4").
- 6.2** Se seca la muestra a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta alcanzar masa constante. Se retira del horno y se permite que alcance la temperatura ambiente.
- 6.3** Se realiza un ensayo de granulometría, conforme a la norma INV E-213. Para el ensayo del índice de aplanamiento se deben descartar las partículas retenidas en el tamiz de 63 mm (2 1/2") y las que pasan el de 6.3 mm (1/4"); mientras que para el ensayo del índice de alargamiento se deben descartar las partículas retenidas en el tamiz de 50 mm (2") y las que pasan el de 6.3 mm (1/4").
- 6.4** Se pesa cada una de las fracciones retenidas entre tamices (R_i) y se coloca en una bandeja separada, debidamente marcada. La suma de las masas de las

diferentes fracciones para el ensayo del índice de aplanamiento se llamará M_1 y la suma de las destinadas a la prueba de alargamiento se llamará M_{11} . Se calcula el porcentaje individual retenido entre cada par de tamices $[(R_i/M_1) \times 100]$ o $[(R_i/M_{11}) \times 100]$ Si alguna de las fracciones R_i representa menos del 5 % de M_1 o de M_{11} , se deberá descartar. En tal caso, la masa total se reducirá a un valor M_2 o M_{12} .

- 6.5 Se calculan y anotan los porcentajes que representan los valores de R_i en relación con la masa total de la muestra (para el índice de aplanamiento, la masa total es M_1 o M_2 , según corresponda; y para el índice de alargamiento será M_{11} o M_{12}).

Tabla 230 - 1. Masa mínima de la muestra de ensayo después del rechazo de partículas grandes y pequeñas

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO, mm (pg.)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO DEL ÍNDICE DE APLANAMIENTO, kg	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO DEL ÍNDICE DE ALARGAMIENTO, kg
50 mm (2")	35	-
37.5 mm (1 ½")	15	15
25 mm (1")	5	5
19 mm (¾")	2	2
12.5 mm (½")	1	1
9.5 mm (3/8")	0.5	0.5

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Índice de aplanamiento:

7.1.1 Se mide el aplanamiento por alguno de los procedimientos mencionados en los numerales 7.1.1.1 y 7.1.1.2.

7.1.1.1 Usando el tamiz de barras apropiado para cada fracción, se tamiza la fracción respectiva por él. El cribado se realizará manualmente y se considerará terminado cuando el rechazo no varíe en más de 1 % durante un minuto de tamizado. Entonces, se tratan de pasar manualmente las partículas retenidas en el tamiz, pero sin forzarlas ni romperlas.

7.1.1.2 Usando el calibrador de aplanamiento, se intentan hacer pasar a mano, una por una, las partículas de cada fracción por

la abertura correspondiente del calibrador, sin forzarlas ni romperlas.

7.1.2 Cualquiera haya sido el procedimiento utilizado, una vez pasadas todas las partículas posibles se determina la masa de las que pasaron por cada uno de los tamices o de los espacios del calibrador (m_i), o sea las partículas planas, con una aproximación del 0.1 % de la masa M_1 o M_2 , según corresponda.

7.1.3 Se combinan y pesan todas las partículas que pasaron las barras de los tamices o las ranuras del calibrador de aplanamiento. La masa total de ellas será $\Sigma(m_i) = M_3$.

7.2 Índice de alargamiento:

7.2.1 Se toma una de las fracciones de material (d_i/D_i) y, de manera manual, se intenta pasar cada una de las partículas por su mayor dimensión entre el par de barras del calibrador que representa dicha fracción. Una partícula alargada que será aquella cuya mayor dimensión le impide pasar por dicho espacio. Las partículas alargadas de la fracción se colocan a un lado. El procedimiento se repite con todas las fracciones.

7.2.2 Se determina la masa de las partículas que quedaron retenidas entre cada par de barras (n_i), o sea las partículas alargadas, con una aproximación del 0.1 % de la masa M_{11} o M_{12} , según corresponda.

7.2.3 Se combinan y pesan todas las partículas que quedaron retenidas entre las barras del calibrador de alargamiento. La masa total de ellas será $\Sigma(n_i) = M_{13}$.

8 CÁLCULOS

8.1 Índice de aplanamiento:

8.1.1 El índice de aplanamiento de cada fracción d_i/D_i , IA_i , se calcula como sigue:

$$IA_i = \frac{m_i}{R_i} \times 100 \quad [230.1]$$

Donde: R_i : Masa de la fracción d_i/D_i , g;

m_i : Masa de las partículas planas de la fracción d_i/D_i , g.

8.1.2 El índice de aplanamiento global, IA, se calcula como sigue:

$$IA = \frac{M_3}{M_1 \text{ o } M_2} \times 100 \quad [230.2]$$

M_1 o M_2 : Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice de aplanamiento, g;

M_3 : Masa de todas las partículas que pasaron las barras de los tamices o las ranuras del calibrador de aplanamiento, g.

8.1.3 El valor calculado de IA se deberá redondear al entero más cercano.

8.2 *Índice de alargamiento:*

8.2.1 El índice de alargamiento de cada fracción d_i/D_i , IL_i , se calcula como sigue:

$$IL_i = \frac{n_i}{R_i} \times 100 \quad [230.3]$$

Donde: R_i : Masa de la fracción d_i/D_i , g;

n_i : Masa de las partículas alargadas de la fracción d_i/D_i , g.

8.2.2 El índice de alargamiento global, IL, se calcula como sigue:

$$IL = \frac{M_{13}}{M_{11} \text{ o } M_{12}} \times 100 \quad [230.4]$$

Donde: M_{11} o M_{12} : Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice de alargamiento, g;

M_{13} : Masa de todas las partículas que quedaron retenidas en las barras del calibrador de alargamiento, g.

8.2.3 El valor calculado de IL se deberá redondear al entero más cercano.

9 INFORME

9.1 El informe deberá incluir la siguiente información:

9.1.1 Identificación de la muestra.

9.1.2 Masa de la muestra de ensayo, indicando las masas de sobretamaños y de partículas pequeñas que fueron rechazadas.

9.1.3 Fracciones rechazadas por constituir menos del 5 % de la muestra total.

9.1.4 Índice de aplanamiento de cada fracción, IA_i .

9.1.5 Índice de aplanamiento global, IA .

9.1.6 Índice de alargamiento de cada fracción, IL_i .

9.1.7 Índice de alargamiento, IL .

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 Los estimativos de repetibilidad y reproducibilidad de la determinación del índice de aplanamiento fueron 4.9 y 9.1, respectivamente. Los valores se obtuvieron en un experimento realizado en 1982 entre 8 laboratorios, cada uno de los cuales ensayó, por duplicado, muestras de un basalto y una arenisca de 14 mm. Los valores promedio fueron muy similares y no hubo diferencia significativa en la precisión de los datos para los dos agregados.

11 NORMAS DE REFERENCIA

BS 812-105.1: 1989

BS 812-105.2: 1990

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE APLANAMIENTO

TAMICES		MASA INICIAL DE CADA FRACCIÓN (R _i)	GRANULOMETRÍA (FRACCIÓN ENTRE TAMICES)	GRANULOMETRÍA CORREGIDA (SI HAY ALGUNA FRACCIÓN QUE REPRESENTA MENOS DE 5 % DEL TOTAL)	MASA DE LAS PARTÍCULAS PLANAS (m _i)	ÍNDICE DE APLANAMIENTO POR FRACCIÓN (m _i / R _i)×100
Pasa	Retiene	g	%	%	g	
63 mm (2 ½")	50 mm (2")	-	-		-	-
50 mm (2")	37.5 mm (1 ½")	-	-		-	-
37.5 mm (1 ½")	25 mm (1")	274	5.3		55	20.1
25 mm (1")	19 mm (¾")	1088	21.0		146	13.4
19 mm (¾")	12.5 mm (½")	1742	33.7		181	10.4
12.5 mm (½")	9.5 mm (3/8")	1278	24.7		166	13.0
9.5 mm (3/8")	6.3 (¼")	789	15.3		102	12.9
Totales		M ₁ =5171	100		M ₃ =650	
$IA = \frac{M_3}{M_1 \text{ o } M_2} \times 100 = \frac{650}{5171} \times 100 = 13$						

ANEXO B (Informativo)

EJEMPLO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ALARGAMIENTO

TAMICES		MASA INICIAL DE CADA FRACCIÓN (R _i)	GRANULOMETRÍA (FRACCIÓN ENTRE TAMICES)	GRANULOMETRÍA CORREGIDA (SI HAY ALGUNA FRACCIÓN QUE REPRESENTE MENOS DE 5% DEL TOTAL) ^c	MASA DE LAS PARTÍCULAS ALARGADAS(n _i)	ÍNDICE DE ALARGAMIENTO POR FRACCIÓN (n _i / R _i)×100
Pasa	Retiene	g	%	%	g	
63 mm (2 ½")	50 mm (2")	-	-	-	-	-
50 mm (2")	37.5 mm (1 ½")	-	-	-	-	-
37.5 mm (1 ½")	25 mm (1")	-	-	-	-	-
25 mm (1")	19 mm (3/4")	687	32.7	33.9	216	31.4
19 mm (3/4")	12.5 mm (½")	847	40.3	41.7	125	14.8
12.5 mm (½")	9.5 mm (3/8")	495	23.5	24.4	108	21.8
9.5 mm (3/8")	6.3 (¼")	73	3.5 ^A	-	-	-
Totales		M ₁₁ =2102 M ₁₂ =2029 _B	100	100	M ₁₃ =449	-
$IL = \frac{M_{13}}{M_{11} \text{ o } M_{12}} \times 100 = \frac{449}{2029} \times 100 = 22$						

^A La fracción entre 9.5 mm y 6.3 mm (3.5 %) es inferior a 5.0 % de la muestra original y, por lo tanto se debe descartar para el ensayo

^B Debido a que la fracción entre 9.5 mm y 6.3 mm debe ser descartada, la nueva masa total tendrá 73 gramos menos

^C Porcentaje de cada fracción respecto de la nueva masa total M₁₂

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO (CPA) DE LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO GRUESO

INV E – 232 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento de laboratorio para determinar la susceptibilidad de los agregados pétreos al pulimento, mediante la máquina de pulimento acelerado, valorando esta susceptibilidad por medio del Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA), determinado con ayuda del péndulo de fricción.
- 1.2** Este pulimento, conseguido mediante la acción de la llanta de caucho macizo de la máquina de ensayo y de los abrasivos empleados, pretende reproducir, de manera acelerada, aquel que experimenta el agregado bajo la acción del tránsito real cuando forma parte de la capa de rodadura de una vía. Este ensayo incluye, por lo tanto, dos procesos: (1) Un pulimento acelerado al cual se someten las probetas de agregado en la máquina de pulimento, y (2) Una medida del grado de pulimento conseguido para cada muestra, mediante el ensayo de fricción con el péndulo del TRL, el cual se expresa como coeficiente de pulimento del agregado, determinado en el laboratorio.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-232-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Empleando un mortero de resina, se montan catorce probetas compuestas por partículas de gravilla sobre la periferia lisa de una rueda de 40 cm de diámetro, sometiéndolas a la acción de una rueda neumática de 20 cm, cargada de un material abrasivo. El ensayo dura seis horas; durante las tres primeras, el material abrasivo que se aplica a la rueda es un esmeril granulado con tamaños entre 600 y 300 μm , mientras que en las tres horas siguientes se utiliza polvo de esmeril muy fino. La velocidad periférica del neumático es de aproximadamente 24.5 km/h. El estado de pulimento alcanzado por cada probeta después de tratada en la máquina se mide por el coeficiente de fricción entre su superficie y una zapata de caucho de un aparato portátil de tipo péndulo, para determinar el coeficiente de pulimento acelerado (CPA).

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Estudios de laboratorio muy extensos y experimentos realizados en carreteras con una amplia variedad de agregados, han demostrado que el estado de pulimento de las probetas al cabo de las seis horas se aproxima al estado de pulimento que alcanzan las mismas piedras después de varios meses en una carretera sometida a tránsito muy intenso, o de varios años en una vía con tránsito ligero.
- 3.2** La resistencia al pulimento de las partículas del agregado, es la resistencia a perder aspereza en su textura superficial y tiene gran importancia desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento cuando dichas partículas van a ser empleadas en una capa de rodadura, por la incidencia que tiene este factor sobre la seguridad de los usuarios de las carreteras. Por lo tanto, el ensayo es fundamental para la selección de los agregados destinados a la construcción de este tipo de capas.

4 EQUIPO

- 4.1** *Máquina de pulimento acelerado* – La máquina para el ensayo de pulimento de los agregados, representada en la Figura 232 - 1, se deberá montar bien nivelada y anclada sobre una superficie rígida, de concreto o de piedra, y tendrá los componentes que se indican a continuación:
- 4.1.1** *Rueda porta-probetas* – Una rueda con una periferia lisa y dispositivos de fijación para albergar 14 probetas con agregados de las dimensiones mostradas en la Figura 232 - 2a. Las probetas se deben fijar sobre la periferia de la rueda para componer una superficie continua de rodadura, formada por las partículas de agregado, de 406.4 ± 3 mm ($16 \pm 1/8$ ") de diámetro.
- 4.1.2** *Mecanismo de giro* – Un dispositivo para hacer girar la rueda porta-probetas alrededor de su eje, a una velocidad de 320 ± 5 rpm.
- 4.1.3** *Dos ruedas macizas con llantas de caucho* – De 200 ± 3 mm ($8 \pm 1/8$ ") de diámetro y de 38 ± 2 mm ($1 \frac{1}{2} \pm 1/16$ ") de ancho, con una periferia lisa. Las ruedas deben ser de colores diferentes. El color oscuro identifica la rueda que se empleará en el ciclo de pulimento con el abrasivo grueso. La otra rueda, de color claro, se utilizará en el ciclo de pulimento con abrasivo fino. Las llantas de caucho se pueden obtener

del fabricante de la máquina de pulimento y deberán tener una dureza inicial de (69 ± 3) IRHD (*International Rubber Hardness Degree*), según se especifica en la norma ISO 7619.

Nota 1: Las ruedas con llantas de caucho pueden ser del mismo color, siempre y cuando estén debidamente marcadas e identificadas de forma visible como "grueso" y "fino".

4.1.4 *Un brazo de palanca y una pesa* – Para llevar la superficie de la rueda correspondiente con llanta de caucho a apoyarse sobre la rueda porta-probetas con una fuerza libre total de 725 ± 10 N (74 ± 1 kgf). La rueda maciza con llanta de caucho deberá girar libremente sobre su eje, el cual deberá ser paralelo al eje de la rueda porta-probetas. Los planos de rotación de las dos ruedas deberán estar alineados.

4.1.4.1 La máquina deberá estar correctamente alineada, de manera que la rueda porta-probetas y cualquiera de las ruedas con llantas de caucho giren libremente sin holguras en los rodamientos. Se admitirán las siguientes tolerancias: (1) Los planos de rotación de las dos ruedas no diferirán, en lo que a su paralelismo se refiere, en un ángulo mayor de 5.8×10^{-3} rad (20 minutos); (2) La distancia entre los planos de rotación, medida entre los centros de las ruedas en movimiento, no deberá ser mayor de 0.8 mm.

4.1.5 *Tolva de alimentación del abrasivo grueso* – Identificada para su empleo con la rueda con llanta de caucho de color oscuro (grueso), para la alimentación del esmeril granulado y agua en las cantidades especificadas. El esmeril y el agua se deben alimentar directamente sobre la rueda porta-probetas en las proximidades del punto de contacto con la rueda con llanta de caucho.

4.1.6 *Tolva de alimentación del abrasivo fino* – Identificada para su empleo con la rueda con llanta de caucho de color claro (fino). La alimentación se efectuará de modo que el abrasivo fino y el agua sean vertidos continua y uniformemente sobre la superficie de la rueda de caucho macizo y las probetas, respectivamente, en las cantidades especificadas.

4.1.7 *Dispositivo para la alimentación del agua durante el ensayo* – Recipiente cilíndrico transparente con boca ancha, provisto de tapa sifón, que va situado en un soporte superior y a cierta altura con respecto al punto de entrada del agua en la zona de alimentación sobre la rueda de ensayo. El agua, desde el depósito, desemboca en un

compartimento solidario con la rampa de caída del abrasivo grueso. Entre los puntos de entrada y salida del recipiente del agua va intercalado un caudalímetro, para regular su alimentación.

- 4.1.8 Seguro** – Dispositivo que asegura que las ruedas con llantas de caucho no permanezcan en carga cuando estén en reposo, para prevenir el riesgo de deformación de las llantas.

Nota 2: Cuando no se emplee la máquina, es recomendable desmontar las ruedas con llantas de caucho y guardarlas como se indica en el Anexo C.

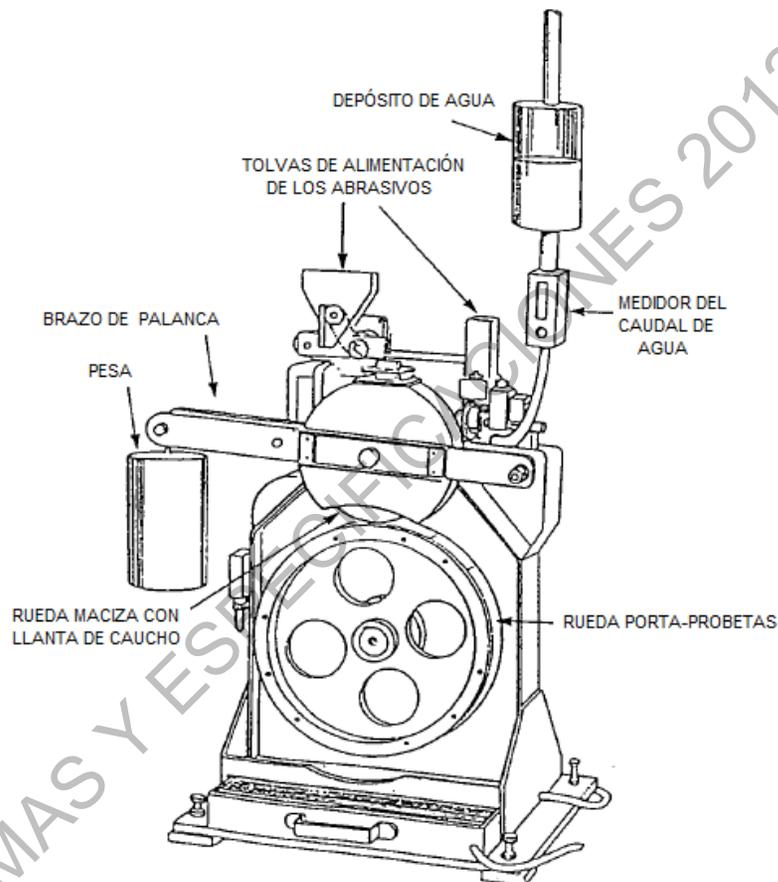
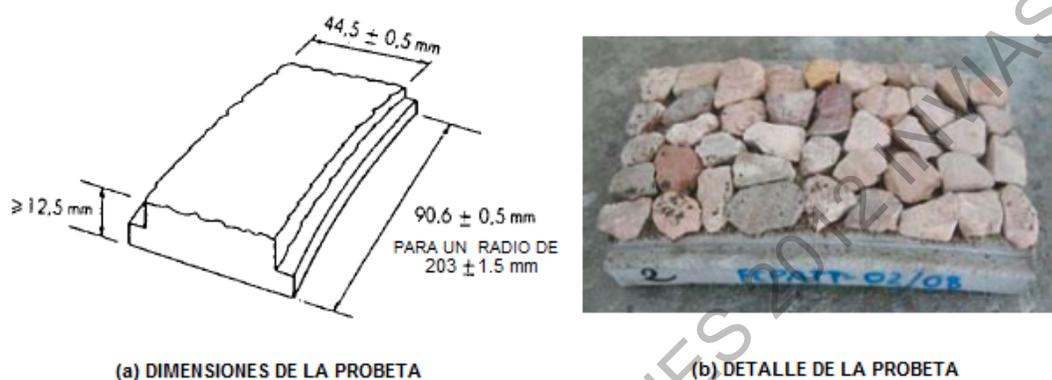


Figura 232 - 1. Máquina de pulimento acelerado

- 4.2 Moldes para la preparación de las probetas** – Los moldes metálicos empleados para la fabricación de las probetas serán mecanizados con precisión y consistirán en segmentos circulares de la rueda de ensayo, que permitan fabricar probetas de las dimensiones mostradas en la Figura 232 - 2.
- 4.3 Tamices** – De las siguientes aberturas: 9.5 mm (3/8"), 6.3 mm (¼"), 600 µm (No. 30), 500 µm (No. 35), 425 µm (No. 40), 355 µm (No. 45), 300 µm (No. 50),

212 μm (No.70), 180 μm (No. 80), 50 μm (No. 270), 32 μm (No. 450) y 20 μm (No. 635).

4.3.1 Un tamiz especial para eliminar partículas aplanadas en la fracción del agregado a ensayar que proporciona buenos resultados, es un tamiz de barras con amplitud de ranura de 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ").



(a) DIMENSIONES DE LA PROBETA

(b) DETALLE DE LA PROBETA

Figura 232 - 2. Probeta de ensayo

4.4 *Péndulo de fricción* – El aparato utilizado para efectuar la medida del pulimento acelerado a que son sometidos los agregados en el laboratorio, será el péndulo de fricción inglés (*Skid Resistance Tester*), Figura 232 - 3, cuyas características estarán de acuerdo con lo indicado en la INV E-792. El péndulo deberá ser calibrado una vez al año, conforme se indica en el Anexo D. Una escala auxiliar (escala F) será utilizada en las medidas de fricción sobre probetas de ensayo curvadas, con una longitud de deslizamiento de 76 mm.

4.4.1 *Zapata de caucho* – La zapata de caucho que se empleará en la medida del grado de pulimento de los agregados debe tener 31.75 ± 0.50 mm de longitud, 25.4 ± 1.0 mm de ancho (en la dirección de las oscilaciones del péndulo) y 6.35 ± 0.5 mm de espesor. Debe ir montada sobre una placa de soporte de aluminio con un eje de giro central. La masa del conjunto conformado por la zapata de caucho y la placa de soporte será de 20 ± 5 g. Sus aristas de trabajo, presentarán bordes rectos y bien definidos; el caucho no presentará contaminación con aceites, abrasivos, etc. El conjunto de zapata y placa de soporte va montado en el extremo del brazo del péndulo, de modo que, cuando el brazo oscilante se encuentre en el punto más bajo de su oscilación, con el borde posterior de la zapata en contacto con la superficie a ensayar, el plano de la zapata forme con la horizontal un ángulo de $26 \pm 3^\circ$ (Figura 232 - 4). En esta posición, la zapata se puede mover alrededor del eje o

pivote sin obstrucción, para seguir las irregularidades de la superficie con la oscilación del péndulo.

4.4.1.1 En el proceso de medidas con el péndulo, la zapata estará presionada mediante un resorte contra la superficie de ensayo. La fuerza estática sobre ella es de 22 ± 0.5 N (2.18 ± 0.05 kgf) en su posición central. La fuerza estática sobre la zapata no podrá sufrir variaciones superiores a 0.2 N (0.02 kgf) por cada milímetro de deflexión de la misma.

4.4.1.2 Debido a la medida del pulimento sobre probetas de ensayo, se va originando en la arista de la zapata un desgaste o rebaba, que aumenta la adherencia entre zapata y probeta, obteniéndose por ello valores superiores a los normales en las medidas de fricción. Cuando la arista de la zapata presenta una zona de rozamiento superior a los 2,5 mm, excluido su proceso de acondicionamiento, se debe cambiar de arista de rozamiento de la zapata, o bien desechar la propia zapata si ya han sido empleadas ambas aristas de medida. Las zapatas se deberán almacenar en la oscuridad y a una temperatura de $20 \pm 5^\circ$ C.

4.4.1.3 La dureza y la resiliencia iniciales de las zapatas deberán ser las especificadas en la Tabla 232 - 1.

Tabla 232 - 1. Propiedades de la zapata

PROPIEDAD	TEMPERATURA ($^\circ$ C)				
	0	10	20	30	40
Resiliencia (%) ^A	43 a 49	58 a 65	66 a 73	71 a 77	74 a 79
Dureza (IRHD) ^B	50 a 65	50 a 65	50 a 65	50 a 65	50 a 65

^A Ensayo por rebote de Lüpke, según la norma ISO 4662

^B Dureza del caucho, según la norma ISO 48

4.4.2 *Dispositivo para sujetar las probetas durante la medida del pulimento –*

Un dispositivo (Figuras 232 - 3 y 232 - 5) para sujetar rígidamente la probeta curva, una vez desmontada de la rueda de ensayo, con su dimensión mayor en el sentido del plano de deslizamiento del péndulo, y centrada respecto de la zapata de caucho y del eje de suspensión de aquel. En la zona curva del lateral exterior del sujetador de probetas deberá estar marcada la longitud de deslizamiento (76 mm).

- 4.5 *Material auxiliar* – Cepillo para limpieza de las probetas, frasco lavador, bandejas, etc.

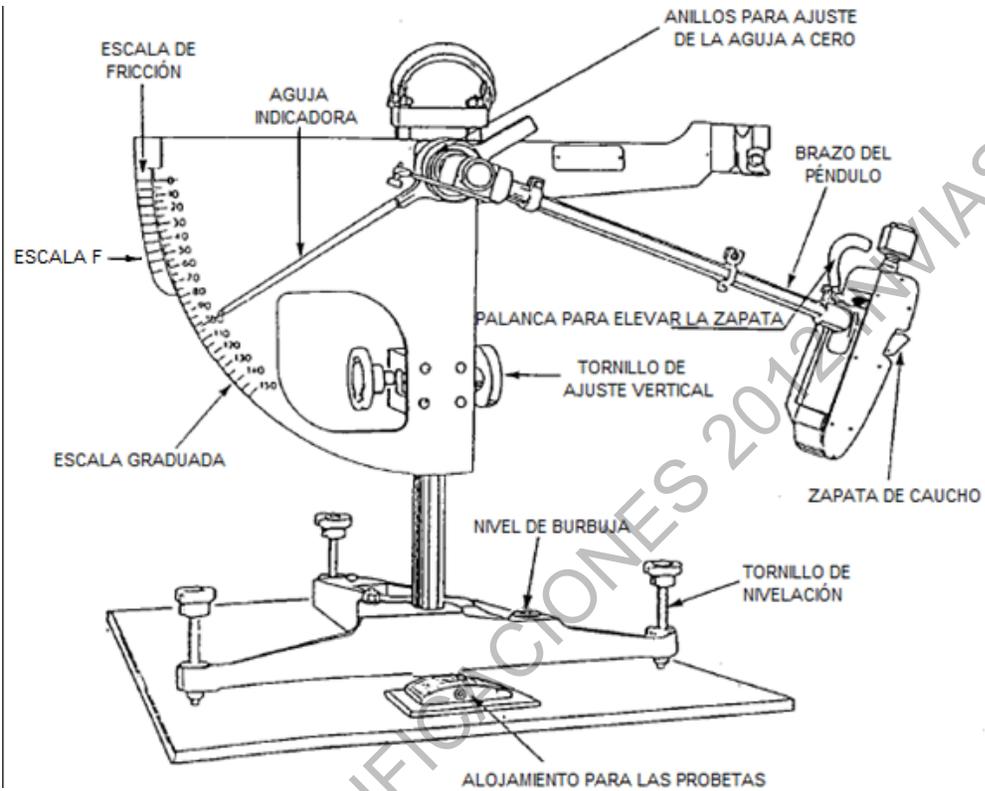


Figura 232 - 3. Péndulo de fricción

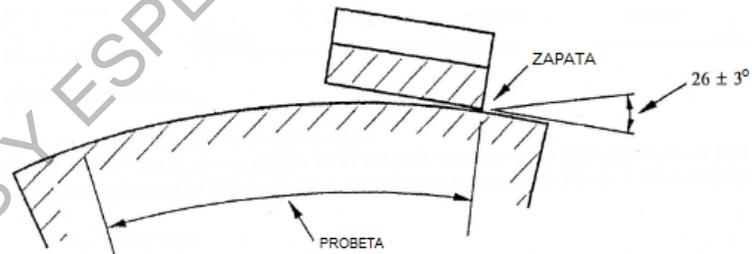


Figura 232 - 4. Posición de la zapata y la probeta

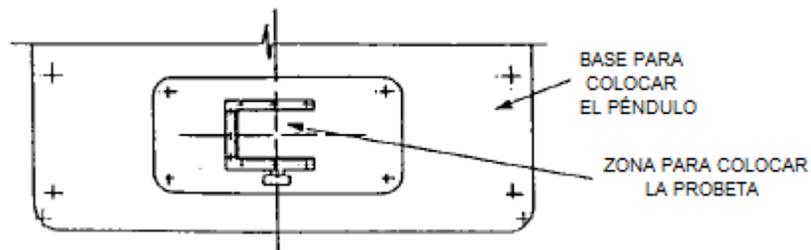


Figura 232 - 5. Dispositivo de fijación de las probetas desmontadas de la rueda porta-probetas

5 MATERIALES

- 5.1 *Abrasivo grueso* – Esmeril granulado natural, cuya granulometría esté de acuerdo con la Tabla 232 - 2. Se deberá emplear una sola vez

Tabla 232 - 2. Granulometría del abrasivo grueso

ABERTURA TAMIZ μm	% PASA
600	98 – 100
500	70 – 100
425	30 – 90
355	0 – 30
300	0 - 5

- 5.2 *Abrasivo fino* – Polvo de esmeril fino, separado por corriente de aire o por lavado con agua, que pase prácticamente en su totalidad por el tamiz de 50 μm (No. 270). Se deberá emplear una sola vez.

Nota 3: Por resultados previos, se considera adecuado un esmeril de corindón con las siguientes características: (1) contenido en $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 50\%$; (2) gravedad específica de partículas $\geq 3,5 \text{ g/cm}^3$; (3) distribución granulométrica (por tamizado con chorro de aire) conforme con la Tabla 232 - 3.

Tabla 232 - 3. Granulometría del abrasivo fino

ABERTURA TAMIZ μm	% PASA
50	99 – 100
32	75 – 98
20	60 – 80

- 5.3 *Piedra de referencia del coeficiente de pulimento acelerado (CPA)* – Proveniente de una fuente reconocida, con un CPA comprendido entre 50 y 60.

Nota 4: Hasta el momento, la única fuente reconocida de piedra de referencia del coeficiente CPA es un depósito de dolerita de cuarzo controlado por el Transport Research Laboratory. Se podrá emplear una fuente alternativa de piedra de referencia del coeficiente CPA, que tenga un CPA promedio comprendido entre 50 y 60, siempre que se haya determinado en un experimento controlado realizado por un mínimo de diez laboratorios, por medio de ensayos inter-laboratorios con la piedra de referencia tipo del TRL. Si hay divergencias, se deberá emplear la piedra tipo del TRL.

- 5.4** *Piedra de referencia del péndulo de fricción* – Proveniente de una fuente reconocida, para la preparación de zapatas nuevas y la verificación del péndulo, con un CPA comprendido entre 60 y 65.

Nota 5: Hasta el momento, la única fuente reconocida de piedra de referencia del péndulo de fricción, es un depósito de basalto de olivino, controlado por el Transport Research Laboratory. Se podrá emplear una fuente alternativa de piedra de referencia del péndulo de fricción, que tenga un CPA promedio comprendido entre 60 y 65, siempre que se haya determinado en un experimento controlado realizado por un mínimo de diez laboratorios, por medio de ensayos inter-laboratorios con la piedra de referencia tipo del TRL. Si hay divergencias, se deberá emplear la piedra tipo del TRL.

- 5.5** *Materiales para la preparación de las probetas de ensayo con mortero de resina* – Se necesitan los siguientes materiales y utensilios:

- 5.5.1** Agente desmoldante (puede servir una cera líquida para brillar automóviles).
- 5.5.2** Disolvente para limpieza de los equipos después de su empleo.
- 5.5.3** Resina sintética y endurecedor.
- 5.5.4** Vasos desechables u otros recipientes adecuados, para realizar la mezcla de la resina y el endurecedor.
- 5.5.5** Hojas de plástico flexible y transparente, hechas de materiales como acetato de polivinilo.
- 5.5.6** Moldes mecanizados con precisión para la preparación de las probetas con las dimensiones especificadas (Ver numeral 4.2).
- 5.5.7** Tapas metálicas rígidas (Figura 232 - 6) que tengan, cada una de ellas, una cara plana y la otra curvada con un radio de 189 ± 0.5 mm, para que se puedan ajustar al molde de ensayo de pulimento, y que sean un poco mayores que éste.
- 5.5.8** Dispositivos para mantener las tapas sobre el relleno de resina, por ejemplo, prensas de encolar o pesas.
- 5.5.9** Dos cepillos de pelo fino de unos 3 mm de diámetro.
- 5.5.10** Un cepillo de cerdas duras, de 80 a 100 mm de longitud.
- 5.5.11** Una espátula.

5.5.12 Pinzas de puntas rectas o curvas.

5.5.13 Agregado fino seco, que pase el tamiz de 300 μm (No. 50).

Nota 6: Se podrá añadir llenante a la resina para hacerla menos fluida. La resina se podrá añadir al molde en dos capas.

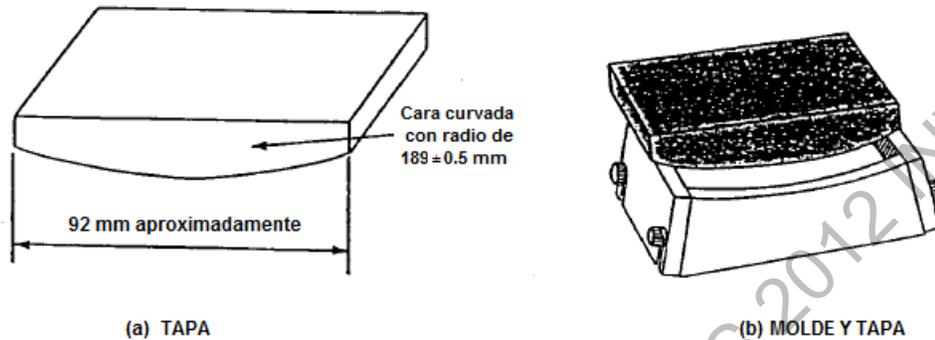


Figura 232 - 6. Molde y tapa para fabricar probetas con resina

6 PREPARACIÓN DE LOS AGREGADOS

6.1 *Preparación del agregado para ensayo* – La cantidad mínima de agregado necesaria para el ensayo de cada muestra será de 2 kg. El agregado a ensayar deberá ser gravilla limpia de polvo por lavado y secada en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$, con tamaño comprendido entre los tamices de 9.5 mm (3/8") y 6.3 mm (1/4"). Las partículas del agregado no podrán ser aplanadas (nota 7).

Nota 7: Una forma de eliminar las partículas aplanadas del agregado consiste en utilizar solamente el material retenido por la plantilla especial de aplanamiento o en el tamiz de barras de 6.3 mm de separación, empleados en la determinación del índice de aplanamiento (norma INV E-230).

6.1.1 El agregado a ensayar deberá ser una muestra representativa del material producido por la planta de trituración, ya que las gravillas que se trituran en el laboratorio pueden dar resultados altos y, por lo tanto, erróneos.

6.2 *Preparación de la piedra de referencia del coeficiente de pulimento acelerado (CPA)* – Empleando los métodos indicados en los numerales 6.1 y 6.1.1, se obtiene una masa de 1 kg de la piedra de referencia del CPA.

7 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

- 7.1** Operando en la forma que se describe a continuación, se preparan cuatro (4) probetas de cada muestra del agregado para ensayar, y otras cuatro (4) probetas piedra de referencia CPA. Cada probeta constará de entre 36 y 46 partículas del agregado preparado como se indica en la Sección 6.

Nota 8: La textura superficial de las partículas que se va a exponer a la acción de pulimento de la rueda con llanta de caucho deberá ser representativa de la textura superficial media del agregado. Las partículas de aspecto diferente se deberán distribuir de manera aleatoria entre las cuatro probetas. Los resultados obtenidos con materiales seleccionados de manera incorrecta darán resultados no satisfactorios.

- 7.2** Se recubren ligeramente las superficies internas expuestas y los bordes superiores de los moldes metálicos con el agente desmoldante, empleando uno de los cepillos de pelo fino. Se prepara cada probeta colocando cuidadosamente las partículas seleccionadas aleatoriamente en una única capa, con sus superficies más planas sobre el fondo del molde. Las partículas de piedra se colocarán una a una lo más próximas posible (ver Figura 232 - 2b), de forma de cubrir el fondo del molde lo más que se pueda. Una vez completado el fondo del molde con la capa de partículas del agregado así dispuestas, se deberán rellenar los intersticios entre las partículas hasta tres cuartas de su profundidad, con arena fina que pase el tamiz de 300 μm (No. 50). Se nivela con un cepillo fino y soplando ligeramente, a la vez que se verifica que no se altere la disposición de las partículas de agregado.

- 7.3** Se mezcla el endurecedor con la resina en el recipiente dispuesto para ello, siguiendo las instrucciones del fabricante. Se rellena el molde con resina mezclada hasta que desborde, y se remueve el exceso con la espátula, sin alterar la parte principal de la resina.

Nota 9: Como alternativa, se podrá retirar el exceso de resina cubriendo el molde con una hoja de plástico y presionando la tapa metálica sobre la hoja de plástico,

- 7.4** Cuando la resina comience a endurecer (normalmente a los 5 o 10 minutos), se recorta el exceso con el filo de una cuchilla. Se presiona la tapa metálica sobre la parte posterior de la probeta con una pinza o unas pesas, para evitar que se deforme al endurecerse. Se extrae la probeta del molde cuando la resina se haya endurecido y enfriado (normalmente, 30 minutos después de la mezcla). Se retira la arena suelta con el cepillo de cerdas rígidas. Cuando la resina se haya enfriado por completo, se esperan 30 minutos antes de proceder al pulido de la probeta, según la Sección 9. Se limpian los moldes y utensilios utilizados.

- 7.5 Se comprueba que cada probeta terminada presente a la rueda con llanta de caucho la superficie natural de las partículas, sin bordes salientes cortantes. Se comprueba que el espesor de la probeta sea superior a 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "). Se deberá rechazar cualquier probeta con resina expuesta en la superficie o con partículas descolocadas.

Nota 10: Las superficies expuestas de las probetas deberán sobresalir del relleno de resina.

8 PREPARACIÓN DE LAS RUEDAS CON LLANTAS DE CAUCHO

- 8.1 Cuando se trate de ruedas nuevas, antes de ser utilizadas en un ensayo, se efectuará una prueba preliminar utilizando el abrasivo apropiado. Para ello, se emplea la rueda con llanta de caucho nueva como en un ensayo real (Ver Sección 9), pero colocando en la rueda porta-probetas doce (12) probetas de reserva y dos (2) de la piedra de referencia CPA no pulimentadas.

Nota 11: Se podrán emplear como probetas de reserva las probetas empleadas en ensayos anteriores.

- 8.2 A continuación del pulimento acelerado de las probetas, se someten las probetas de la piedra de referencia al ensayo de fricción, de acuerdo con la Sección 10 y se anota el coeficiente promedio obtenido. Este valor se deberá encontrar dentro de los límites especificados de CPA para la piedra de referencia empleada. Si este coeficiente medio de fricción es mayor que el límite superior, se deberán efectuar más ensayos de prueba utilizando nuevas probetas de la piedra de referencia. En caso de que el resultado medio de fricción haya sido menor al límite inferior especificado, o si la diferencia entre los dos ensayos es superior a 5, la nueva rueda con llanta de caucho no se podrá emplear para la ejecución de los ensayos.

9 PULIMENTO ACELERADO DE LAS PROBETAS

- 9.1 El ensayo de pulimento acelerado se debe realizar a una temperatura ambiente de $20 \pm 5^\circ \text{C}$.
- 9.2 Las 14 probetas empleadas en cada prueba se deberán numerar como sigue:

Dos probetas del primer agregado	Numeradas 1 y 2
Dos probetas del segundo agregado	Numeradas 3 y 4
Dos probetas del tercer agregado	Numeradas 5 y 6
Dos probetas del cuarto agregado	Numeradas 7 y 8
Dos probetas del quinto agregado	Numeradas 9 y 10

Dos probetas del sexto agregado	Numeradas 11 y 12
Dos probetas con la piedra de referencia CPA	Numeradas 13 y 14

- 9.3** Las probetas se deben ordenar de la siguiente manera: 13, 9, 3, 7, 5, 1, 11, 14, 10, 4, 8, 6, 2, 12.

Nota 12: Se podrán colocar probetas de reserva para completar la rueda si no se van a ensayar seis agregados

- 9.4** Se fijan las 14 probetas en el orden recién indicado en la periferia de la rueda porta–probetas. Las probetas se deben marcar de modo que se pueda determinar posteriormente la dirección de giro de la rueda (Ver numeral 10.3). La superficie de ensayo de las probetas deberá formar una banda continua de partículas con una periferia de 406 ± 3 mm de diámetro, sobre la que la rueda con llanta de caucho pueda rodar libremente, sin sacudidas ni deslizamientos. Cualquier posible hueco entre las probetas se cubrirá con una pieza de relleno adecuada, nivelando con la superficie de las probetas contiguas. Se instala la rueda porta–probetas en la máquina de pulimento acelerado (Figura 232 - 7).

- 9.5** Se pone en movimiento la rueda porta–probetas, hasta que alcance una velocidad de 33 a 34 rad/s ($320 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$) y se lleva la rueda con llanta de caucho de color oscuro (grueso) hasta que se apoye sobre la superficie de las probetas. Se alimenta el esmeril granulado a un ritmo de 27 ± 7 g/min, con agua, sobre la rueda porta–probetas, durante 180 ± 1 min. El caudal de agua debe ser suficiente para hacer llegar el esmeril granulado a la rueda. La prueba se debe interrumpir a los 60 ± 5 min y a los 120 ± 5 min, para limpiar el exceso de esmeril granulado que se haya acumulado en la base. Transcurridos los 180 ± 1 min, se desmonta la rueda porta–probetas de la máquina. Se lavan y limpian a fondo la máquina y las probetas para eliminar cualquier resto de esmeril granulado.

Nota 13: En condiciones normales, el caudal de agua es, aproximadamente, el mismo que el del grano de esmeril.

Nota 14: Es importante que el esmeril granulado no se ponga en contacto con la llanta de caucho de color claro (fino).



Figura 232 - 7. Instalación de la rueda porta-probetas

- 9.6** Se ajusta la rueda con llanta de caucho de color claro (fino) y el dispositivo de alimentación de polvo de esmeril. Se vuelve a montar la rueda porta-probetas y se hace funcionar la máquina durante otros 180 ± 1 min, como en el numeral 9.5, pero sin hacer interrupciones. El polvo de esmeril se alimenta de manera continua a un ritmo de 3.0 ± 1 g/min, acompañado de agua a un caudal doble del ritmo de alimentación del polvo de esmeril ± 1 g/min.

Nota 15: Las ruedas con llantas de caucho solo deben estar bajo carga cuando están girando pues, de lo contrario, se pueden deformar.

- 9.7** Las ruedas con llantas de caucho se deben sustituir cuando se observe un desgaste no uniforme o cualquier otro deterioro, o cuando el coeficiente de la piedra de referencia no caiga dentro del intervalo especificado para él. Las ruedas de repuesto con llantas de caucho se deben preparar como se especifica en la Sección 8.

Nota 16: La experiencia muestra que la sustitución de las ruedas puede ser necesaria cada 25 pruebas, especialmente la rueda con llanta de caucho de color oscuro (grueso) empleada con el esmeril granulado.

- 9.8** Finalizada la operación de pulimento, se desmota la rueda porta-probetas y se limpia la máquina. Se desmontan las probetas de la rueda y se lavan a fondo con un chorro de agua, para eliminar todo resto de polvo de esmeril. Se limpian los intersticios entre las partículas de piedra, con ayuda del cepillo de cerdas.

Nota 17: Los restos de polvo de esmeril sobre las partículas del agregado o entre ellas, alteran los resultados de los ensayos de fricción (CPA).

- 9.9** Tras el lavado, se guardan las probetas boca abajo, sumergidas en agua a una temperatura de $20 \pm 2^\circ \text{C}$ ($68 \pm 4^\circ \text{F}$), durante un lapso de 30 a 120 min. Transcurrido este tiempo, se extraen del agua y se realiza inmediatamente el ensayo de fricción, según lo indicado en la Sección 10. No se debe dejar que las probetas se sequen antes del ensayo.
- 9.10** Se repite el procedimiento completo (numerales 9.1 a 9.9) con las dos probetas restantes de cada agregado que se está ensayando y del agregado de referencia (Ver Sección 7).

10 PROCEDIMIENTO OPERATORIO CON EL PÉNDULO DE FRICCIÓN

- 10.1** Se mantienen el péndulo y la zapata en un recinto de trabajo en el que la temperatura esté controlada a $20 \pm 2^\circ \text{C}$, por lo menos desde 2 horas antes del comienzo del ensayo y durante el proceso del mismo.
- 10.2** Se coloca el péndulo sobre una superficie firme y nivelada y se ajustan seguidamente los tornillos de nivelación de forma que la columna quede en posición vertical. A continuación, se eleva el eje de suspensión del péndulo hasta que el brazo oscile libremente y se ajusta la fricción en el mecanismo de la aguja indicadora, de manera que ésta se apoye sobre el cero en la escala de ensayo cuando el brazo del péndulo y la aguja indicadora sean liberados de su posición horizontal derecha. Se comprueba que el recorrido de la zapata sea paralelo a la dimensión mayor de la probeta en todo el recorrido de deslizamiento.
- 10.3** La probeta a ensayar se sujeta firmemente en dispositivo de sujeción descrito en el numeral 4.4.2 (Figura 232 - 8). Para realizar las medidas de fricción, la probeta se debe situar de manera que la zapata del péndulo la recorra en sentido opuesto al sentido de rotación que tenía en la rueda porta-probetas.

Nota 18: Por ejemplo, si la marca (ver numeral 9.4) se encuentra en el lado de la probeta más alejado del operario durante la operación de pulimento, se deberá encontrar en el lado más cercano a él durante el ensayo de fricción.

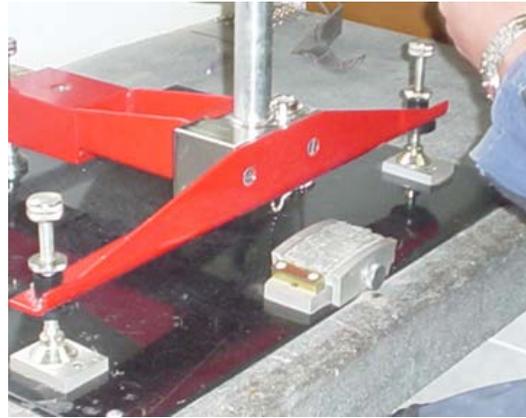


Figura 232 - 8. Probeta colocada en el dispositivo de sujeción

- 10.4** Se ajusta la altura del brazo del péndulo de forma que al pasar la zapata de caucho sobre la probeta entre en contacto con ella en todo el ancho de la zapata y a lo largo de 76 ± 1 mm de longitud, tan exactamente como se pueda comprobar visualmente. El ajuste se debe mantener durante todas las medidas de fricción de la probeta.
- 10.5** Previamente a la realización de las medidas de fricción, la superficie de las probetas y la arista de la zapata se mojan con abundante agua limpia, a una temperatura de $20 \pm 5^\circ \text{C}$, procurando no descolocar la zapata de su posición correcta. Se liberan el brazo del péndulo y la aguja indicadora de su posición horizontal y se anota el número entero más próximo a la posición donde la aguja indicadora se apoye sobre la escala F. Se devuelve la aguja indicadora a la posición horizontal. Esta operación se realiza cinco veces, volviendo a humedecer la probeta y la zapata cada vez. Se anota el promedio de las tres últimas lecturas, redondeadas a la décima (0.1).
- 10.6** Se ensayan siete probetas en el siguiente orden: 13, 1, 10, 3, 5, 12 y 8. Se invierte la zapata y se usa su segundo borde de ataque para ensayar las otras siete probetas en el siguiente orden: 7, 11, 6, 4, 9, 2 y 14.
- 10.7** Se repite el procedimiento de ensayo completo (pasos 10.1 a 10.6) con las probetas restantes.

11 CÁLCULOS

- 11.1** Se calcula el promedio de los coeficientes de pulimento registrados de las dos probetas de la piedra de referencia del CPA de cada prueba de ensayo, redondeado a 0.1.

11.2 Se deben rechazar los resultados del ensayo completo si la diferencia entre los dos resultados de ensayo obtenidos en el numeral 11.1 es superior a 5.0 unidades, o si uno de ellos cae por fuera del intervalo especificado para el agregado de referencia empleado. Si se rechazan estos resultados, se debe repetir el ensayo completo.

Nota 19: El intervalo especificado para la piedra de referencia del CPA tipo TRL es 49.5 – 55.5.

11.3 Para las pruebas de ensayo satisfactorias (que no sean rechazadas según el criterio del numeral 11.2), se calcula el coeficiente de pulimento acelerado (CPA) de cada agregado, según se indica en los numerales 11.3.1 a 11.3.3.

11.3.1 Se calcula el valor medio “S” de los valores anotados de las cuatro probetas del agregado (dos en cada prueba), sumando el promedio de cada ensayo y dividiendo por 2. Se anota el resultado redondeado a la décima.

11.3.2 Se calcula el valor medio “C” de los valores anotados de las cuatro probetas de la piedra de referencia del CPA (dos en cada prueba), sumando el promedio de cada ensayo y dividiendo por 2. Se anota el resultado redondeado a la décima.

11.3.3 Se calcula el coeficiente CPA, redondeado al entero más próximo, a partir de la ecuación:

$$\text{CPA} = S + X_m - C \quad [232.1]$$

Donde: S: Valor medio de los valores obtenidos con las cuatro probetas de agregado;

X_m : Valor medio aceptado de la piedra de referencia. Si se emplea la piedra de referencia del CPA tipo TRL, este valor es 52.5;

C: Valor medio de los valores obtenidos con las cuatro probetas de la piedra de referencia del CPA.

12 INFORME

12.1 El informe deberá indicar que el CPA se ha determinado de acuerdo con esta norma. Además, deberá contener:

- 12.2** El reporte sobre la toma de las muestras, si se dispone de él.
- 12.3** La identificación visual de la muestra, según la norma INV E-102.
- 12.4** Presencia de partículas de aspecto diferente al promedio y proporción de ellas.
- 12.5** El coeficiente de pulimento acelerado (CPA) del agregado.
- 12.6** El valor medio global obtenido para el agregado de referencia CPA (ver numeral 5.3).
- 12.7** Los valores individuales y promedios de cada serie de ensayos de las cuatro probetas del agregado y las cuatro probetas de referencia, con indicación clara de la prueba de ensayo con la cual se obtuvo cada valor
- 12.8** Las características de los abrasivos empleados, las condiciones de las llantas macizas de caucho, y cualquier otro dato que pueda ser de importancia para la adecuada interpretación de los resultados.

13 NORMAS DE REFERENCIA

UNE-EN 1097-8 Julio 2000

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ABRASIÓN DEL AGREGADO (AAV)

A.1 Generalidades:

- A.1.1** Este anexo especifica un método para la determinación del coeficiente de abrasión del agregado (AAV), que da una medida de su resistencia al desgaste superficial por la acción de la abrasión producida por el tránsito rodado.

A.2 *Fundamento del método:*

- A.2.1** Se seleccionan dos probetas de una muestra de ensayo. Las partículas se colocan en la orientación adecuada y se embeben en resina; a continuación, se fijan en contacto con una muela pulidora que gira en un plano horizontal. Se cargan las probetas y se alimenta continuamente un agregado fino abrasivo (arena) a través de las superficies en contacto de la probeta y la muela pulidora, durante un número de vueltas especificado.
- A.2.2** El coeficiente AAV se determina a partir de la diferencia entre las masas de las probetas antes y después de la abrasión. El ensayo se realiza con un agregado que pase el tamiz de 12.7 mm (½") y que quede retenido en el tamiz de 9.5 mm (3/8").
- A.2.3** La densidad SSS de las partículas (saturada y superficialmente seca) de la muestra de laboratorio se determinará de acuerdo con la norma INV E-223.

A.3 *Muestreo:*

- A.3.1** El muestreo se debe realizar según se establece en la Sección 6 de esta norma.

A.4 *Materiales:*

- A.4.1** *Abrasivo* — Compuesto de agregado fino de sílice granulado redondeado (arena), con un contenido mínimo en cuarzo de 96 %. Todo el agregado fino (arena) deberá pasar el tamiz de 850 µm (No. 20) y deberá quedar retenido en el tamiz de 300 µm (No. 50). Además, un mínimo de 75 % del agregado fino (arena) deberá pasar el tamiz de ensayo de 600 µm (No. 30) y deberá quedar retenido en el tamiz de 425 µm (No. 40). El agregado fino deberá estar seco y no deberá haber sido utilizado anteriormente.

Nota A.1: Se necesitan unos 30 kg de arena para cada ensayo.

- A.4.2** *Resina sintética y endurecedor* – Junto con un agente desmoldante, como cera líquida para automóviles o un líquido limpiador adecuado, y un recipiente para el mezclado de la resina.

Nota A.2: El líquido limpiador se debe emplear para limpiar los moldes, utensilios, etc., según sea necesario.

Nota A.3: Se podrá añadir llenante a la resina para hacerla menos fluida. La resina se podrá añadir a los moldes en dos capas.

A.4.3 *Arena* – Para impedir que la resina salga a presión entre las partículas de agregado.

Nota A.4: Resulta adecuada una arena que pase el tamiz de ensayo de 300 μm (No. 50).

A.5 *Equipo:*

A.5.1 *Máquina de abrasión (Figura 232A - 1)* – Compuesta de una muela pulidora circular de acero o de hierro colado, con un diámetro mínimo de 600 mm, que pueda girar en un plano horizontal a una velocidad comprendida entre 28 y 31 rpm. La máquina de abrasión deberá estar equipada con un contador de revoluciones y los accesorios detallados en los apartados A.5.1.1 a A.5.1.6.



Figura 232A - 1. Máquina de abrasión

A.5.1.1 Un mínimo de dos moldes metálicos mecanizados para la preparación de probetas, con extremos desmontables y unas dimensiones interiores de $92.0 \pm 0.1\text{mm}$ de largo, $54.0 \pm 0.1\text{mm}$ de ancho y $16.0 \pm 0.1\text{mm}$ de fondo.

Nota A.5: Algunas resinas se contraen longitudinal y transversalmente unos 0.5 mm para una probeta de estas dimensiones. Si se emplea resina que no encoge, estas dimensiones se disminuirán en 0.5 mm.

A.5.1.2 Un mínimo de dos bandejas metálicas mecanizadas o placas de apoyo metálicas, para dar soporte a las probetas preparadas.

Nota A.6: Son adecuadas las bandejas hechas de plancha de acero suave de 5 mm, con unas dimensiones interiores de 92.0 ± 0.1 mm de largo, 54.0 ± 0.1 mm de ancho y 8.0 ± 0.1 mm de fondo.

A.5.1.3 Un mínimo de dos planchas planas mecanizadas hechas de plancha de acero suave de 5 mm, de 115 ± 0.1 mm de largo y 75 ± 0.1 mm de ancho.

A.5.1.4 Un dispositivo para la colocación de dos bandejas (o probetas con placas de apoyo) con sus puntos centrales a 260 mm del centro de la muela pulidora diametralmente opuestas, y con sus dimensiones mayores apoyadas en la dirección del giro de la muela pulidora. Las bandejas se deberán poder mover libremente en un plano vertical, pero no en un plano horizontal.

A.5.1.5 Dos pesas, con la base redondeada para presionar la probeta contra la superficie de la muela pulidora y con un dispositivo de ajuste de la masa a 2000 ± 10 g, bandeja y probeta incluidas.

A.5.1.6 Un dispositivo para la alimentación continua de arena en la muela pulidora, frente a cada probeta, a un ritmo de 800 ± 100 g/min, y para extraer el agregado fino una vez que haya pasado por las muestras de ensayo.

Nota A.7: La realización habitual de ensayos con agregados de gran dureza puede rayar visiblemente la superficie mecanizada de la muela pulidora. Se debe inspeccionar la superficie después de cada prueba de ensayo y se debe proceder al rectificado de las ranuras de más de 0.2 mm de profundidad.

A.5.2 *Tamices de ensayo* – Con aberturas cuadradas de tamaño 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "), 850 μ m (No. 20), 600 μ m (No. 30), 425 μ m (No. 40) y 300 μ m (No. 50).

Nota A.8: Sólo será necesario emplear los tamices de tela metálica si hay que verificar la granulometría del agregado fino abrasivo.

A.5.3 *Tamiz de barras* – Con una separación de barras de 9.5 ± 0.15 mm.

Nota A.9: Se podrá emplear un tamiz de clasificación de partículas aplanadas con ranuras de 9.5 ± 0.15 mm de ancho y de 40 ± 1 mm de largo.

A.5.4 *Balanza* – Con una capacidad mínima de 2.5 kg, y una legibilidad de 0.1 g.

A.5.5 *Dos cepillos pequeños de pelo fino.*

A.5.6 *Cepillo* – De cerdas rígidas.

A.5.7 *Dispositivo de fijación* – Por ejemplo, prensa de encolar de 200 mm.

A.6 *Preparación de las probetas:*

A.6.1 *Muestra de ensayo* – Se reduce la muestra de laboratorio siguiendo los procedimientos especificados en la norma INV E-202 y se tamiza para obtener una muestra de ensayo compuesta de agregado que pase el tamiz de 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ ") y que quede retenido en el tamiz de barras. La masa de la muestra de ensayo deberá ser suficiente para la preparación de dos probetas, tal como se especifica en el numeral A.6.2. Tras el tamizado, el agregado se lava para eliminar el polvo superficial y se deja secar superficialmente al aire. El agregado se debe ensayar con la superficie seca y deberá estar a temperatura ambiente antes de la preparación de la muestra de ensayo, tal como se especifica en el numeral A.6.2.

A.6.2 *Probetas:*

A.6.2.1 Se preparan dos probetas para cada ensayo.

A.6.2.2 Se aplica una película ligera de agente desmoldante a las caras interiores y a los bordes posteriores del molde, con un cepillo de pelo fino.

A.6.2.3 Se selecciona el mayor número posible de partículas de la muestra de ensayo, nunca menos de 24, y se colocan en el molde en una sola capa, con su superficie más plana sobre el fondo del molde.

Nota A.10: La textura superficial de las partículas que se van a exponer a la acción abrasiva debe ser representativa de la textura superficial media del agregado. Las partículas de diferente aspecto se deben distribuir aleatoriamente entre las dos

probetas. Los resultados obtenidos con probetas incorrectamente seleccionadas darán resultados no representativos.

- A.6.2.4** Se rellenan los intersticios entre las partículas de agregado hasta aproximadamente tres cuartos de su profundidad con agregado fino y se nivela dicho agregado con el otro cepillo de pelo fino. Se mezcla suficiente resina y endurecedor y se rellena el molde hasta que rebose.
- A.6.2.5** Se aplica una película de agente desmoldante a uno de los lados de la plancha plana y se coloca firmemente en el molde, con el lado al que se ha aplicado el agente desmoldante hacia abajo. Se mantiene la plancha en esa posición con el dispositivo de fijación. Cuando se haya endurecido la resina (normalmente, a los 30 min), se quita la plancha y se recorta el exceso de resina con una cuchilla o una espátula.
- A.6.2.6** Se saca la probeta del molde, y se quita la arena suelta con el cepillo de cerdas rígidas. Se pesa la probeta, redondeando a la décima de gramo (masa A). Se descarta cualquier probeta que presente resina expuesta en la superficie o partículas desplazadas.

A.7 Procedimiento:

- A.7.1** Se ajusta cada probeta en una de las bandejas metálicas o placas de apoyo metálicas mecanizadas, poniendo cuidado para asegurar un ajuste firme. Se pesa una probeta en su bandeja con una de las pesas y se ajusta la masa hasta que totalice 2000 ± 10 g. Se repiten las mismas operaciones para la segunda probeta, la bandeja o placa de apoyo y se pesa.

Nota A.11: La abrasión del agregado durante el procedimiento descrito en este anexo puede generar partículas que podrían ser perjudiciales para la salud. Es muy importante adoptar las medidas de protección adecuadas, como el empleo de máscaras antipolvo y/o extractores de polvo.

- A.7.2** Se colocan las dos probetas en la máquina de abrasión con las partículas de agregado apoyadas sobre la muela pulidora en toda la superficie. A continuación, se colocan las pesas adecuadas, centradas sobre las probetas.
- A.7.3** Se hace girar la muela pulidora 500 vueltas a una velocidad entre 28 y 31 rpm. Se alimenta continuamente el agregado fino sobre la muela

pulidora, justo frente a cada probeta, en todo su ancho, con un ritmo de 800 ± 100 g/min para cada probeta.

Nota A.12: Se podrá emplear una ranura de alimentación de 1.3 mm de ancho.

A.7.4 Para asegurar la alimentación del agregado fino debajo de las probetas, se levantan y separan de la muela pulidora durante una vuelta, antes del inicio de la abrasión, y cada 100 revoluciones. Se quita el agregado fino con una cuchilla rebordeada de caucho, montada de modo que el borde de caucho descansa ligeramente sobre la muela pulidora en todo su ancho, y se desecha el agregado fino.

A.7.5 Si se observa que la abrasión ha alcanzado al relleno de resina, por el tipo de agregado, se interrumpe el ensayo y se anota que número de vueltas.

A.7.6 Tras 500 vueltas, se quita la probeta de la máquina y se quitan las bandejas o placas de apoyo y las pesas. Se pesan las probetas, redondeando a la décima de gramo más próxima (masa B).

A.8 Cálculos:

A.8.1 Se calcula el coeficiente AAV de cada probeta, con tres cifras significativas, a partir de la siguiente ecuación:

$$AAV = \frac{3(A - B)}{\rho_{SSD}} \quad [232.2]$$

Donde: A: Masa de la probeta antes de la abrasión, g;

B: Masa de la probeta después de la abrasión, g;

ρ_{SSD} : Densidad SSS de las partículas del agregado, Mg/m³.

Nota A.13: El cálculo se basa en el porcentaje de pérdida de masa de un volumen de agregado de 33 ml. Por esta hipótesis, el AAV se expresa como una magnitud sin dimensiones.

A.8.2 Se calcula la media de los dos resultados, con dos cifras significativas.

A.8.3 Se anota el promedio como AAV, salvo si los resultados individuales difieren en más de 0.2 veces el valor del promedio. En este caso, se repite el ensayo con las otras dos probetas, se calcula el promedio de

los cuatro resultados con dos cifras significativas, y se anota el promedio como AAV.

A.8.4 La media de los cuatro resultados se calcula excluyendo los valores máximo y mínimo y calculando la media de los dos valores centrales.

A.9 *Informe:*

A.9.1 El informe del ensayo deberá declarar que el AAV ha sido determinado de acuerdo con esta norma. Además, deberá incluir al menos la siguiente información complementaria:

A.9.1.1 El número de esta norma.

A.9.1.2 El coeficiente de abrasión del agregado, (AAV).

A.9.1.3 Los valores obtenidos con las dos (o cuatro) probetas individuales.

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

CONTROL DE MATERIALES

B.1 *Grano de esmeril y polvo de esmeril:*

B.1.1 Se debe comprobar la distribución granulométrica de cada lote recibido de grano de esmeril (Ver numeral 5.1) y del polvo de esmeril (Ver numeral 5.2) antes de su utilización.

Nota B.1: No será necesaria esta verificación si se dispone de certificado del fabricante o proveedor del agregado que acredite la conformidad de estos materiales.

ANEXO C (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DE PULIMENTO ACELERADO

C.1 *Control de las ruedas con llantas de caucho:*

- C.1.1** Se deben verificar la dureza y las dimensiones de las ruedas con llantas de caucho (Ver numeral 4.1.3). El certificado de conformidad deberá declarar la fecha de fabricación de la llanta de caucho.

Nota C.1: No será necesaria la verificación si se dispone del certificado del fabricante o proveedor de las ruedas que acrediten su conformidad.

- C.1.2** Las ruedas con llantas de caucho se deben conservar en un lugar oscuro a una temperatura de $20 \pm 5^\circ \text{C}$. Si no se pueden conseguir estas condiciones de conservación, se debe verificar anualmente la conformidad de la dureza respecto de los criterios iniciales de dureza (Ver numeral C.1.1). Se deben descartar para su empleo, pasados dos años a partir de la fecha de fabricación.

- C.1.3** Si una llanta de caucho se ha conservado por debajo de 15°C antes de su entrega al laboratorio, el caucho se debe acondicionar elevando su temperatura a $30 \pm 2^\circ \text{C}$ durante un mínimo de 24 h antes de su utilización.

- C.1.4** Se deben comprobar anualmente las dimensiones de cada rueda con llanta de caucho (Ver numeral 4.1.3).

C.2 *Máquina de pulimento acelerado:*

- C.2.1** Cada seis meses, se debe comprobar el indicador de caudal de agua.
- C.2.2** Anualmente, se debe verificar la velocidad de giro de la rueda porta-probetas en las condiciones de ensayo (Ver numeral 4.1.2).
- C.2.3** Anualmente, se debe verificar la fuerza libre aplicada a la rueda porta-probetas por cada rueda con llanta de caucho (Ver numeral 4.1.4).
- C.2.4** Anualmente, se debe verificar el alineamiento de la rueda porta-probetas respecto de cada rueda con caucho (Ver numeral 4.1.4).

Nota C.2: Los requisitos se pueden comprobar empleando una plantilla alargada muescada de acero (Ver Figura 232C - 1), con las dimensiones adecuadas a la configuración de las ruedas de la máquina de pulimento acelerado.

C.3 *Caudal del grano de esmeril y del polvo de esmeril:*

- C.3.1** Al inicio de cada prueba de pulimento, se debe verificar el caudal del grano de esmeril (Ver numeral 9.5) y del polvo de esmeril (Ver numeral 9.6).

Nota C.3: Las medidas indicadas en la Figura 232C - 1 son de carácter ilustrativo. Las medidas reales dependerán del tipo de equipo empleado.

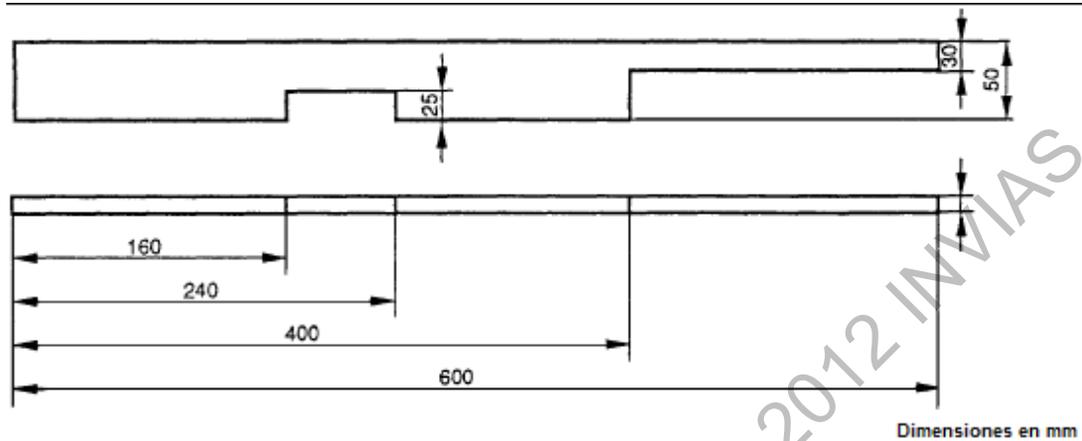


Figura 232C - 1. Plantilla alargada muescada de acero típica

ANEXO D (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN DEL PÉNDULO Y DE LAS ZAPATAS DE FRICCIÓN

D.1 Péndulo de fricción:

D.1.1 Generalidades:

D.1.1.1 El péndulo de fricción se debe calibrar anualmente en un laboratorio de calibración reconocido, de acuerdo con el procedimiento especificado en los apartados D.1.2 a D.1.5.

D.1.2 Masa del brazo del péndulo y de la aguja indicadora:

D.1.2.1 Se desmontan el brazo del péndulo y la aguja indicadora.

D.1.2.2 Se pesa la aguja indicadora y se redondea la lectura al gramo más próximo, Se mide su longitud y se redondea al milímetro más cercano; se comprueba que no esté doblada ni deformada.

D.1.2.3 Se pesa el conjunto completo del brazo del péndulo, redondeando a los 5 g más cercanos.

D.1.3 *Equilibrado del conjunto del brazo del péndulo:*

- D.1.3.1** Se hace oscilar el brazo del péndulo sobre el filo de un chuchillo con la tuerca de adaptación en su posición extrema.
- D.1.3.2** Con la zapata en posición horizontal, se ajusta el contrapeso del borde de arrastre del conjunto hasta que esté equilibrado con respecto al brazo del péndulo.
- D.1.3.3** Se mide la distancia entre el centro de oscilación y el centro de gravedad del brazo del péndulo, redondeando al mm más cercano.

D.1.4 *Ajuste de la tensión del muelle:*

- D.1.4.1** Se desmonta la pequeña placa de retención situada en el asa de elevación de la zapata.
- D.1.4.2** Con la zapata invertida, se suspende una carga equivalente a 22.2 N a partir del eje.
- D.1.4.3** Se ajusta la tensión del muelle hasta que el asa de elevación esté en su posición central. El movimiento completo de la zapata (paralelo al brazo del péndulo) cuando se emplee el asa de elevación deberá ser, al menos, de 6.5 mm.
- D.1.4.4** El cambio de la fuerza estática sobre la zapata se comprueba añadiendo y quitando pesos a la carga aplicada y midiendo la deflexión de la zapata a cada incremento de la carga.

Nota D.1: Se consideran adecuados incrementos de 20 g.

- D.1.4.5** El movimiento completo de la zapata (deflexión) deberá ser, al menos, 11 mm.

D.1.5 *Ajuste del punto de parada de la aguja indicadora:*

- D.1.5.1** Se ajusta el punto de parada de la aguja indicadora, de manera que la línea central de la aguja indicadora sea paralela al brazo del péndulo en posición vertical, con el péndulo de fricción montado y nivelado.

D.2 *Control de las zapatas y del caucho de las zapatas:*

D.2.1 La resiliencia y la dureza del caucho de la zapata se deberán verificar según los criterios especificados en la Tabla 232 - 1. El certificado de conformidad deberá incluir, también, la fecha de fabricación.

Nota D.2: No será necesaria la verificación, si se dispone de certificado del fabricante o proveedor que acredite la conformidad de tales materiales.

Nota D.3: Si fuese necesario verificar la resiliencia del caucho, se debe tener en cuenta que el ensayo por rebote de Lüpke no es adecuado para el ensayo de las placas de caucho. Una alternativa adecuada es el ensayo especificado en la norma Internacional ISO 4662.

D.2.2 Las zapatas y las placas de caucho se deberán guardar en un lugar oscuro a una temperatura de $20 \pm 5^\circ \text{C}$, y se debe anotar la fecha del primer uso de cada zapata.

D.2.3 Antes de cada uso del péndulo de fricción, se debe comprobar el ángulo del plano de la zapata (Ver Figura 232 - 4).

Nota D.4: Una plantilla metálica angular es un medio adecuado para esta comprobación.

D.2.4 Las zapatas no se deben emplear por más de un año desde su primera utilización, salvo si se confirma que siguen cumpliendo los criterios especificados en la Tabla 232 - 1. Se debe descartar toda zapata con los bordes de ataque rayados o redondeados en exceso.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AZUFRE EN LOS AGREGADOS PÉTREOS

INV E – 233 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo brinda un procedimiento para la determinación cuantitativa del azufre presente en los agregados para concretos.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–233–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Una muestra de ensayo se trata con bromo y ácido nítrico para transformar en sulfatos todos los compuestos de azufre presentes en los agregados. Los sulfatos se precipitan y pesan en forma de sulfato de bario. El contenido de azufre se expresa como porcentaje en masa del agregado seco.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 La presencia de compuestos de azufre en los agregados, en forma de sulfatos o de sulfuros, puede dar lugar a compuestos expansivos en las estructuras de concreto, con la consecuente destrucción de la obra, además de producir eflorescencias y depósitos en la superficie.

4 EQUIPO

- 4.1 *Horno* – De ventilación forzada, termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{C}$).
- 4.2 *Mufla* – Capaz de mantener una temperatura constante en el intervalo de 800°C a 1000°C , con una precisión de $\pm 25^\circ \text{C}$.
- 4.3 *Equipo de trituración y molienda* – Trituradora de laboratorio, para reducir los agregados hasta el tamaño deseado para la muestra de ensayo.

- 4.4 *Balanzas* – Una con capacidad de 10 kg y posibilidad de lectura de 1 g; otra con capacidad de 1 kg y legibilidad de 0.01 g, y una analítica, con 100 g de capacidad y lectura hasta de 0.1 mg.
- 4.5 *Placa calefactora* – Con agitador magnético.
- 4.6 *Medidor de pH* – Con escala graduada en 0.1 unidades de pH.
- 4.7 *Vasos de precipitados, matraces Erlenmeyer, embudos, papeles de filtro.*
- 4.8 *Desecador.*
- 4.9 *Tamices* – De 63 mm (2 ½"), 45 mm (1 ¾"), 31.5 mm (1 ¼"), 22.4 mm (7/8") y 125 µm (No. 120).
- 4.10 *Crisol de sílice sinterizada.*
- 4.11 *Varilla agitadora de vidrio con un extremo plano.*
- 4.12 *Baño maría* – Que se pueda regular a $80 \pm 0.1^\circ \text{C}$.
- 4.13 *Equipo para filtrar al vacío.*

5 REACTIVOS

- 5.1 *Bromo.*
- 5.2 *Ácido nítrico concentrado (HNO₃)* – De densidad 1.40 a 1.42 g/cm³.
- 5.3 *Ácido clorhídrico concentrado (HCl)* – De densidad 1.18 a 1.19 g/cm³.
- 5.4 *Indicador rojo de metilo* – Se disuelven 20 mg de rojo de metilo en polvo en 50 ml de etanol y, a continuación, se añaden 50 ml de agua.
- 5.5 *Amoniaco.*
- 5.6 *Solución de cloruro de bario (BaCl₂)* – Se disuelven 100 g de cloruro de bario (BaCl₂·2H₂O) en 1 litro de agua. Antes de usar la disolución, se filtra a través de un papel de filtro de textura media.
- 5.7 *Agua destilada.*

6 MUESTRAS

- 6.1** El muestreo del agregado se debe ejecutar de acuerdo con la norma INV E-201. La muestra deberá ser representativa, tanto en el contenido de humedad como en el de sólidos. Las muestras de agregado se deberán reducir de acuerdo con la norma INV E-202, para obtener una sub-muestra del tamaño mínimo indicado en la Tabla 233 - 1, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla 233 - 1. Masa mínima de las sub-muestras

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO mm	MASA MÍNIMA DE LAS SUB- MUESTRAS kg
63 (2 ½")	50
45 (1 ¾")	35
31.5 (1 ¼")	15
22.4 (7/8") o menos	5

- 6.2** Se seca la sub-muestra a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{C}$) hasta obtener masa constante y se deja enfriar. No se debe usar una temperatura superior, para evitar la oxidación de los sulfuros.
- 6.3** La sub-muestra se debe moler y reducir por etapas, hasta obtener una masa de, aproximadamente, 20 g que pasen por el tamiz patrón de $125 \mu\text{m}$ (No. 120). Se toma, aproximadamente, 1 g de este material como muestra de ensayo.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se pesa la muestra de ensayo con una exactitud de 0.1 mg, se anota su masa, m_1 , y se introduce en un matraz Erlenmeyer de boca ancha provisto de un embudo de vástago corto, trabajando en un ambiente libre de corrientes de aire. Se añaden al matraz 3 ml de agua destilada y 1 ml de bromo y se agita durante 1 min para evitar la formación de grumos.
- 7.2** A continuación se añaden, a través del embudo, 15 ml de ácido nítrico concentrado exento de sulfuros. Se deja la mezcla en un baño maría durante 1 h, rompiendo periódicamente el gel con una varilla de vidrio con un extremo aplanado, dejando la varilla dentro del matraz para este fin.

- 7.3** Se agregan 30 ml de agua y se hierve la mezcla moderadamente, sobre una placa calefactora, hasta que cese el desprendimiento de vapores densos de color pardo.
- 7.4** Se añaden 5 ml de ácido clorhídrico concentrado y 10 ml de agua. Se reduce nuevamente por ebullición a un volumen pequeño. Se repite la adición y se reduce nuevamente por ebullición a un volumen pequeño.
- 7.5** Se transfiere el contenido del matraz a un vaso de precipitados de 250 ml y se lava el matraz hasta que el volumen total en el vaso de precipitados sea, aproximadamente, de 100 ml.
- 7.6** Se añade un poco de pulpa de papel de filtro, se calienta casi hasta la ebullición y se alcaliniza la disolución añadiendo amoníaco. La alcalinidad se controla utilizando el indicador rojo de metilo o un medidor de pH.
- 7.7** Se hierve suavemente durante 30 min, se filtra a vacío moderado utilizando un papel de filtro de textura media y se lava una vez con un poco de agua hirviendo, guardando los filtrados.
- 7.8** Se transfiere el papel de filtro a un vaso de precipitados y se redisuelve con 5 ml de ácido clorhídrico concentrado, a los cuales se les han añadido 70 ml de agua hirviendo.
- 7.9** Se repiten las operaciones anteriores (hervir, precipitar, filtrar y lavar) desechando el precipitado.
- 7.10** Se acidifican los filtrados y las aguas de lavado reunidas (que deberían ser, en total, unos 200 ml) con la adición de 1 ml de ácido clorhídrico concentrado. Se lleva a ebullición y se mantiene durante 5 min. Mientras está en ebullición, se agita vigorosamente la disolución manteniéndola casi a ebullición. Se añaden, gota a gota, 10 ml de la disolución de cloruro de bario calentada hasta una temperatura ligeramente inferior al punto de ebullición.
- 7.11** Se deja reposar, se filtra y se calcina el precipitado de sulfato de bario, colocando el papel de filtro con su contenido en un crisol de sílice sinterizada previamente tarado. Se lleva el conjunto a la mufla a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ durante unos 30 minutos, después de los cuales se eleva gradualmente la temperatura hasta $925 \pm 25^\circ \text{C}$, por lo menos durante 1 hora.

7.12 Se retira el crisol de la mufla, se deja enfriar en un desecador y luego se pesa con exactitud de 0.1 mg. Se calcula la masa del precipitado, m_2 , descontando la masa del crisol.

8 CÁLCULOS

8.1 Se calcula el contenido de azufre del agregado (S), en % en masa y redondeado a 0.1 %, con la expresión:

$$S = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad [233.1]$$

Donde: m_1 : Masa de la muestra de ensayo, g;

m_2 : Masa del precipitado, g

9 INFORME

9.1 El informe debe contener lo siguiente:

9.1.1 Descripción de la muestra de ensayo (tipo de agregado, procedencia, tamaño máximo).

9.1.2 Contenido de azufre del agregado.

10 NORMAS DE REFERENCIA

UNE-EN 1744-1 Parte 1: Capítulo 11

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD POTENCIAL ÁLCALI-SÍLICE DE AGREGADOS (Método químico)

INV E – 234 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma tiene por objeto determinar la reactividad de los agregados con los álcalis del cemento portland utilizados en la fabricación de concreto hidráulico, y se basa en la cantidad de solución de hidróxido de sodio 1N que reacciona con el agregado finamente molido pasante del tamiz de 300 μm (No. 50) y retenido en el tamiz de 150 μm (No. 100), durante 24 horas a una temperatura de 80° C.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–234–07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Cuando se utilice este método para evaluar la reactividad potencial de los componentes síliceos de los agregados con los álcalis en un concreto hidráulico, se debe usar en conjunto con otros métodos de evaluación. Los resultados de los ensayos realizados de acuerdo con este método no se deben aplicar como método único para la aceptación o el rechazo de fuentes de materiales en relación con la reacción sílice – álcalis (RSA).
- 2.2** Las reacciones entre la solución de hidróxido de sodio y los componentes síliceos de los agregados, correlacionan con el desempeño de algunos agregados en estructuras de concreto. Los resultados de este ensayo se obtienen rápidamente y, aunque no son totalmente confiables en todos los casos, proporcionan datos de utilidad.
- 2.3** Este método de ensayo se puede emplear como una herramienta de control de calidad para la verificación periódica de muestras de una fuente existente con una trayectoria de servicio aceptable.

3 EQUIPO

- 3.1** *Balanza* – Se debe disponer de una que permita pesar una carga de 2000 g con precisión de ± 2 g y otra analítica cuya sensibilidad sea de ± 0.0005 g, que se usará para determinar la masa de la disolución de sílice por el método gravimétrico, de conformidad con los requerimientos prescritos en el método de la norma ASTM C-114.
- 3.2** *Equipo de trituración y molienda* – Trituradora pequeña de mandíbulas y un disco de pulverización o cualquier otro equipo que permita producir un material que pase el tamiz de 300 μm (No. 50).
- 3.3** *Tamices* – Dos tamices, uno de 300 μm (No. 50) y otro de 150 μm (No. 100), de orificios cuadrados y tejido de alambre.
- 3.4** *Recipientes de reacción* – De 50 o 75 ml de capacidad, fabricados en acero inoxidable o u otro material que resista la corrosión y provistos de tapa hermética. La Figura 234 - 1 muestra un tipo de recipiente aceptable. Recipientes hechos de polietileno pueden ser convenientes para este propósito. La conveniencia de uso se demuestra por un cambio de menos de 10 mmol/litro en la alcalinidad de la solución de hidróxido de sodio (Ver numeral 7.4), cuando se usa sola como blanco en el recipiente en cuestión.
- 3.5** *Baño de temperatura constante* – Un baño líquido capaz de mantener una temperatura de $80 \pm 1^\circ \text{C}$ por 24 horas.
- 3.6** *Espectrofotómetro o Fotómetro* – Un espectrofotómetro o fotómetro fotoeléctrico capaz de medir la transmisión de luz a una longitud de onda constante de, aproximadamente, 410 nm.
- 3.7** *Cristalería* – Recipientes e implementos de vidrio requeridos y seleccionados de forma cuidadosa, para cumplir los requerimientos particulares de cada operación. Los frascos volumétricos, las buretas y las pipetas deben ser de grado de precisión.

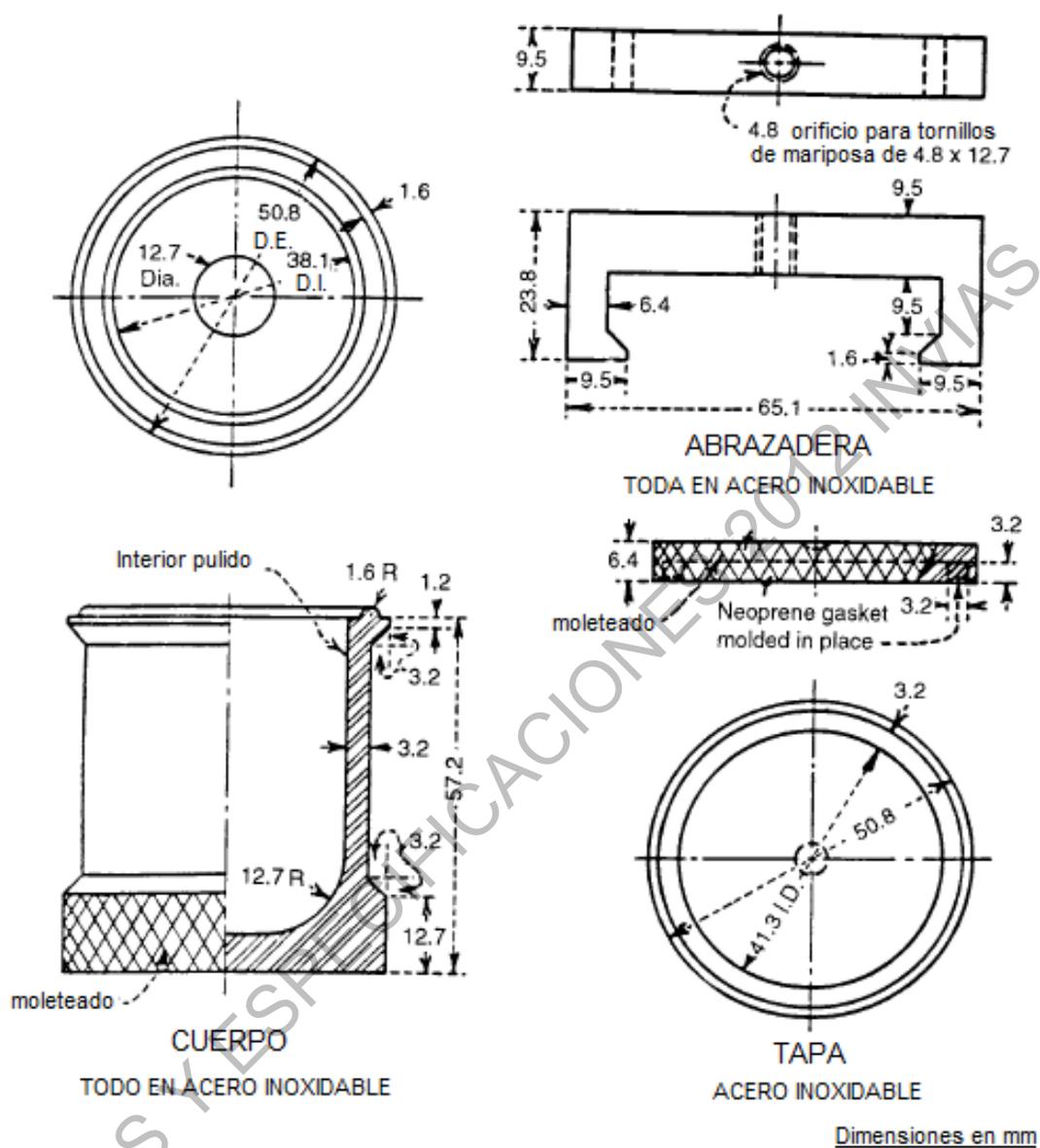


Figura 234 - 1. Recipiente de reacción

4 REACTIVOS

- 4.1 Pureza de los reactivos** – Se deben usar productos químicos de grado reactivo en todos los ensayos. El uso de reactivos de otro tipo es posible, si se demuestra que poseen la suficiente pureza para ser usados sin disminuir la exactitud de las determinaciones.

- 4.2 Pureza del agua** – A menos que se especifique otra cosa, se debe entender que cualquier referencia al agua significa agua reactiva conforme con el tipo IV de la norma ASTM D 1193.
- 4.3 Solución de molibdato de amonio** – Se disuelven 10 gr de molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) en 100 ml de agua. Si esta solución no es cristalina, se filtra a través de un papel de textura fina. La solución se debe almacenar en un recipiente de polietileno (nota 1).
- Nota 1: En la selección del recipiente, se debe tener especial cuidado para que el reactivo no se modifique por reacción con el material con el cual está fabricado el recipiente, incluyendo pigmentos u otros aditivos, o por transpiración de las fases a través de las paredes del recipiente. Resultan apropiados los recipientes con espesores de pared no menores a 0.51 mm, fabricados con polietileno de alta densidad, que reúnan los requerimientos de la especificación ASTM D 1248, para materiales de tipo III, clase A.*
- 4.4 Ácido clorhídrico (1.19 kg/litro)** – Ácido clorhídrico concentrado (HCl). La solución se almacena en un recipiente de vidrio o de plástico resistente al ataque químico (nota 1).
- 4.5 Solución patrón de ácido clorhídrico (0.05N)** – Se prepara 0.05N HCl y se normaliza a $\pm 0.0001\text{N}$. La solución se almacena en un recipiente de vidrio o de plástico resistente al ataque químico (nota 1).
- 4.6 Ácido clorhídrico (1 + 1)** – Se mezclan volúmenes iguales de HCl concentrado (1.19 kg/litro) y agua. La solución se almacena en un recipiente de vidrio o de plástico resistente al ataque químico (nota 1).
- 4.7 Ácido fluorhídrico (aproximadamente 50% HF)** – Ácido fluorhídrico concentrado. La solución se deposita en una botella de polietileno (nota 1).
- 4.7.1 Precaución** – Antes de usar HF, se deben revisar: (1) las precauciones de seguridad para el uso del HF, (2) primeros auxilios para quemaduras y (3) respuesta de emergencia por derrames, como se describe en la hoja de información sobre seguridad para el manejo del material o en la literatura que exista al respecto. El HF puede causar severas quemaduras y heridas si no se protegen la piel y los ojos. El personal de laboratorio que manipule este reactivo se debe proteger con el equipo adecuado en todo momento. Dentro del equipo de seguridad se deben incluir, entre otros: una careta de protección para el rostro; un delantal sintético o de caucho y guantes impermeables a la acción del HF, los cuales deben ser revisados periódicamente para verificar que no tengan agujeros o picaduras.

- 4.8** *Solución de ácido oxálico* – Se disuelven 10 gr de ácido oxálico dihidratado en 100 ml de agua. La solución se almacena en un recipiente de vidrio o plástico resistente al ataque químico (nota 1).
- 4.9** *Solución indicadora de fenolftaleína* – Se disuelve 1 gr de fenolftaleína en 100 ml de etanol (1+1). La solución se almacena en un recipiente de vidrio o plástico resistente al ataque químico (nota 1).
- 4.10** *Solución patrón de sílice* – Se prepara una solución patrón de sílice que contiene, aproximadamente, 10 mmol de sílice (SiO_2)/litro, disolviendo metasilicato de sodio en agua. La solución se almacena en una botella de polietileno. Se usa una alícuota de 100 ml de solución para determinar su contenido de SiO_2 según el procedimiento descrito en el numeral 7.2. No se debe usar una solución patrón de sílice que contenga más de un año de preparada, ya que da lugar a lecturas fotométricas falsas.
- 4.11** *Solución patrón de hidróxido de sodio ($1.000 \pm 0.010N$)* – Se prepara una solución de hidróxido de sodio (NaOH) concentrado $1.000 \pm 0.010N$, y se normaliza a $\pm 0.001N$. La solución se deposita en una botella de polietileno (nota 1). El reactivo seco y la solución se deben proteger de contaminación por dióxido de carbono.
- 4.12** *Ácido sulfúrico (gravedad específica = 1.84)* – Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). La solución se deposita en un recipiente de vidrio resistente al ataque químico (nota 1).

5 SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

- 5.1** El ensayo se puede aplicar a cualquier tipo de agregado fino o grueso y, cuando los agregados fino y grueso procedan de un mismo material, se puede usar para el agregado total.
- 5.2** La muestra de agregado se debe obtener de acuerdo con la norma INV E–201. El tamaño deberá ser el indicado en la Tabla 201 - 1 de dicha norma.
- 5.2.1** Si la muestra tiene un tamaño máximo nominal menor de 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ "), se divide en dos, siguiendo la norma INV E–202. Una mitad se tritura como se indica en el numeral 5.2.3, mientras la otra se conserva para un ensayo posterior, si se desea.

- 5.2.2** Si la muestra tiene un tamaño máximo nominal igual o mayor de 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ "), se mezcla y cuartea según la norma INV E-202. Se tritura un cuarto como se indica en el numeral 5.2.3, mientras los otros tres cuartos se conservan para ensayos posteriores, si se desea.
- 5.2.3** Se tritura la mezcla en la trituradora de mandíbulas de laboratorio, usando pequeñas porciones cada vez y reteniendo todas las fracciones producidas, hasta que la muestra pase en su totalidad el tamiz de 4.75 mm (No. 4). La muestra triturada se reduce a una masa de 300 ± 5 g, cuarteando como se indica en la norma INV E-202.
- 5.3** Se tamiza la muestra de 300 g, descartando todo el material que pase el tamiz de 150 μ m (No. 100). Se tritura o muele en porciones reducidas el material retenido usando un disco pulverizador, un molino giratorio o un mortero con maja de caucho. Para minimizar la producción de material que pase el tamiz de 150 μ m (No. 100), se toman varias porciones ya pasadas a través del equipo, y se les remueve el pasante del tamiz de 300 μ m (No. 50) antes de volverlas a moler. Si la cantidad de material retenido en el tamiz de 150 μ m (No. 100) es menor de 100 g luego de pulverizar los 300 g de la muestra, se deberá descartar la muestra y pulverizar una nueva de 300 g (nota 2).
- Nota 2: Una muestra sobre-pulverizada puede producir resultados químicos incorrectos. Una muestra adecuadamente pulverizada deberá tener entre 110 y 150 g de material retenido en el tamiz de 150 μ m (No. 100) luego del lavado.*
- 5.4** Con el fin de asegurarse que se ha eliminado el material fino que pasa por el tamiz de 150 μ m (No. 100), se lava la muestra sobre dicho tamiz. No se debe realizar este lavado empleando, de una sola vez, una cantidad de material superior a 100 gramos sobre un tamiz de 203 mm (8") de diámetro. La muestra lavada se seca en el horno a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 20 ± 4 h. Se permite que la muestra se enfríe a temperatura ambiente y se vuelve a pasar por el tamiz de 150 μ m (No. 100). Si la inspección de la muestra indica la presencia de sedimentos o recubrimientos de arcilla o limo en las partículas, se debe repetir el procedimiento de lavado y secado, y se tamiza como antes, sobre el tamiz de 150 μ m (No. 100). Se reserva para el ensayo la porción retenida en el tamiz de 150 μ m (No. 100).

6 PROCEDIMIENTO DE REACCIÓN

- 6.1** Se pesan tres porciones de 25 ± 0.05 gramos de la muestra seca comprendida entre los tamices de 150 μ m (No. 100) y 300 μ m (No. 50), preparada de acuerdo con la Sección 5. Se colocan las porciones en tres recipientes de

reacción y se añaden a cada porción, por medio de una pipeta, 25 cm³ de solución de NaOH 1.000 N. En un cuarto recipiente se ponen con la pipeta 25 cm³ de la misma solución de NaOH, para un ensayo en blanco. Se cierran perfectamente los cuatro recipientes de reacción y se agitan con suavidad para desprender las burbujas de aire que pueden haber quedado atrapadas.

- 6.2** Inmediatamente después de sellados, los recipientes de reacción se colocan en un baño líquido a $80 \pm 1^\circ \text{C}$. Pasadas $24 \pm \frac{1}{4} \text{h}$, se sacan del baño y se enfrían, por debajo de 30°C , con agua corriente durante 15 ± 2 minutos.
- 6.3** Después de enfriados, los recipientes de reacción se abren y se filtra la solución del residuo de agregado, para lo cual se utiliza un crisol Gooch (nota 3) con un disco de papel de filtro. Se coloca el crisol sobre un soporte de caucho en un embudo. Se coloca un tubo de ensayo seco de 35 a 50 ml dentro de un matraz para recoger el líquido filtrado y se asienta el embudo en el cuello del matraz. Mediante vacío, se decanta sobre el papel de filtro una pequeña cantidad de solución, de manera que se asiente apropiadamente en el crisol. Sin mezclar el contenido del recipiente de reacción, se decanta el líquido restante en el crisol. Cuando se complete la decantación del líquido, se interrumpe la acción del vacío y se pasan al crisol los sólidos que permanezcan en el recipiente, con ayuda de una espátula de acero inoxidable. Se vuelve a aplicar el vacío, ajustándolo a 51 kPa, aproximadamente. Se continúa el proceso de filtración hasta que una filtración adicional produce líquido filtrado a razón de una gota cada diez segundos. Se reserva el líquido filtrado para ensayos adicionales. Se anota el tiempo de aplicación de vacío como el tiempo de filtración. Se debe procurar que el tiempo de filtración de todo el juego de muestras sea el mismo, uniformizando el procedimiento en el ensamble de los aparatos de filtración y en la transferencia de los sólidos al crisol.

Nota 3: Los crisoles Gooch Coors No.4, o equivalentes, son satisfactorios para este propósito.

- 6.4** El líquido del ensayo en blanco se filtra de manera análoga a la indicada antes, ajustando el vacío de forma que el proceso dure un tiempo igual a la media de los tiempos de filtración de las tres muestras consideradas.
- 6.5** Una vez completada la filtración, se agita el filtrado para asegurar su homogeneidad y luego se toma con una pipeta una alícuota de 10 ml de filtrado y se diluye en un matraz con 200 ml de agua. Se reserva esta solución diluida para determinar el SiO₂ disuelto y la reducción en la alcalinidad.

- 6.6 Si el filtrado diluido no se analiza dentro de las 4 horas posteriores a la terminación de la filtración, la solución se transfiere a un recipiente limpio y seco de polietileno, el cual se sella con un tapón o una tapa con buen ajuste.

7 ANÁLISIS DEL LÍQUIDO FILTRADO

- 7.1 Se mide la sílice disuelta por un procedimiento gravimétrico (numeral 7.2) o uno fotométrico (numeral 7.3). Se mide, también, la reducción de alcalinidad (numeral 7.4).

- 7.2 Método gravimétrico para determinar la sílice disuelta

7.2.1 Procedimiento:

7.2.1.1 Empleando la pipeta, se transfieren 100 ml de la solución diluida y se ponen en una cápsula de evaporación, de ser posible de platino, con el fin que la evaporación sea más rápida. Se añaden de 5 a 10 ml de HCl concentrado (1.19 kg/litro) y se evapora hasta sequedad en baño de vapor. Sin volver a calentar el residuo, se trata con 5 a 10 ml de HCl concentrado (1.19 kg/litro) y una cantidad igual de agua o, de una vez, con 10 a 20 ml de HCl (1+1) sobre el residuo. Se cubre la cápsula y se somete la solución a digestión sobre el baño de vapor o sobre una placa calefactora durante diez minutos. Se diluye la solución con un volumen igual de agua caliente; se filtra inmediatamente a través de un papel de filtro de bajo contenido de ceniza, se lava totalmente la sílice separada (SiO_2) con agua hirviendo y se reserva el residuo (nota 4).

Nota 4: El lavado del precipitado de SiO_2 se puede realizar de forma más efectiva usando HCl caliente (1 + 99) y completando mediante lavado con agua caliente.

7.2.1.2 El líquido filtrado se evapora de nuevo hasta sequedad, colocando el residuo en un horno durante una hora a una temperatura entre 105 y 110° C. Se trata el residuo con 10 a 15 ml de HCl (1+1) y se calienta en el baño o en la placa calefactora. Se diluye la solución con una cantidad igual de agua caliente y se coge y lava sobre otro papel de filtro la pequeña cantidad de SiO_2 que contiene. Esta segunda evaporación es necesaria, únicamente, cuando se está determinando la concentración de la solución patrón de

metasilicato de sodio (numeral 4.10). Para las otras soluciones de ensayo, esto se puede obviar.

7.2.1.3 Se pasan a un crisol de platino (nota 5) los papeles de filtro que contienen el residuo (numerales 7.2.1.1 y 7.2.1.2). Los papeles se secan y se queman, primero a baja temperatura hasta que se consume el carbón del papel de filtro sin inflamación y, finalmente, se calcinan a una temperatura entre 1100 y 1200° C hasta masa constante.

Nota 5: Se debe determinar la masa del crisol vacío, si se desea conocer la magnitud de impurezas en el residuo de SiO₂.

7.2.1.4 El residuo de SiO₂ así obtenido (el cual puede contener una pequeña cantidad de impurezas) en el crisol de platino, se trata con unas pocas gotas de agua, con 10 ml de ácido fluorhídrico (HF) y una gota de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) y se evapora cuidadosamente hasta la sequedad en un baño de vapor. Finalmente, se calcina el residuo durante 1 a 2 minutos en una mufla a temperatura comprendida entre 1050 y 1100° C, se enfría y se determina su masa. La diferencia entre esta determinación y la obtenida previamente, da la masa de la sílice (SiO₂).

7.2.2 Cálculos:

7.2.2.1 Se calcula la concentración de SiO₂ de la solución de NaOH filtrada del agregado mineral, con la expresión:

$$S_c = 3330 \times W \quad [234.1]$$

Donde: S_c: Concentración de SiO₂, en mmol/litro en el líquido filtrado original;

W: Gramos de SiO₂ hallada en 100 ml de la solución diluida.

7.3 Método fotométrico para determinar la sílice disuelta

7.3.1 Aplicación – Este método se aplica para determinar la sílice cristaloidal (no coloidal) (nota 6), en todas las soluciones acuosas, excepto aquellas que presentan interferencias de color excesivas (tanino, etc.), pero no

determinará la sílice total. Este método se aplica particularmente para un análisis de control rápido de la sílice cristaloidal por debajo de 10 ppm.

Nota 6: La sílice cristaloidal (no-coloidal) reacciona con iones de molibdato en solución ácida (pH óptimo de 1.2 a 1.5) para producir un color complejo amarillo verdoso de silicomolibdato, cuya intensidad es aproximadamente proporcional a la concentración de sílice en la solución, pero que no sigue perfectamente la ley de Beer.

7.3.2 Preparación de la curva de calibración:

7.3.2.1 Se prepara una serie de soluciones de concentración conocida de sílice con variaciones desde 0.0 a 0.5 mmol/litro, por dilución de porciones de la solución patrón de silicato de sodio (numeral 4.10). Se transfieren las porciones de solución a frascos volumétricos de 100 ml, llenos con agua hasta la mitad.

7.3.2.2 Se adicionan 2 ml de solución de molibdato de amonio y 1 ml de HCl (1+1), y se agita revolviendo el contenido del frasco. Se deja en reposo por 15 minutos a temperatura ambiente. Se adicionan 1.5 ± 0.2 ml de la solución de ácido oxálico, se llena el frasco hasta la marca con agua y se mezcla completamente. Se deja la solución en reposo por 5.0 ± 0.1 min. Se lee la transmitancia de las diversas soluciones en el fotómetro a 410 nm, y se compara con la del agua.

7.3.2.3 Se elabora una curva de calibración dibujando las lecturas de porcentaje de transmitancia o absorbancia versus las concentraciones conocidas de sílice en cada solución.

7.3.3 Determinación de la sílice disuelta:

7.3.3.1 Se transfiere con una pipeta una alícuota de 10 ml de la solución diluida (numeral 6.5) a un frasco volumétrico de 100 ml lleno hasta la mitad con agua y se procede como se indica en los numerales 7.3.2.2 y 7.3.2.3. Se lee la concentración de sílice soluble directamente en la curva de calibración preparada previamente, correlacionando la transmisión de luz de esta longitud de onda con la concentración de sílice. Si la transmitancia está por debajo 30 % o por encima del 50 %, se deberá usar, respectivamente, una menor o una mayor cantidad de solución diluida.

7.3.4 Cálculos:

7.3.4.1 Se calcula la concentración de SiO₂ de la solución de NaOH filtrada del agregado mineral, con la expresión:

$$S_c = 20 \times \left[\frac{100}{V} \right] \times C \quad [234.2]$$

Donde: S_c: Concentración de SiO₂, en mmol/litro en el líquido filtrado original;

C: Concentración de sílice en la solución medida a través del fotómetro, mmol/litro;

V: Mililitros usados de la solución diluida, mencionada en el numeral 6.5.

7.4 Reducción en la alcalinidad**7.4.1 Procedimiento:**

7.4.1.1 Se transfiere con una pipeta una alícuota de 20 ml de solución diluida (numeral 6.5) a un matraz Erlenmeyer de 125 ml de capacidad. Se añaden dos o tres gotas de solución de fenolftaleína y se titula con HCl 0.05N hasta el punto final de fenolftaleína (desaparición total del color rosa de la fenolftaleína). Se anota la cantidad total de ácido clorhídrico consumido en la valoración.

7.4.2 Cálculos:

7.4.2.1 Se calcula la reducción en alcalinidad, con la expresión:

$$R_c = \left[\frac{20N}{V_1} \right] \times (V_3 - V_2) \times 1000 \quad [234.3]$$

Donde: R_c: Reducción en la alcalinidad, mmol/litro;

- V_1 : Mililitros usados de la solución diluida, mencionada en el numeral 6.5;
- V_2 : Mililitros de HCl utilizados para alcanzar el punto final en la fenolftaleína en la muestra de ensayo;
- V_3 : Mililitros de HCl utilizados para alcanzar el punto final en la fenolftaleína en el ensayo en blanco;
- N: Normalidad del HCl utilizado en la titulación.

8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** *Precisión* – La información referente a la precisión de este método está siendo investigada y su publicación se hará cuando los datos obtenidos se hayan analizado de conformidad con la norma ASTM C 670.
- 8.2** De acuerdo con datos preliminares sobre precisión, los resultados del ensayo se consideran satisfactorios si ninguno de los tres valores de R_c (y o de S_c) difieren del promedio de los tres en más de las siguientes cantidades: (1) 12 mmol/litro cuando el promedio es de 100 mmol/litro o menor; y (2) 12 %, cuando el promedio es mayor de 100 mmol/ litro.
- 8.3** *Sesgo* – Hasta el momento no existe un material de referencia aceptable adecuado para determinar el sesgo de este método de ensayo. Por lo tanto, no hay declaración sobre el tema.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 289 – 07

ANEXO A (Informativo)

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

- A.1** Se han realizado gran cantidad de correlaciones entre los datos obtenidos por este método y: (1) la expansión en barras de mortero que contienen cemento con alto contenido de álcalis, (2) el examen petrográfico de los agregados, y (3) el comportamiento de los agregados en las estructuras de concreto hidráulico. Con base en estos datos, se ha establecido la curva continua que se muestra en la Figura 234A - 1. Se indica un grado potencial perjudicial de la reactividad alcalina, si uno de los tres puntos, R_c , S_c , cae a la derecha de la curva de la Figura 234 - 1, donde los agregados son deletéreos. Sin embargo, los agregados potencialmente deletéreos representados por puntos ubicados por encima de la línea a trazos de la Figura 234 - 1, pueden dar lugar a expansiones relativamente bajas en morteros, aunque ellos sean extremadamente reactivos con los álcalis. De estos agregados se puede decir que presentan un grado potencialmente deletéreo, mientras no se demuestre su carácter inocuo, sea por informes sobre su buen comportamiento en servicio, sea por los resultados de los ensayos complementarios aplicables, entre los descritos en las normas ASTM C 227, C 1260 y C 1293.
- A.2** Los resultados de este ensayo pueden ser dudosos sobre agregados que contengan carbonato de calcio, magnesio o hierro ferroso como calcita, dolomita, magnesita o siderita; o silicatos de magnesio como la antigorita (serpentina). El error introducido por la presencia de carbonato de calcio no es significativo, a menos que los valores de S_c y R_c indiquen un potencial marginal de reactividad. Se puede emplear la norma ASTM C 295 para examinar agregados con presencia de minerales de este tipo.
- A.3** Se recomienda que las interpretaciones basadas en este método se correlacionen con la guía de la ASTM C295 y con los informes de comportamiento en servicio del agregado. Los resultados de este ensayo no predicen la reactividad sílice – silicatos que puede ocurrir a largo plazo en un concreto fabricado con agregados que contengan cuarzo deformado o microgranulado, o con agregados compuestos por metagrauvaca, metalimolita, metacuarzo o rocas similares.

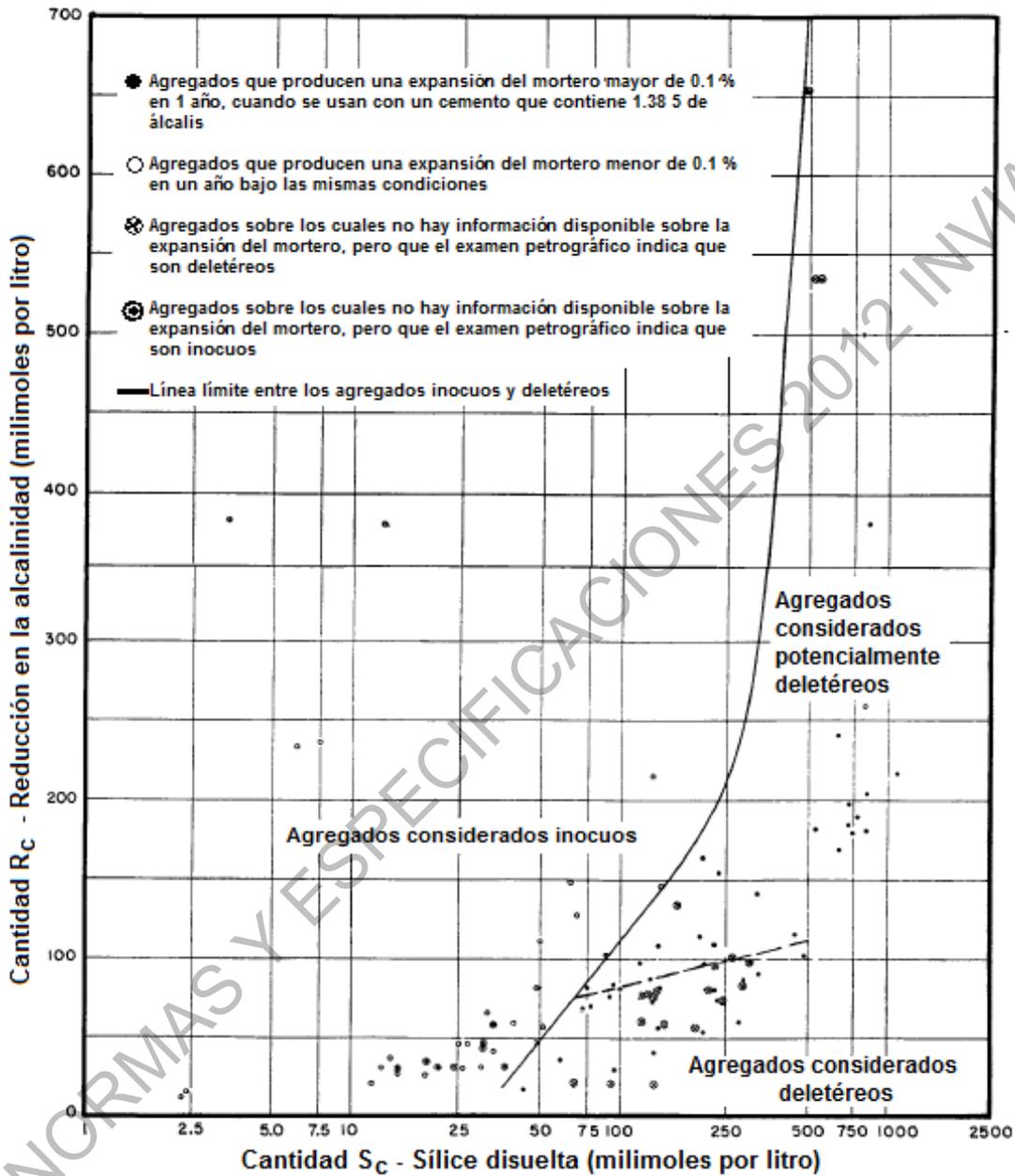


Figura 234A - 1. Ilustración de la división entre agregados inocuos y deletéreos, con base en el ensayo de reducción en la alcalinidad

VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS

INV E – 235 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma indica el procedimiento para determinar el valor de azul de metileno de la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) de la mezcla total de agregados.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–235–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El ensayo consiste en añadir de manera sucesiva pequeñas dosis de una solución de azul de metileno a una suspensión de la muestra de ensayo en agua. Después de cada dosis se comprueba la absorción de solución colorante por parte la muestra, realizando una prueba de coloración sobre papel de filtro para detectar la presencia de colorante libre.
- 2.2** Una vez confirmada la presencia de colorante libre, se calcula el valor de azul de metileno, expresado en gramos de colorante absorbido por kilogramo de la fracción granulométrica ensayada.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El valor de azul de metileno determinado mediante esta norma se puede emplear para estimar la cantidad de arcilla nociva presente en un agregado. Un valor de azul significativo indica una gran cantidad de arcilla presente en la muestra.

4 EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1** *Bureta* – Con una capacidad de, por lo menos, 50 ml con graduaciones de 0.1 ml.
- 4.2** *Papel de Filtro Whatman No.20.*

- 4.3** *Varilla de vidrio* – De aproximadamente 250 mm (10") de largo y 8 mm (0.3") de diámetro.
- 4.4** *Agitador de paletas* – Con velocidad de rotación variable y regulable hasta 600 ± 60 rpm con tres o cuatro paletas agitadoras de 75 ± 10 mm de diámetro.
- Nota 1: Se pueden emplear otros tipos de agitadores, si se demuestra que los resultados obtenidos con ellos son equivalentes a los que se obtienen utilizando el agitador de paletas.*
- 4.5** *Balanza* – De 500 g de capacidad, con una precisión de ± 0.1 % de la masa de la muestra de ensayo.
- 4.6** *Cronómetro* – Con una precisión de 1 segundo.
- 4.7** *Tamiz de ensayo* – Con aberturas de 4.75 mm (No. 4).
- 4.8** *Tres vasos de precipitados* – De vidrio o de plástico, con una capacidad aproximada de 1 litro.
- 4.9** *Matraz volumétrico* – Con capacidad de 1 litro.
- 4.10** *Horno* – Con ventilación forzada, termostáticamente controlado, capaz de mantener la temperatura a 110 ± 5° C (230 ± 9° F).
- 4.11** *Agua destilada o desmineralizada.*
- 4.12** *Solución colorante de azul de metileno* – De calidad estándar o técnica de 10.0 ± 0.1 g/l. Tras su preparación, la solución se deberá conservar protegida de la luz y emplear antes de 28 días.
- 4.13** *Caolinita* – Con un valor de azul de metileno conocido (VA_k). Se recomienda el empleo de caolinita con un valor de azul comprendido entre 1 y 2 g por cada 100 g de caolinita, para evitar un empleo excesivo de colorante.
- 4.14** *Espátula y escobilla.*
- 4.15** *Desecador.*

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 5.1** Las muestras de agregado se deberán reducir de acuerdo con la norma INV E-202 para obtener una sub-muestra que contenga, como mínimo, 200 g de la fracción granulométrica que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- 5.2** Se seca la sub-muestra a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta obtener masa constante y se deja enfriar.
- 5.3** Se tamiza la sub-muestra seca por el tamiz de 4.75 mm (No. 4), empleando un protector de tamiz si fuese necesario. Se debe utilizar una escobilla para tamiz con el fin de asegurar la completa separación y recolección de las partículas que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- 5.4** Se rechazan las partículas retenidas sobre este tamiz y, en caso necesario, se reduce la fracción que haya pasado a través de él, de manera de obtener una muestra de ensayo con una masa mínima de 200 g. La masa de la muestra de ensayo deberá ser igual o mayor de 200 g, sin que sea necesario que presente un valor exacto predeterminado.
- 5.5** Se pesa la muestra de ensayo y se anota su masa, M_1 , redondeada al gramo más próximo.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Descripción del ensayo de coloración:

- 6.1.1** Después de cada adición de colorante, el ensayo de coloración consiste en tomar una gota de la suspensión con una varilla de vidrio y depositarla sobre un papel de filtro. La mancha que se forme estará constituida por un depósito de sustancia situado en el centro, generalmente de color azul continuo, rodeado de una zona húmeda incolora. El tamaño de la gota deberá ser suficiente para que diámetro del depósito que se forme esté comprendido entre 8 mm (0.3") y 12 mm (0.5").
- 6.1.2** El resultado del ensayo se considerará positivo cuando se forme una aureola anular de color azul claro persistente de aproximadamente 1 mm (0.04") en la zona húmeda alrededor del depósito central (Figura 235 - 1).



Figura 235 - 1. Resultados negativo y positivo en el ensayo de coloración

Nota 2: A medida que se vaya alcanzando el punto final, la aureola que se forme podría desaparecer debido al tiempo necesario para que los minerales arcillosos puedan completar la absorción del colorante. Por ello, se debe confirmar el punto final repitiendo el ensayo de coloración a intervalos de 1 minuto, durante 5 minutos, sin añadir más solución colorante.

6.2 Preparación de la suspensión:

- 6.2.1** Se vierten 500 ± 5 ml de agua destilada o desmineralizada en un vaso de precipitados y se añade la muestra de ensayo seca removiendo bien con la espátula.
- 6.2.2** Se agita el recipiente que contiene la solución colorante y se llena la bureta con ella. Enseguida, se guarda la solución sobrante en un sitio oscuro.
- 6.2.3** Se ajusta el agitador a una velocidad de 600 rpm y se colocan las paletas a unos 10 mm por encima del fondo del vaso de precipitados.
- 6.2.4** Se ponen en marcha el agitador y el cronómetro, agitando el contenido del vaso de precipitados durante 5 minutos y, después (Ver numeral 6.3), se continúa agitando a 400 ± 40 rpm hasta la terminación del ensayo.
- 6.2.5** Si la muestra de ensayo no contiene suficientes finos para formar la aureola, se debe añadir caolinita junto con una dosis de solución colorante, del siguiente modo:
- 6.2.5.1** Se vierten en el vaso de precipitados 30.0 ± 0.1 g de caolinita secada previamente a $110 \pm 5^\circ$ C hasta masa constante.
- 6.2.5.2** Se añaden V' ml de solución colorante al vaso de precipitados, donde $V' = 30 V_{A_K}$, es el volumen de solución colorante que absorben 30 g de caolinita.

6.3 Determinación de la cantidad de colorante absorbido:

- 6.3.1** Se coloca el papel filtro en la parte superior de un vaso de precipitados vacío o sobre otro soporte adecuado, de manera que su superficie no quede en contacto con sólido o líquido alguno.
- 6.3.2** Después de agitar la muestra de ensayo durante 5 minutos a 600 ± 60 rpm, se añade una dosis de 5 ml de solución colorante en el vaso de precipitados. Se agita a 400 ± 40 rpm durante 1 minuto como mínimo y, a continuación, se realiza un ensayo de coloración (Véase numeral 6.1) sobre el papel de filtro. Si la aureola no aparece tras esta primera adición de 5 ml de solución colorante, se añaden otros 5 ml de ella, agitando durante 1 minuto y realizando a continuación otro ensayo de coloración. Si la aureola sigue sin aparecer, se continúa agitando, añadiendo colorante y realizando ensayos de coloración hasta que se forme la aureola. Alcanzado este punto, se continúa agitando y, sin necesidad de más adiciones de solución colorante, se realizan ensayos de coloración a intervalos de 1 minuto.
- 6.3.3** Si la aureola desaparece durante los primeros 4 minutos, se añaden otros 5 ml de solución colorante. Si la aureola desaparece durante el quinto minuto, se deberán añadir solo 2 ml de solución colorante. En cualquier caso, se deberá continuar agitando y realizando ensayos de coloración hasta que la aureola se mantenga durante 5 minutos.
- 6.3.4** Se anota el volumen total de solución colorante añadida hasta que se haya formado la aureola y se haya mantenido visible durante 5 minutos (V_1), redondeando al mililitro más próximo.

Nota 3: Los recipientes se deben limpiar bien inmediatamente después de terminar los ensayos. Los restos de los detergentes empleados se deben eliminar con un buen enjuague. Se recomienda que los recipientes utilizados en el ensayo de azul de metileno se reserven exclusivamente para este ensayo.

7 CÁLCULOS

- 7.1** El valor de azul (VA), expresado en gramos de colorante por kilogramo de la fracción granulométrica pasante del tamiz de 4.75 mm (No. 4), se calcula con la siguiente expresión:

$$VA = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \quad [235.1]$$

Donde: M_1 : Masa de la muestra de ensayo, g;

V_1 : Volumen total añadido de la solución colorante, ml;

Nota 4: El valor de azul de metileno (VA) se debe reportar redondeado a la décima de gramo más próxima de colorante empleado, por kilogramo de la fracción granulométrica pasante del tamiz de 4.75 mm (No. 4).

7.2 Si durante el ensayo se añadió caolinita, la expresión anterior se transforma en:

$$VA = \frac{V_1 - V'}{M_1} \times 10 \quad [235.2]$$

Donde: V' : Volumen de la solución colorante absorbido por la caolinita, ml.

Nota 5: El factor 10 de las expresiones anteriores, es el factor de conversión entre el volumen de la solución colorante empleada y la masa del colorante absorbido por kilogramo de la fracción granulométrica ensayada.

8 NORMAS DE REFERENCIA

NORMA EUROPEA EN 933-9

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR DE AZUL DE METILENO DE LA FRACCIÓN QUE PASA EL TAMIZ DE 75 μm (No. 200)

A.1 Se prepara la muestra de ensayo como se indica en la Sección 5 de esta norma y se sigue el procedimiento de ensayo de la Sección 6, pero con una masa de muestra, M_1 , de 30.0 ± 0.1 g de la fracción granulométrica que pasa el tamiz 75 μm (No. 200).

- A.2** Se calcula el valor de azul (VA_F), expresado en gramos de colorante por kilogramo de la fracción granulométrica inferior a 75 μm , con la siguiente expresión:

$$VA_F = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \quad [235.3]$$

Donde: M_1 : Masa de la muestra de ensayo, g;

V_1 : Volumen total añadido de la solución colorante, ml.

- A.3** Se anota el valor de azul de metileno obtenido (VA_F), redondeado a la décima de gramo más próxima de colorante empleado por kilogramo de la fracción granulométrica ensayada.

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO DE 10 g/l

- B.1** Se emplea azul de metileno [$C_{16}H_{18}ClN_3S$, nH_2O ($n= 2$ a 3)] de pureza igual o superior a 98.5 %.

- B.2** Se determina el contenido de agua (W) del polvo de azul de metileno, como sigue:

B.2.1 Se pesan unos 5 g de polvo de azul de metileno y se anota la masa M_h redondeada a la fracción de 0.01 g más próxima.

B.2.2 Se seca este polvo a $100 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante. Se deja enfriar en el desecador y se pesa a continuación, anotando la masa (M_g) redondeada a la fracción de 0.01 g más próxima.

Nota B.1: Se debe tener en cuenta que el polvo de azul de metileno puede sufrir modificaciones a temperaturas por encima de 105°C .

- B.2.3** Se calcula y anota el contenido de agua W , redondeado al 0.1 % más próximo, mediante la expresión:

$$W = \frac{M_h - M_g}{M_g} \times 100 \quad [235.4]$$

Donde: M_i : Masa inicial del polvo de azul de metileno, g;

M_g : Masa del polvo de azul de metileno seco, g.

Nota B.2: Se deberá determinar el contenido de agua para la preparación de cada nuevo lote de solución colorante.

- B.3** Se toma una masa de polvo de azul de metileno de $[(100 + W)/10]$ g \pm 0.01 g (equivalente a 10 g de polvo seco).
- B.4** Se calientan entre 500 ml y 700 ml de agua destilada o desmineralizada en un vaso de precipitados, hasta alcanzar una temperatura no superior a 40° C.
- B.5** Se agita el contenido del vaso de precipitados mientras se vierte lentamente el polvo de azul de metileno en el agua caliente. Se continúa agitando durante 45 minutos hasta la completa disolución del polvo; luego, se deja enfriar hasta que la temperatura de la solución sea 20° C.
- B.6** Se vierte el contenido a un matraz de 1 litro de capacidad. Se enjuaga con agua destilada o desmineralizada para asegurar el vertido completo del colorante al matraz. Se debe asegurar que el matraz y el agua se encuentren a una temperatura de $20 \pm 1^\circ$ C, para cumplir con la calibración del matraz. Se añade más agua hasta alcanzar la marca de 1 litro en la graduación del matraz.
- B.7** Se sacude el matraz para asegurar la completa disolución del polvo y se vierte el contenido en una botella de vidrio oscuro.
- B.8** En la etiqueta de la botella se deberán anotar la fecha de preparación de la solución y la fecha límite para su empleo.
- B.9** La solución de azul de metileno no podrá ser empleada después de 28 días de su preparación. La solución colorante preparada se deberá conservar en un sitio oscuro.

ANEXO C (Aplicación obligatoria)

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR DE AZUL DE METILENO DE LA CAOLINITA (VA_K)

- C.1** Se seca la caolinita a $110 \pm 5^\circ$ C hasta que presente masa constante.
- C.2** Se pesan 30.0 ± 0.1 g de la caolinita seca.

- C.3** Se introducen los 30.0 ± 0.1 g de la caolinita seca en el vaso de precipitados, junto con 500 ml de agua destilada o desmineralizada.
- C.4** Se agita durante 5 minutos a 600 ± 60 rpm con el agitador de paletas, colocando las paletas agitadoras a unos 10 mm por encima del fondo del vaso. Luego se continúa agitando a 400 ± 40 rpm hasta la terminación del ensayo.
- C.5** Se añade una dosis de 5 ml de solución colorante de 10 g/l en el vaso de precipitados y, tras agitar como mínimo durante 1 minuto a 400 ± 40 rpm, se realiza un ensayo de coloración sobre el papel de filtro.
- C.6** Si es necesario, se continúa añadiendo solución colorante en dosis de 5 ml hasta obtener un resultado positivo (sin añadir más solución). Dado que la absorción del azul de metileno no es instantánea, se deben realizar los ensayos de coloración a intervalos de 1 minuto.
- Si el anillo azul claro desaparece en la quinta coloración, se deberán añadir dosis de colorante de 2 ml. Cada adición deberá seguirse con ensayos realizados a intervalos de 1 minuto.
- Estas operaciones se deberán repetir hasta que el ensayo mantenga su resultado positivo durante 5 minutos seguidos, instante en el cual se dará por finalizada la determinación.
- C.7** Se anota el volumen total absorbido de la solución colorante W' , expresado en ml.
- C.8** Se calcula y anota el valor de azul de metileno de la caolinita VA_K , redondeado a la décima de gramo más próxima (por cada 100 g de caolinita), a partir de la expresión:

$$VA_K = \frac{V'}{30} \quad [235.5]$$

Nota C.1: Es conveniente realizar un ensayo con caolinita para conocer el valor de azul de metileno VA_K a intervalos regulares y comprobar la constancia de los resultados. Conviene que este procedimiento también sea empleado para comprobar las soluciones colorantes de nueva preparación.

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DESLEIMIENTO – DURABILIDAD DE LUTITAS Y OTRAS ROCAS DÉBILES

INV E – 236 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este ensayo tiene como finalidad determinar el índice de desleimiento–durabilidad (SDI por su sigla en inglés) de una lutita u otra roca similar, cuando se somete a dos ciclos de humedecimiento y secado con abrasión.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–236–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Índice de desleimiento-durabilidad (SDI)* – Masa seca, expresada como porcentaje, de un conjunto de fragmentos de lutita retenidos en el tamiz de 2.0 mm (No. 10), luego de dos ciclos de secado en el horno y 10 minutos de giro en un tambor bajo agua, en condiciones normalizadas.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El ensayo sirve para examinar cualitativamente la durabilidad de las rocas débiles bajo el ambiente normal de servicio.
- 3.2 El método se usa, también, para asignar valores cuantitativos de durabilidad a las rocas débiles.

4 EQUIPO

- 4.1 *Tambor de ensayo (Figura 236 - 1)* – Un cilindro o tambor de ensayo de 100 mm (3.9") de longitud y de 140 mm (5.5") de diámetro, con una base fija sólida, fabricado con una malla patrón de 2.0 mm (No. 10). El tambor, provisto de una tapa sólida removible, debe ser capaz de soportar una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y ser lo suficientemente fuerte como para mantener su

forma durante su uso. Ni el exterior de la malla ni el interior del tambor deben estar obstruidos, por ejemplo, por miembros reforzados.

4.2 Recipiente – Un recipiente impermeable para contener el tambor de ensayo y soportarlo horizontalmente de manera que el tambor pueda rotar libremente alrededor de su eje. El recipiente debe estar construido de manera que pueda ser llenado con agua hasta 20 mm (0.8") por debajo del eje del tambor y permitir un espacio libre mínimo de 40 mm (1.6") entre su fondo y la parte inferior de la malla.

4.3 Motor – Un motor de impulso, capaz de hacer rotar el tambor a una velocidad constante de 20 rpm; con una variación dentro de $\pm 5\%$, durante un período de 10 min.

Nota 1: La mayoría de los equipos disponibles en el mercado tienen dos o más tambores y recipientes (Figura 236 - 2).

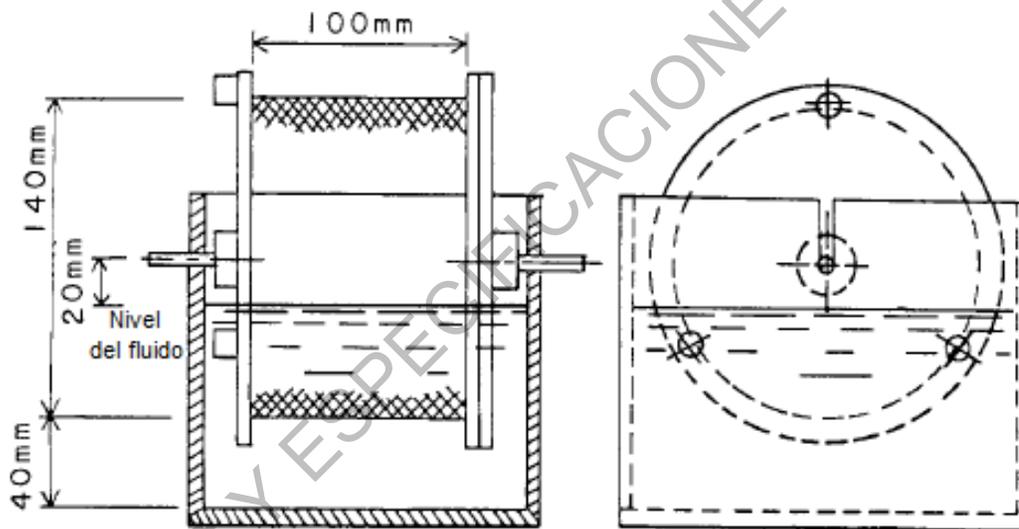


Figura 236 - 1. Dimensiones críticas del equipo para el ensayo de desleimiento - durabilidad

4.4 Horno – Termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

4.5 Balanza – De 2000 g de capacidad, con sensibilidad de lectura de 1 g.

4.6 Brocha.

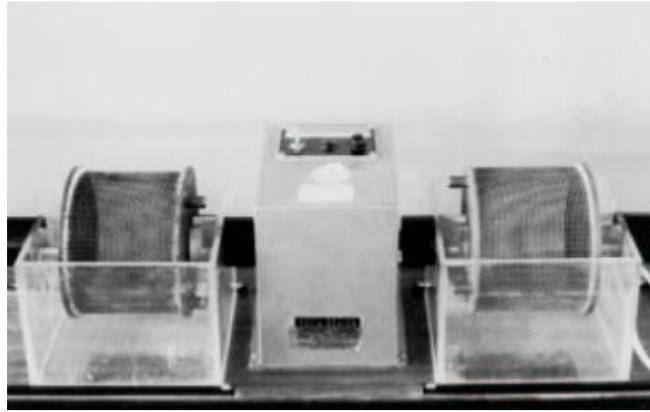


Figura 236 - 2. Equipo para el ensayo de desleimiento - durabilidad

5 MUESTRA DE ENSAYO

- 5.1** Se selecciona una muestra compuesta por 10 fragmentos representativos de la roca a ensayar, intactos y aproximadamente equidimensionales, cada uno con una masa de 40 a 60 g. La masa del conjunto, con su humedad natural, se debe encontrar entre 450 y 550 g. Los fragmentos pueden ser naturales o producidos mediante golpes de martillo, y pueden provenir de núcleos de roca o de algún yacimiento. Sus tamaños podrán variar según el método de muestreo. Si tienen bordes agudos, ellos deberán ser cortados. Toda partícula fina adherida a los fragmentos escogidos para el ensayo se debe remover con la brocha antes de pesarlos.
- 5.2** Los fragmentos se deben transportar y almacenar de manera que retengan su contenido natural de agua.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se pesa el tambor limpio (C). Se coloca la muestra dentro de él y pesa el conjunto (A). Se lleva el tambor con su contenido al horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) por 16 horas o a hasta alcanzar masa constante. Se dejan enfriar a temperatura ambiente por 20 minutos y se pesan (B).
- 6.2** Se monta el tambor en el recipiente del equipo y se acopla al motor.
- 6.3** Se llena el recipiente con agua destilada a temperatura ambiente hasta un nivel de 20 mm (0.8") por debajo del eje del tambor. Se pone a rotar el tambor

a una velocidad de 20 rpm durante 10 min. Se anota la temperatura del agua al comienzo y al final del ciclo.

- 6.4** Inmediatamente después del período de rotación se retira el tambor del recipiente y se seca con su contenido en el horno, a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) por 16 horas o a hasta alcanzar masa constante.
- 6.5** Después de un período de reposo de 20 minutos, se determina la masa seca del conjunto antes de comenzar el segundo ciclo. Se repiten los pasos 6.2 a 6.4 (excepto que ya no se debe agregar agua al recipiente) y luego de un reposo de 20 minutos a temperatura ambiente, se halla la masa final del tambor con la muestra (W_F).
- 6.6** Se extrae la muestra del tambor y se le toman fotografías. Se describen las partículas de la siguiente manera (Figura 236 - 3):
- 6.6.1** Tipo I – Las piezas retenidas permanecen virtualmente inalteradas.
- 6.6.2** Tipo II – el material retenido contiene piezas grandes y pequeñas.
- 6.6.3** Tipo III – el material retenido contiene exclusivamente fragmentos pequeños.



Figura 236 - 3. Tipos de fragmentos retenidos en el tambor

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula la humedad natural de la muestra de roca (w) con la expresión:

$$w = \frac{A - B}{B - C} \times 100 \quad [236.1]$$

- 7.2 Se calcula el índice de desleimiento-durabilidad (segundo ciclo), SDI (2), como sigue:

$$\text{SDI (2)} = \frac{W_F - C}{B - C} \times 100 \quad [236.2]$$

8 INFORME

- 8.1 El informe debe contener lo siguiente:

- 8.1.1 Descripción del material e identificación del sitio de obtención.
- 8.1.2 Índice de desleimiento-durabilidad (segundo ciclo) aproximado a 0.1 %.
- 8.1.3 Rango y valor promedio de la temperatura del agua durante el ensayo.
- 8.1.4 Humedad natural de los fragmentos.
- 8.1.5 Descripción de la apariencia de los fragmentos retenidos en el tambor luego de los dos ciclos, de acuerdo con los criterios del numeral 6.6.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1 *Precisión* – Debido a la naturaleza de las lutitas y demás rocas sometidas a esta prueba, no es posible producir de manera económica un número elevado de especímenes de propiedades físicas similares. Cualquier variación que presenten los datos, se debe atribuir a variaciones en las muestras o en el procedimiento o el criterio de los operarios.
- 9.2 *Sesgo* – No hay un valor de referencia aceptado de lutita o roca débil para este método de ensayo; por lo tanto, no se puede presentar una declaración sobre sesgo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4644 – 08

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA LIMPIEZA SUPERFICIAL DE LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO GRUESO

INV E – 237 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la limpieza superficial de los agregados, tanto de origen natural como artificial, con tamaños superiores a 4.75 mm, utilizados en la construcción de carreteras.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–237–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El ensayo consiste en separar por lavado, mediante un tamiz de referencia, las partículas menores de 0.5 mm mezcladas o adheridas a la superficie de las partículas del agregado grueso, las cuales se consideran como impurezas. Posteriormente, se calcula el porcentaje en masa de las impurezas respecto de la masa seca de la muestra total, el cual se denomina “coeficiente de limpieza superficial”.

3 EQUIPO

- 3.1** *Horno* – Para secar los agregados a la temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$)
- 3.2** *Tamices* – De las siguientes aberturas: 4.75 mm (No. 4) y 500 μm (No. 35).
- 3.3** *Elementos misceláneos* – Recipientes para medir la humedad, bandejas, etc.

4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 4.1** *Cantidad de muestra para ensayo:*
- 4.1.1** La muestra de agregados para el ensayo se debe tomar siguiendo el procedimiento indicado en la norma INV E–201. La masa de esta muestra, en gramos, (M), deberá estar comprendida entre 200D y

500D, siendo D el tamaño máximo de los agregados de la muestra, en milímetros. Todo el material para ensayo debe quedar retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

4.2 Preparación de las porciones para ensayo:

4.2.1 La muestra M, obtenida como se mencionó en el numeral 4.1, se divide por cuarteo en dos (2) porciones análogas: una se utiliza para determinar la humedad de la muestra de agregado grueso y la otra para determinar el coeficiente de limpieza superficial.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** A la porción de muestra para humedad se le determina la masa húmeda, M_h , con aproximación a 1 g; se seca en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante y se determina ésta con aproximación 1g, M_s .
- 5.2** Se determina la masa húmeda de la porción de ensayo con aproximación a 1 g, M_{he} . Se coloca la totalidad de la porción sobre el tamiz de referencia de 500 μm (No. 35) y se lava directamente con agua hasta que ésta salga limpia. Si la cantidad de masa es excesiva para la capacidad del tamiz de referencia, se utiliza el tamiz de 4.75 mm (No. 4) como soporte de la muestra, colocando debajo el de referencia. Se debe cuidar que durante el lavado no se produzcan pérdidas de material por fuera de los tamices.
- 5.3** La totalidad de la porción que ha quedado retenida en el tamiz de referencia, junto con la retenida en el tamiz soporte si éste fue empleado, se recupera cuidadosamente y se seca en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante; se determina ésta con aproximación de 1 g. A continuación, esta porción de agregado seco se tamiza durante un (1) minuto sobre el tamiz de referencia, recuperando la totalidad del material retenido y se determina la masa con aproximación de 1 g, llamando a esta masa seca "m".

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula la humedad de la muestra con la expresión:

$$w = \frac{M_h - M_s}{M_s} \quad [237.1]$$

- 6.2** Se calcula la cantidad de masa seca, M_{se} , correspondiente a la porción de muestra de ensayo M_{he} , mediante la ecuación:

$$M_{se} = \frac{M_{he}}{1 + w} \quad [237.2]$$

- 6.3** Se calculan las impurezas de la porción de muestra de ensayo, o masa seca en gramos de las partículas inferiores a $500 \mu m$, I , aplicando la expresión:

$$I = M_{se} - m \quad [237.3]$$

- 6.4** El coeficiente de limpieza superficial se obtiene con la expresión:

$$\text{Coeficiente de limpieza superficial} = \frac{I}{M_{se}} \times 100 \quad [237.4]$$

7 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 172/86

UNE 146130: 2000 Anexo C

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN, UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL

INV E – 238 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para medir la resistencia a la abrasión de una muestra de agregado grueso utilizando el aparato Micro-Deval.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-238-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Masa constante* – Condición de una muestra de ensayo secada a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), cuando no pierde más de 0.1 % de humedad tras 2 h de secado.
- 2.1.1 *Discusión* – Esta condición se puede comprobar pesando la muestra antes y después de cada periodo de 2 h, hasta que la variación en la masa cumpla con lo indicado. Este procedimiento se puede obviar cuando la muestra se seca a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) durante un tiempo mayor que uno previamente comprobado como satisfactorio para producir masa constante, bajo una condición igual o superior de carga en el horno.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El ensayo Micro-Deval es una medida de la resistencia a la abrasión y de la durabilidad de agregados pétreos, como resultado de una acción combinada de abrasión y molienda con esferas de acero en presencia de agua. Una muestra con granulometría normalizada se sumerge inicialmente en agua durante un lapso no menor de una hora. La muestra se coloca entonces en un recipiente de acero de 20 cm de diámetro, con 2.0 litros de agua y una carga abrasiva, consistente en 5000 g de esferas de acero de 9.5 mm de diámetro. Recipiente, agregado, agua y carga se rotan a 100 rpm hasta por 2 horas, dependiendo del tamaño de las partículas (Figura 238 - 1). Posteriormente, se lava la muestra y se seca en el horno. La pérdida es la cantidad de material que

pasa el tamiz de 1.18 mm (No 16), expresada como porcentaje de la masa seca original de la muestra.



Figura 238 - 1. Degradación del agregado durante el ensayo Micro-Deval

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La prueba Micro-Deval tiene por finalidad determinar la pérdida por abrasión de agregados gruesos en presencia de agua y de una carga abrasiva. Muchos agregados son más débiles en estado húmedo que secos, y el uso del agua en este ensayo incorpora esta reducción de resistencia, en contraste con otros ensayos que se realizan solamente con agregados secos. Los resultados del ensayo son útiles para juzgar la resistencia (tenacidad/abrasión) de agregados sujetos a abrasión, cuando no existe información adecuada sobre este tipo de comportamiento.
- 4.2** El ensayo Micro-Deval es útil para el control de calidad, porque detecta cambios en las propiedades de un agregado proveniente de una fuente como parte de un proceso de control de calidad o de aseguramiento de calidad.

5 EQUIPO

- 5.1** *Máquina de abrasión Micro-Deval* – Con un motor capaz de producir en los recipientes cilíndricos una velocidad de rotación regular de 100 ± 5 rpm (Figura 238 - 2).

Nota 1: Si el equipo tiene adaptado un contador, el ensayo se puede realizar contando el número de revoluciones (numeral 8.3.2).

- 5.2** *Recipientes cilíndricos* – Uno o más cilindros huecos, de 5 litros de capacidad, con las características y dimensiones mostradas en la Figura 238 - 2. Los cilindros deberán ser de acero inoxidable, de espesor mínimo de 3 mm. Se apoyarán sobre dos soportes cilíndricos de eje horizontal que le imponen un giro con la velocidad de rotación indicada en el numeral 5.1. Las superficies internas y externas del recipiente cilíndrico deben ser suaves y no mostrar protuberancias ni hendiduras.
- 5.3** *Carga abrasiva* – La carga abrasiva está constituida por esferas magnéticas de acero inoxidable, de 9.5 ± 0.5 mm de diámetro. Cada recipiente cilíndrico requiere una carga de 5000 ± 5 g de estas esferas.
- 5.4** *Balanza* – Que permita lecturas con una precisión de 1g.
- 5.5** *Tamices* – De las siguientes medidas: 19.0 mm ($\frac{3}{4}$ "), 16.0 mm ($\frac{5}{8}$ "), 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "), 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "), 6.7 mm (0.265"), 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ "), 4.75 mm (No. 4) y 1.18 mm (No. 16).
- 5.6** *Horno* – Capaz de mantener la temperatura a $110 \pm 5^\circ$ C ($230 \pm 9^\circ$ F).

6 SUMINISTROS

- 6.1** *Agregado de referencia de laboratorio* – Una provisión de un agregado de calidad reconocida que sirva como referencia.

Nota 2: La ASTM recomienda como agregado de referencia de laboratorio el "Brechin Quarry No.2" de la Sección de Suelos y Agregados del Ministerio de Transporte de Canadá. 1201 Wilson Avenue, Downsview, Ontario, Canada M3M1J8, Fax: 1-416-235-4101.

- 6.2** *Agregado de calibración* – Un suministro de agregado que el laboratorio considere apropiado para la calibración del método de ensayo (Ver numeral 10.1).

7 MUESTRA DE ENSAYO

- 7.1** La muestra de ensayo se debe lavar y luego secar al horno a $110 \pm 5^\circ$ C ($230 \pm 9^\circ$ F) hasta masa constante, separada en fracciones individuales de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E –213, y recombinada para obtener las granulometrías mostradas en los numerales 7.2, 7.3 y 7.4. En los casos de los numerales 7.3 y 7.4, se podrá emplear un tamiz de 6.7 mm (0.265") en lugar del de 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ").

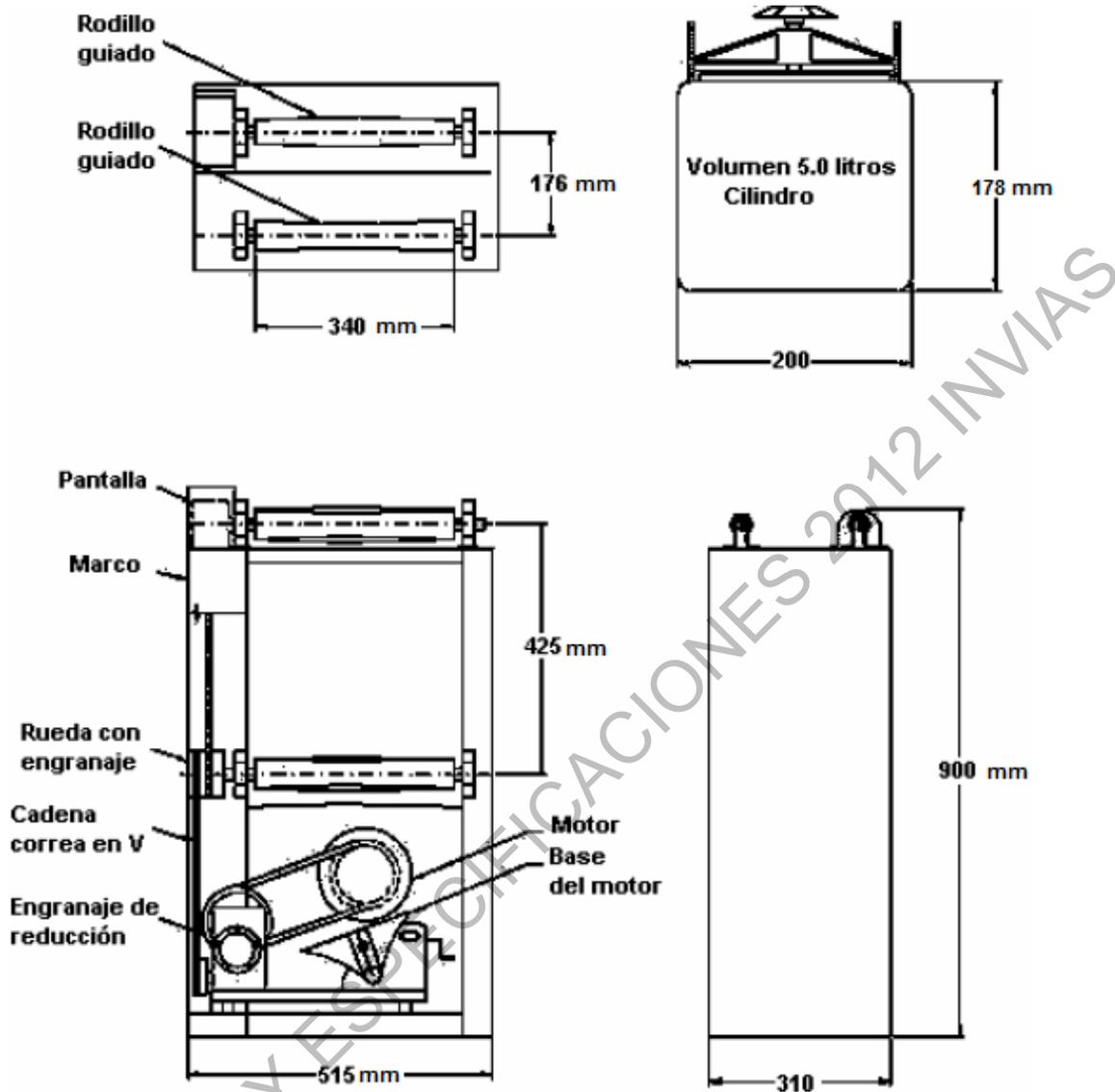


Figura 238 - 2. Aparato Micro-Deval

7.2 El agregado para ensayo deberá consistir de material comprendido entre los tamices de 19 mm ($\frac{3}{4}$ " y de 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "). Se deberá preparar una muestra secada al horno de 1500 ± 5 g, como sigue:

PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA
19.0 mm	16.0 mm	375 g
16.0 mm	12.5 mm	375 g
12.5 mm	9.5 mm	750 g

- 7.3** Si el tamaño máximo nominal del agregado grueso es 12.5 mm, la masa de 1500 ± 5 g se deberá preparar como sigue:

PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA
12.5 mm	9.5 mm	750 g
9.5 mm	6.3 mm	375 g
6.3 mm	4.75 mm	375 g

- 7.4** Si el tamaño máximo nominal del agregado grueso es 9.5 mm o menos, la masa de 1500 ± 5 g se deberá preparar como sigue:

PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA
9.5 mm	6.3 mm	750 g
6.3 mm	4.75 mm	750 g

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Se prepara una muestra seca representativa de 1500 ± 5 g, distribuida como se indica en los numerales 7.2 a 7.4. Se determina la masa de la muestra con aproximación de 1.0 g y se registra esta masa como A.
- 8.2** Se somete la muestra a inmersión en 2.0 ± 0.05 litros de agua del grifo, a $20 \pm 5^\circ$ C, durante un lapso mínimo de una 1 h, ya sea en el recipiente del Micro-Deval o en otro recipiente apropiado.
- 8.3** Se coloca la muestra en el recipiente cilíndrico de abrasión del Micro-Deval con 5000 ± 5 g de esferas de acero y el agua usada para saturar la muestra (Figura 238 - 3). Se tapa el recipiente y se coloca sobre la máquina Micro-Deval.



Figura 238 - 3. Colocación de la muestra, la carga abrasiva y el agua dentro del recipiente cilíndrico

- 8.3.1** Se procede a rotar la máquina a una velocidad de $100 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$ durante $2 \text{ h} \pm 1 \text{ min}$ para la gradación mostrada en el numeral 7.2; de $105 \pm 1 \text{ min}$ para la gradación mostrada en el numeral 7.3 y de $95 \pm 1 \text{ min}$ para la mostrada en el numeral 7.4.
- 8.3.2** Si la máquina dispone de un contador de revoluciones, se deberán contar $12\ 000 \pm 100$ revoluciones al ensayar el agregado con la gradación del numeral 7.2; $10\ 500 \pm 100$ con la del numeral 7.3 y 9500 ± 100 con la del numeral 7.4.
- 8.4** Terminado el tiempo de rotación, se vierten cuidadosamente la muestra y las esferas sobre dos tamices superpuestos de 4.75 mm (No. 4) y 1.18 mm (No. 16). Se deberá tener el cuidado de vaciar del recipiente cilíndrico toda la muestra. Se lava y manipula el material retenido con agua limpia, con el chorro del grifo y usando la mano o con una manguera de control manual, hasta que el agua de lavado salga clara y se garantiza que se haya evacuado todo el material menor a 1.18 mm (Figura 238 - 4). Se desecha todo este material menor de 1.18 mm.



Figura 238 - 4. Lavado de la muestra y las esferas sobre los tamices

8.5 Se remueven las esferas de acero inoxidable mediante alguna de las siguientes opciones:

8.5.1 *Opción 1, método húmedo para remover las esferas de la muestra* – Las esferas se remueven de la muestra inmediatamente después del lavado, empleando un imán u otro medio adecuado, con el cuidado necesario para evitar la pérdida de material de la muestra. En seguida, se combina el material que quedó retenido en las mallas de 4.75 mm (No. 4) y de 1.18 mm (No. 16). Se seca dicho material en el horno hasta masa constante, a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

8.5.2 *Opción 2, método seco para remover las esferas de la muestra* – Se combinan las fracciones de material retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y en el de 1.18 mm (No. 16) con las esferas de acero, con el cuidado necesario para evitar la pérdida de material de la muestra. Se secan la muestra y las esferas en el horno hasta masa constante, a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Luego, se remueven las esferas, empleando un imán u otro medio adecuado.

Nota 3: Se debe tener mucho cuidado al emplear el método húmedo para remover las esferas de la muestra. La tensión superficial del agua puede hacer que partículas pequeñas del agregado se adhieran a las esferas de acero. El método húmedo permite efectuar ensayos consecutivos con mayor rapidez, cuando el laboratorio tiene un número limitado de esferas. El método seco se puede emplear para eliminar esta fuente potencial de error; sin embargo, también se debe tener cuidado al remover las esferas para que no ocurran pérdidas de agregado.

8.6 Se pesa la muestra con aproximación a 1.0 g, y se registra esta masa como B.

9 CÁLCULOS

9.1 Se calcula la pérdida por abrasión Micro-Deval, redondeada a 0.1 %, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de pérdidas} = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad [232.1]$$

10 USO DEL AGREGADO DE CALIBRACIÓN

10.1 *Agregado de calibración* – El laboratorio debe definir un agregado de calibración que presente una pérdida entre 15 % y 25 %. Se toman 10

muestras al azar de este material y se ensayan. Al mismo tiempo, se toman y ensayan 10 muestras del agregado de referencia de laboratorio. Si el material de referencia es el Brechin Quarry No.2, y su pérdida promedio y su variación se encuentran dentro de las tolerancias mencionadas en el numeral 10.1.1, los valores de valor medio y de rango obtenidos se deberán utilizar con el agregado de calibración. El procedimiento de calibración se deberá realizar cada vez que se requiera un suministro del agregado de calibración.

10.1.1 La pérdida media del agregado de referencia Brechin Quarry No.2 obtenida en un estudio sobre el ensayo Micro-Deval, realizado por varios laboratorios, fue 19.1 %. Para que haya aceptación continua de datos, los datos individuales del material de calibración se deberán encontrar entre 17.5 y 20.7 % el 95 % de las veces.

10.1.2 Cuando los datos del agregado de calibración caen por fuera de los límites, se debe adelantar un estudio para establecer las causas. El equipo deberá ser recalibrado y la técnica de ensayo reexaminada para detectar las no conformidades con el procedimiento de ensayo.

10.2 Cada 10 muestras, o al menos cada semana en la que se realice un ensayo, se debe ensayar también el agregado de calibración. El material se debe tomar de un depósito de reserva y preparar de acuerdo con el numeral 7.2 de esta norma. Cuando se hayan ensayado 20 muestras y los resultados muestren una variación satisfactoria, se podrá reducir la frecuencia de ensayo a un mínimo de una vez al mes.

10.3 *Uso del gráfico de tendencia* – El porcentaje de pérdida de las últimas 20 muestras del material de calibración se debe dibujar en un gráfico de tendencia, para observar las variaciones de los resultados (Figura 238 - 5).

11 INFORME

11.1 El informe debe incluir lo siguiente:

11.1.1 El tamaño máximo del agregado y la gradación utilizada.

11.1.2 El porcentaje de pérdida, con una cifra decimal.

11.1.3 El porcentaje de pérdida del agregado de calibración, con una cifra decimal, correspondiente a un ensayo realizado en un tiempo lo más cercano posible al ensayo que se está reportando.

11.1.4 Porcentajes de pérdida de las últimas 20 muestras del agregado de calibración, dibujados en el gráfico de tendencia.

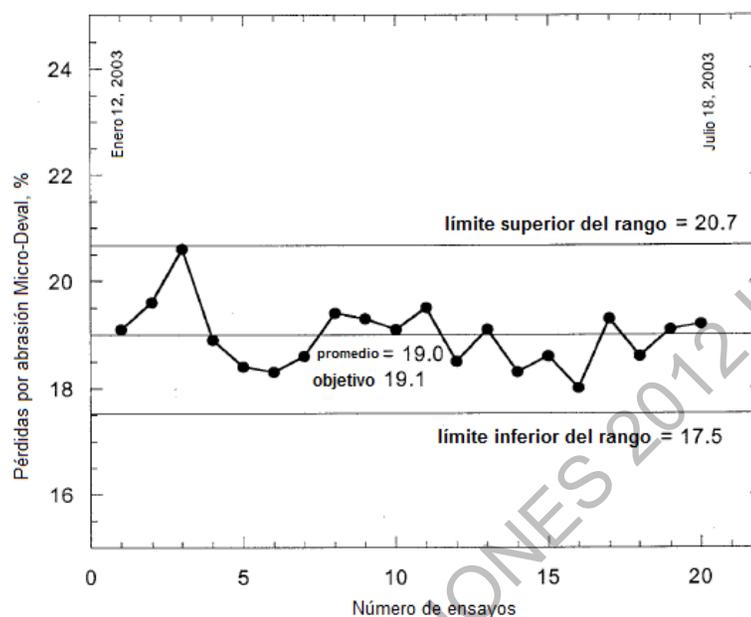


Figura 238 - 5. Gráfico de tendencia de las pérdidas por abrasión Micro-Deval de muestras del agregado Brechin Quarry No.2

12 PRECISIÓN Y SESGO

12.1 Precisión – Para un agregado con un tamaño máximo de 19.0 mm, con pérdidas por abrasión entre 5 % y 20 %, se encontró que el coeficiente de variación de un operario individual era 3.4 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados sobre muestras del mismo agregado, por el mismo operario y empleando el mismo equipo, no deberían diferir en más de 9.6 % de su promedio, el 95 % de las veces. El coeficiente de variación de los resultados de ensayos realizados en varios laboratorios fue 5.6 %; por consiguiente, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados en laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo agregado, no deberían diferir más del 15.8 % de su valor promedio, el 95 % de las veces.

12.2 Sesgo – El procedimiento de este método para medir la resistencia a la abrasión no presenta sesgo, por cuanto la resistencia a la abrasión solo puede ser definida en los términos del método de ensayo.

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6928 – 10

**ANEXO A
(Informativo)****INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO**

- A.1** En estudios sobre el comportamiento de agregados sometidos a este ensayo, se ha determinado que los límites indicados en la Tabla 238A - 1 separan los agregados de comportamiento satisfactorio de aquellos de comportamiento regular o pobre. Emplear un solo tipo de ensayo para estimar el comportamiento de un agregado no es suficiente. Es necesario combinar los resultados de ensayos que valoren diferentes propiedades del material.

Tabla 238A - 1. Límites referenciados de Micro-Deval para diferentes aplicaciones de los agregados

APLICACIÓN	MÁXIMAS PÉRDIDAS POR ABRASIÓN EN PRUEBA MICRO-DEVAL (%)
Subbase granular	30 ^A
Base granular	25 ^A
Base de gradación abierta	17 ^A
Concreto estructural	17 ^A 21 ^B
Pavimento rígido	13 ^A
Base de concreto asfáltico	21 ^A
Capa de rodadura asfáltica en vías secundarias	21 ^A
Capa de rodadura en concreto asfáltico	17 ^A 18 ^C

^A Rogers, C., "Canadian Experience with the Micro-Deval Test for Aggregates," *Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation*, Latham, J. P., ed., Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 13, 1998, pp. 139-147.

^B Lang, A. P., Range, P. H., Fowler, D. W. and Allen, J. J., "Prediction of Coarse Aggregate Performance by Micro-Deval and Other Soundness, Strength, and Intrinsic Particle Property Tests," *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, No. 2026, 2007, pp. 3-8.

^C Kandhal, P. S., Parker Jr., F., "Aggregate Tests Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements," *Final Report Prepared for National Cooperative Highway Research Program*, Transportation Research Board, Washington, May 1997.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍOS EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS (INFLUENCIADO POR LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS, LA TEXTURA SUPERFICIAL Y LA GRANULOMETRÍA)

INV E – 239 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación del contenido de vacíos de una muestra de agregado fino no compactada. Cuando se mide en cualquier agregado de gradación conocida, el contenido de vacíos provee una indicación de la angulosidad, la esfericidad y la textura superficial de ese agregado, que se pueden comparar con las de otros agregados finos ensayados con la misma gradación. Cuando se mide el contenido de vacíos de un agregado fino con la gradación con la cual se recibe, este puede ser un indicador del efecto del agregado fino sobre la manejabilidad de una mezcla en la cual se piensa emplear.
- 1.2** La norma incluye tres procedimientos para la medida del contenido de vacíos. Dos de ellos usan agregados finos gradados (gradación estándar o gradación tal como es recibida), y el otro usa varias fracciones de tamaños individuales para la determinación del contenido de vacíos:
- 1.2.1** *Muestra con gradación estándar (Método de prueba A)* – Este método de ensayo usa una gradación estándar de agregado fino, la cual se obtiene combinando fracciones a partir de un análisis por tamizado típico de un agregado fino. Ver Sección 7.
- 1.2.2** *Fracciones de tamaño individual (Método de prueba B)* – Este método de ensayo usa cada una de tres fracciones de tamaño de agregados finos: (a) 2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16); (b) 1.18 mm (No. 16) a 600 μm (No. 30); y (c) 600 μm (No. 30) a 300 μm (No. 50). Para este método, cada tamaño se ensaya separadamente.
- 1.2.3** *Gradación de la muestra tal como se recibe (Método de prueba C)* – Este método usa la porción de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–239–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Un recipiente cilíndrico calibrado de 100 ml nominales se llena con un agregado fino de gradación prescrita, permitiendo que la muestra fluya a través de un embudo desde una altura fija dentro del recipiente. El agregado fino se extrae del recipiente y se pesa para determinar su masa. El contenido de vacíos sin compactar se calcula como la diferencia entre el volumen del medidor cilíndrico y el volumen absoluto del agregado fino recogido en el medidor. El contenido de vacíos del agregado fino sin compactar se calcula usando la densidad relativa seca (gravedad específica) del agregado fino. Se hacen dos medidas con cada muestra y los resultados se promedian.
- 2.1.1** Para una muestra gradada (Métodos de prueba A o C) el contenido porcentual de vacíos se determina directamente y se reporta el valor promedio de las dos medidas.
- 2.1.2** Para las fracciones de tamaño individual (Método de prueba B), el contenido porcentual de vacíos promedio se calcula usando los resultados de cada una de las 3 fracciones de tamaño individual.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Los métodos de prueba A y B proveen el contenido porcentual de vacíos bajo condiciones estandarizadas, las cuales dependen de la forma de las partículas y de la textura del agregado fino. Un incremento en el contenido de vacíos en estos procedimientos indica una mayor angulosidad, menor esfericidad, o una textura de superficie más áspera, o una combinación de ellas. Una reducción en el contenido de vacíos se asocia con un agregado fino más redondeado, esférico, o con una superficie más lisa, o la combinación de ellos.
- 3.2** El método de prueba C mide el contenido de vacíos del agregado sin compactar de la porción menor a 4.75 mm (No. 4) del material tal como se recibe. Este contenido de vacíos depende tanto la gradación, como de la forma y la textura de las partículas.
- 3.3** El contenido de vacíos determinado en la muestra con gradación estándar (Método de prueba A) no es comparable directamente con el promedio de contenido de vacíos de las tres fracciones de tamaño individual de la misma muestra, probadas por separado (Método de prueba B). Una muestra compuesta por partículas de un solo tamaño tendrá un contenido de vacíos

mayor que una muestra graduada. Por lo tanto, se debe usar un método o el otro como una medida comparativa de la forma y la textura, e identificar qué método se usó para registrar los datos reportados. El método de prueba C, no suministra una indicación de la forma y de la textura directamente si cambia la gradación de una muestra a otra.

3.3.1 El método de muestra con gradación estándar (Método de prueba A) es el más útil como prueba rápida indicativa de las propiedades de forma de las partículas de un agregado fino graduado. Típicamente, el material usado para componer la muestra con gradación estándar se puede obtener de las fracciones que quedan después de realizar el análisis granulométrico del agregado fino.

3.3.2 La obtención y ensayo de las fracciones de tamaño individual (Método de prueba B), demanda más tiempo y requiere una muestra inicial más grande que cuando se ensaya la muestra graduada. Sin embargo, el método de prueba B provee información adicional, relacionada con las características de forma y textura de los tamaños individuales.

3.3.3 Las muestras de prueba con la gradación tal como se recibe (Método de prueba C), pueden ser útiles para seleccionar proporciones de componentes usados en una variedad de mezclas. En general, un alto contenido de vacíos sugiere que el material puede ser mejorado suministrando finos adicionales en el agregado fino o incorporando un material más cementante para llenar los vacíos entre las partículas.

3.3.4 Para calcular el contenido de vacíos, se usa la densidad relativa seca (gravedad específica) del agregado fino. La efectividad de estos métodos para determinar el contenido de vacíos y su relación con la forma y la textura de las partículas depende de que las gravedades específicas de las diferentes fracciones de tamaño sean iguales o casi iguales. El contenido de vacíos es, de hecho, una función del volumen de cada fracción de tamaño. Si el tipo de roca o mineral o la porosidad de alguna de las fracciones de tamaño varían sustancialmente, puede ser necesario determinar separadamente la gravedad específica de cada una de las fracciones usadas en la prueba.

3.4 La información del contenido de vacíos de los métodos A, B o C será útil como indicador de propiedades tales como: la demanda de agua en las mezclas de concreto hidráulico; factores de fluidez, bombeo o manejabilidad cuando se formulan lechadas o morteros; el efecto del agregado fino sobre la estabilidad y los vacíos en el agregado mineral (VAM) de concretos asfálticos; y la estabilidad de la porción de agregado fino de una base granular.

4 EQUIPO

- 4.1 Recipiente cilíndrico** – Un cilindro recto de unos 100 ml de capacidad, que tenga un diámetro interno de aproximadamente 39 mm y una altura interna aproximada de 86 mm, hecho de tubo de agua de cobre tensado en frío, que cumpla las exigencias para los tipos C ó M de la especificación ASTM B 88. El fondo del recipiente deberá ser de metal, de al menos 6 mm de espesor, perfectamente sellado con el tubo, y deberá disponer de los medios para alinear el eje del cilindro con el eje del embudo. Ver Figura 239 - 1.
- 4.2 Embudo** – La superficie lateral de un tronco de cono con una pendiente de $60 \pm 4^\circ$ con respecto a la horizontal, con una abertura de 12.7 ± 0.6 mm de diámetro. La sección del embudo deberá ser una pieza de metal, lisa por dentro y de al menos 38 mm de alto. Deberá tener un volumen no menor de 200 ml o disponer de un complemento de vidrio o de metal para suministrar el volumen requerido. Ver Figura 239 - 2.
- 4.3 Soporte del embudo** – Un soporte de 3 o 4 patas, capaz de sostener el embudo firmemente en posición con el eje de éste alineado (dentro de un ángulo de 4° y un desplazamiento de 2 mm) con el eje del recipiente cilíndrico. La abertura del embudo deberá estar 115 ± 2 mm sobre el borde superior del cilindro. La Figura 239 - 2 muestra una configuración apropiada.
- 4.4 Placa de vidrio** – Un placa cuadrada de vidrio, de aproximadamente 60 mm por 60 mm, con un espesor mínimo de 4 mm, usada para calibrar el medidor cilíndrico.
- 4.5 Bandeja** – Una bandeja de metal o plástico, lo suficientemente grande para contener el soporte del embudo y prevenir pérdida de material. El propósito de la bandeja es capturar y retener las partículas del agregado fino que se desborden del medidor cilíndrico durante el llenado y la remoción del material.
- 4.6 Espátula de metal** – Con una hoja de aproximadamente 100 mm de largo y al menos 20 mm de ancho, con bordes rectos. El extremo de la espátula deberá cortar los bordes en ángulo recto. El borde recto de la hoja de la espátula se usa para remover el agregado fino.
- 4.7 Balanza** – De ± 0.1 g, de exactitud de lectura, con una capacidad dentro del rango de uso, capaz de pesar el recipiente cilíndrico y su contenido.

5 MUESTREO

- 5.1 Las muestras usadas para cada prueba se deben obtener de acuerdo con las normas INV E-201 e INV E-202, o son muestras provenientes de análisis por tamizado usadas para la norma INV E-213, o del agregado extraído de un espécimen de concreto asfáltico. Para los métodos A y B, la muestra se lava sobre un tamiz de 150 μm (No. 100) o de 75 μm (No. 200), de acuerdo con la norma INV E-214 y luego se seca y tamiza en varias fracciones de tamaño, separadas de acuerdo con los procedimientos de la norma INV E-213. Las fracciones de los tamaños necesarios obtenidas de uno o más análisis de tamizado, se mantienen en condición seca, en recipientes separados para cada tamaño. Para el método C, se seca un poco de la muestra tal como se recibió, de acuerdo con el procedimiento de secado de la norma INV E-213.

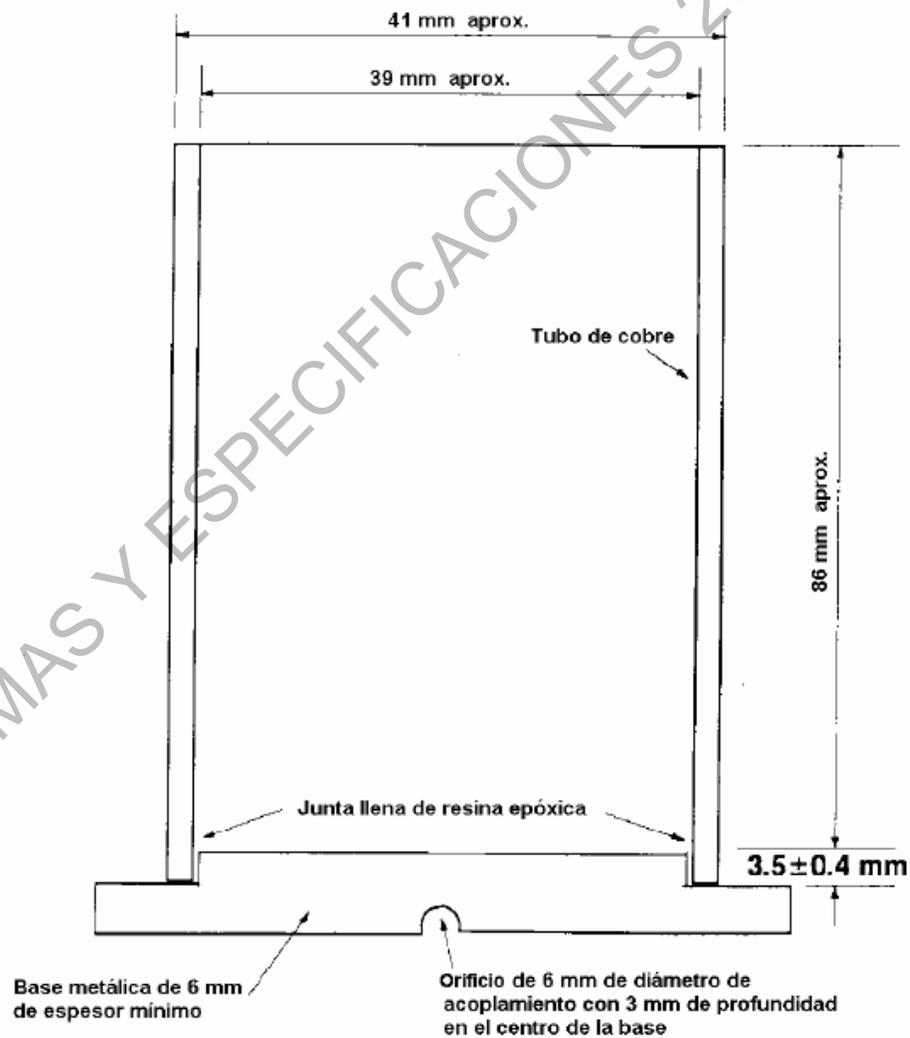


Figura 239 - 1. Medidor cilíndrico, nominalmente de 100 ml

6 CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE CILÍNDRICO

- 6.1 Se aplica una ligera capa de grasa al borde superior del medidor cilíndrico, seco y vacío. Se determina la masa del medidor, la grasa y la placa de vidrio. Se llena el medidor con agua fresca hervida y desionizada, a una temperatura entre 18 y 24° C. Se registra la temperatura del agua. Se coloca la placa de vidrio sobre el recipiente cilíndrico, asegurándose de no dejar burbujas de aire. Se seca la superficie exterior del recipiente y, mediante pesaje, se determina la masa de éste, combinada con la de placa de vidrio, la grasa y el agua. Después del pesaje final, se remueve la grasa y se determina la masa del recipiente cilíndrico vacío, seco y limpio, para pruebas posteriores.

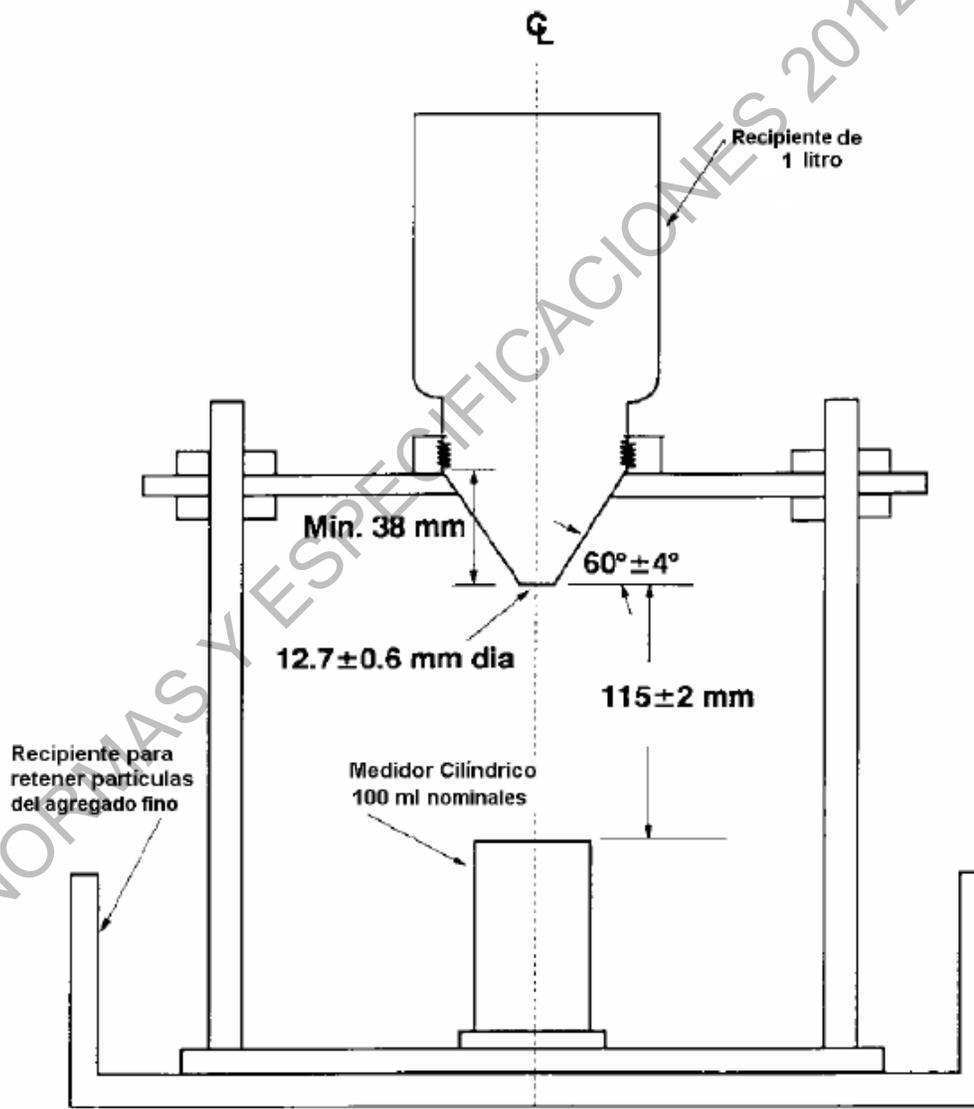


Figura 239 - 2. Sección transversal de equipo en posición de ensayo

6.2 Se calcula el volumen del medidor cilíndrico, como sigue:

$$V = \frac{1000 M}{D} \quad [239.1]$$

Donde: V: Volumen del cilindro, ml;

M: Masa neta del agua, g;

D: Densidad del agua, kg/m³ (ver Tabla 217 - 3 de la norma de ensayo INV E-217).

El volumen se debe determinar al 0.1 ml más cercano

Nota 1: Si el volumen del recipiente es mayor de 100 ml, puede ser deseable rectificar su extremo superior hasta que el volumen sea exactamente de 100 ml, para simplificar los cálculos posteriores.

7 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

7.1 *Método de prueba A – Muestra gradada estándar* – Se pesan y combinan las siguientes cantidades de agregado fino, secado y tamizado previamente de acuerdo con la norma de ensayo INV E-213. La tolerancia de cada una de estas cantidades es de ± 0.2 g.

FRACCIÓN DE TAMAÑO INDIVIDUAL	MASA, g
2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16)	44
1.18 mm (No. 16) a 600 µm (No. 30)	57
600 µm (No. 30) a 300 µm (No. 50)	72
300 µm (No. 50) a 150 µm (No. 100)	17
Total	190

7.2 *Método de prueba B – Fracciones de tamaño individual* – Se prepara una muestra separada de agregado fino de 190 g; se seca y se tamiza de acuerdo con la norma INV E-213 para cada una de las fracciones de tamaño que se indican a continuación. La tolerancia de cada una de estas cantidades es de ± 1.0 g. Las porciones no se deben mezclar. Cada tamaño se ensaya por separado.

FRACCIÓN DE TAMAÑO INDIVIDUAL	MASA, g
2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16)	190
1.18 mm (No. 16) a 600 μ m (No. 30)	190
600 μ m (No. 30) a 300 μ m (No. 50)	190

- 7.3** *Método de prueba C – Gradación como se recibe* – Se pesa la muestra (secada de acuerdo con la norma INV E–213) a través del tamiz de 4.75 mm (No. 4) y se obtiene una porción de 190 ± 1 g del material que pasa dicho tamiz para el ensayo.
- 7.4** *Densidad relativa (gravedad específica del agregado fino)* – Si la densidad relativa seca (gravedad específica) del agregado fino de la fuente es desconocida, se determina sobre el material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), de acuerdo con la norma de ensayo INV E–222. Este valor se usará en los cálculos subsecuentes, a menos que algunas fracciones de tamaño difieran en más de 0.05 de la gravedad específica típica de la muestra completa, en cuyo caso se debe determinar la gravedad específica de la fracción (o fracciones) que se está (n) probando. Un indicador de las diferencias en la gravedad específica de las diferentes fracciones del agregado fino es el desarrollo de gradaciones diferentes dentro del agregado. La gravedad específica se puede determinar sobre gradaciones con o sin fracciones de tamaños específicos de interés. Si las diferencias de gravedad específica exceden de 0.05, se debe determinar la gravedad específica del tamaño individual de 2.36 mm (No. 8) a 150 μ m (No. 100) para usar con el método A, o de las fracciones de tamaño individual para usar con el método B, ya sea por medida directa o por cálculo usando los datos de gravedad específica sobre las gradaciones con y sin la fracción de tamaño de interés. Una diferencia en gravedad específica de 0.05 cambiará el contenido de vacíos calculado en cerca de 1 %.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Se mezcla cada muestra de prueba con la espátula hasta que parezca homogénea. Se ubica en el soporte el embudo con su complemento y se centra el recipiente cilíndrico, tal como se muestra en la Figura 239 - 2. Se debe usar un dedo para bloquear la abertura del embudo. Se vierte la muestra dentro del embudo y se nivela el material en el embudo con la espátula (Figura

239 - 3). Se retira el dedo y se permite que la muestra caiga libremente dentro del recipiente cilíndrico.



Figura 239 - 3. Vertimiento de la arena dentro del embudo

- 8.2** Una vez el embudo quede vacío, se remueve el exceso de agregado fino del recipiente cilíndrico con un paso de la espátula con el ancho de la hoja vertical, usando la parte recta de su borde en suave contacto con la parte superior del recipiente cilíndrico. Hasta que esta operación esté completa, se debe tener cuidado para evitar vibraciones o cualquier disturbio que pudiera causar la compactación del agregado fino dentro del recipiente (nota 2). Se cepillan los granos adheridos en el exterior del medidor y se determina la masa del recipiente con su contenido al 0.1 gramo más cercano (Figura 239 - 4). Se recuperan todas las partículas de agregado fino para una segunda prueba.

Nota 2: Después de remover el exceso, el recipiente puede ser golpeado suavemente para compactar la muestra y facilitar la transferencia del recipiente a la balanza sin derramar nada de la muestra.



Figura 239 - 4. Determinación de la masa del recipiente con el agregado fino

- 8.3** Se combina la muestra de la bandeja con la del recipiente cilíndrico y se repite el procedimiento. Se promedian los resultados de las dos pruebas. Ver Sección 9.
- 8.4** Se registra la masa del recipiente cilíndrico vacío. También, para cada prueba, se debe registrar la masa del recipiente con el agregado fino.

9 CÁLCULOS

- 9.1** Se calcula el porcentaje de vacíos del agregado fino sin compactar para cada determinación, como sigue:

$$U = \frac{V - \left(\frac{F}{G}\right)}{V} \times 100 \quad [239.2]$$

- Donde: V: Volumen del medidor cilíndrico, ml;
- F: Masa neta del agregado fino en el medidor, g (masa bruta menos la masa del recipiente vacío);
- G: Densidad relativa seca (gravedad específica) del agregado fino;
- U: Porcentaje de vacíos en el agregado fino sin compactar.

- 9.2** Para la muestra gradada estándar (Método de prueba A), se calcula el promedio de las dos determinaciones de vacíos del agregado sin compactar y se reporta el resultado como U_s .

- 9.3** Para las fracciones de tamaño individual (Método de prueba B), se calcula como sigue:

- 9.3.1** Primero, el promedio de vacíos del agregado fino sin compactar para la determinación hecha sobre cada una de las tres muestras o fracciones de tamaño:

- U_1 : Vacíos del agregado fino sin compactar, 2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16), %;

U_2 : Vacíos del agregado fino sin compactar, 1.18 mm (No. 16) a 600 μm (No. 30), %;

U_3 : Vacíos del agregado fino sin compactar, 600 μm (No. 30) a 300 μm (No. 50), %.

9.3.2 Segundo, el promedio de vacíos del agregado fino sin compactar (U_m), incluyendo los resultados de los tres tamaños, se determina así:

$$U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \quad [239.3]$$

9.4 Para la gradación de la muestra tal como se recibe (Método de prueba C), se calcula el promedio de las dos determinaciones de los vacíos del agregado fino sin compactar y se reporta el resultado como U_R .

10 INFORME

10.1 Se reporta la siguiente información para la muestra gradada estándar (Método de prueba A):

10.1.1 Vacíos del agregado fino sin compactar (U_s) en porcentaje, redondeado a 0.1 %.

10.1.2 Valor de la gravedad específica usada en los cálculos.

10.2 Reportar los siguientes porcentajes de vacíos aproximados a 0.1 % para las fracciones de tamaño individual (Método de prueba B):

10.2.1 Vacíos del agregado fino sin compactar para las fracciones de tamaño: (a) 2.36 mm (No. 8) a 1.18 mm (No. 16) (U_1); (b) 1.18 mm (No. 16) a 600 μm (No. 30) (U_2); y (c) 600 μm (No. 30) a 300 μm (No. 50) (U_3).

10.2.2 Valor promedio de los vacíos del agregado fino sin compactar (U_m).

10.2.3 Valores de las gravedades específicas usadas en los cálculos, y si los valores de gravedad específica fueron determinados sobre una muestra gradada o sobre las fracciones de tamaño individual usadas en la prueba.

10.3 Se reporta la siguiente información para la muestra tal como se recibe (Método de prueba C):

10.3.1 Vacíos del agregado fino sin compactar (U_R) en porcentaje, redondeado a 0.1 %.

10.3.2 Valor de la gravedad específica usada en los cálculos.

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 *Precisión* – El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos por este método de ensayo se da a continuación:

MATERIAL E ÍNDICE TIPO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s) %	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s) %
<i>Precisión de un solo operador:</i>		
Arena estándar gradada ^A	0.13	0.37
Agregado fino manufacturado ^B	0.33	0.94
<i>Precisión varios laboratorios:</i>		
Arena estándar gradada ^A	0.33	0.93
Agregado fino manufacturado ^B	1.1	3.1

^A Estos estimados de precisión se basan en arena estándar gradada como se describe en la especificación ASTM C 778, la cual se considera redondeada, y es gradada de 600 μm (No. 30) a 150 μm (No. 100), y puede no ser típica de otros agregados finos.

^B Estos estimados de precisión se basan en resultados del programa de muestreo eficiente del laboratorio de referencia de materiales de la AASHTO. Los datos se basan en los análisis de los resultados de 103 pares de pruebas de 103 laboratorios. Las pruebas fueron conducidas de acuerdo con el método C, gradación tal como se recibe, sobre un agregado fino manufacturado.

Nota 3: Los valores en la columna 2 corresponden a las desviaciones estándar que han sido encontradas como apropiadas para los materiales y condiciones de prueba descritos en la columna 1. Los valores dados en la columna 3, son los límites que no deberían ser excedidos por la diferencia entre los resultados de dos pruebas realizadas apropiadamente.

11.2 *Sesgo* – Considerando que no hay material de referencia adecuado para determinar el sesgo de los procedimientos en estos métodos de prueba, no se presenta una declaración sobre el particular.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 1252 – 06

PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS PLANAS, ALARGADAS O PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS GRUESOS

INV E – 240 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación del porcentaje de partículas planas, alargadas o planas y alargadas, en un agregado grueso.
- 1.2 La norma presenta dos métodos de ensayo. El Método A presenta el procedimiento original desarrollado antes de *Superpave*, el cual está concebido para aplicaciones diferentes de *Superpave*. El Método B es una comparación entre las dimensiones máxima y mínima de las partículas y está planeado para ser empleado con las especificaciones de *Superpave*.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-240-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Partículas planas de un agregado* – Son aquellas partículas del agregado que tienen una relación ancho/espesor mayor que un valor especificado.
- 2.2 *Partículas alargadas de un agregado* – Son aquellas partículas del agregado que tienen una relación largo/ancho mayor que un valor especificado.
- 2.3 *Partículas planas y alargadas de un agregado* – Son aquellas partículas que tienen una relación entre largo/espesor mayor que un valor especificado.
- 2.4 *Largo* – Máxima dimensión de la partícula (Figura 240 - 1).
- 2.5 *Ancho* – Dimensión intermedia de la partícula. Es la máxima dimensión en un plano perpendicular al largo y al espesor (Figura 240 - 1).
- 2.6 *Espesor* – Dimensión mínima de la partícula. Es la máxima dimensión perpendicular al largo y al ancho de la partícula (Figura 240 - 1).

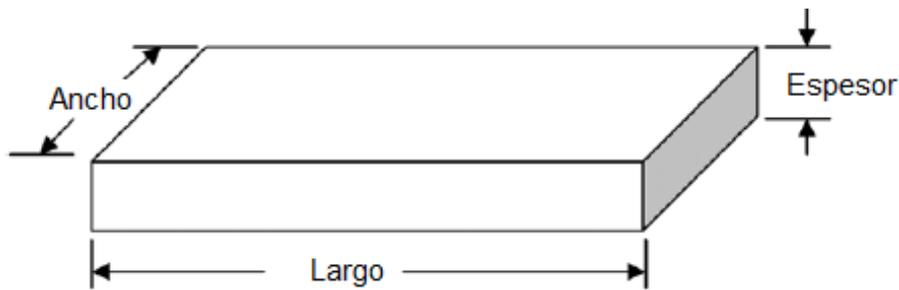


Figura 240 - 1. Dimensiones de una partícula

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 Se miden partículas individuales de agregado de una fracción de tamaño específico, para determinar las relaciones de ancho/espesor, largo/ancho o largo/espesor.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 En algunos usos de construcción, las partículas planas o alargadas de agregados pueden afectar la colocación, la compactación y el comportamiento en servicio del material.
- 4.2 Este método de ensayo provee un mecanismo para verificar el cumplimiento de las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar las características de forma relativa de agregados gruesos.

5 EQUIPO

- 5.1 El aparato de ensayo debe estar equipado con elementos para ensayar las partículas del agregado, con el fin de verificar las relaciones dimensionales mencionadas en la Sección 2.

- 5.1.1 *Dispositivo de calibración proporcional* – Los dispositivos ilustrados en las Figuras 240 - 2 y 240 - 3 son ejemplos de los innumerables aparatos aptos para este método de ensayo. El dispositivo mostrado en la Figura 240 - 2 consiste en una placa de base, con dos postes fijos y un brazo móvil montado entre los postes, de tal forma que las aberturas entre el brazo y los postes mantienen una relación constante. La posición del eje se puede ajustar para proveer la relación deseada de dimensiones

de apertura. En este dispositivo se pueden colocar las relaciones 1:2, 1:3, y 1:5. El dispositivo que se presenta en la Figura 240 - 3 tiene varios postes fijos, lo que le brinda la posibilidad de medir varias relaciones de manera simultánea.

5.1.1.1 Verificación de las relaciones – Los ajustes de las relaciones de los calibradores se deben verificar periódicamente con un calibrador apropiado.

5.2 Balanza – La balanza debe tener una precisión del 0.5 % de la masa de la muestra.

6 MUESTREO

6.1 El muestreo del agregado grueso se debe ejecutar de acuerdo con la norma INV E-201. La masa de la muestra será la indicada en dicha norma.

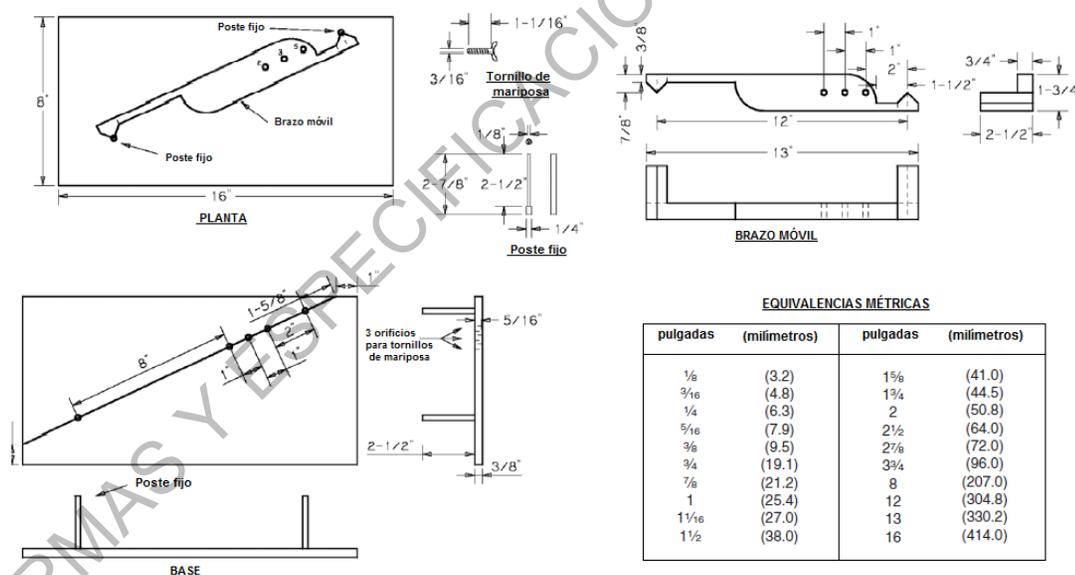


Figura 240 - 2. Calibrador proporcional

6.2 La muestra se mezcla y se reduce a una cantidad apropiada para el ensayo, usando el procedimiento descrito en la norma INV E-202. La muestra para ensayo debe tener, aproximadamente, la masa deseada cuando está seca y debe ser el resultado final de la reducción. Reducir el material a una masa exacta predeterminada no está permitido. La masa mínima de la muestra de ensayo deberá ser la siguiente:

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TAMICES DE ABERTURAS CUADRADAS)		MASA MÍNIMA PARA EL ENSAYO	
mm	pg.	kg	lb
9.5	3/8	1	2
12.5	½	2	4
19	¾	5	11
25	1	10	22
37.5	1 ½	15	33
50	2	20	44
63	2 ½	35	77
75	3	60	130
90	3 ½	100	220
100	4	150	330
112	4 ½	200	440
125	5	300	660
150	6	500	1100



Figura 240 - 3. Calibrador proporcional

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Si se requiere la determinación por masa, la muestra se seca en el horno hasta masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Si la determinación es por conteo de partículas, no es necesario el secado.
- 7.2** La muestra de agregado grueso que va a ser ensayada se tamiza de acuerdo con la norma INV E-213. Usando el material retenido en el tamiz de 9.5 mm (3/8") o de 4.75 mm (No. 4), según esté especificado, se reduce cada fracción

de tamaño presente en una cantidad de 10 % o más de la muestra original, de acuerdo con la norma INV E-202, hasta que se obtengan unas 100 partículas de cada fracción requerida. Las fracciones cuya masa sea menor del 10 % de la masa total de la muestra original, no serán sometidas a ensayo y deberán ser descartadas.

7.3 *Método A* – Se prueban una a una las partículas de cada fracción y se colocan, según el resultado, en uno de cuatro grupos: (1) planas; (2) alargadas; (3) partículas que satisfacen simultáneamente los criterios de los grupos 1 y 2 (planas y alargadas); y (4) partículas que no son ni planas ni alargadas. Se deberán someter todas las partículas a la determinación del aplanamiento y del alargamiento, de acuerdo con los procedimientos descritos en los numerales 7.3.1.1 y 7.3.1.2. Si se determina que la partícula es plana pero no alargada, se coloca en el grupo (1). Si es alargada pero no plana, se coloca en el grupo (2). Si es alargada y plana, se colocará en el grupo (3); y si no es ni plana ni alargada, se colocará en el grupo (4).

7.3.1 Se usa el calibrador proporcional posicionado en la relación apropiada (Figura 240 - 4), de la siguiente manera:

7.3.1.1 *Ensayo de partículas planas* – Se ajusta la abertura más grande del dispositivo al ancho máximo de la partícula. La partícula es plana, si al ser colocada por su espesor máximo atraviesa la abertura más pequeña (Figura 240 - 4a).

7.3.1.2 *Ensayo de partículas alargadas* – Se ajusta la abertura más grande a la longitud de la partícula. La partícula es alargada, si al ser colocada por su ancho máximo atraviesa la abertura más pequeña (Figura 240 - 4b).

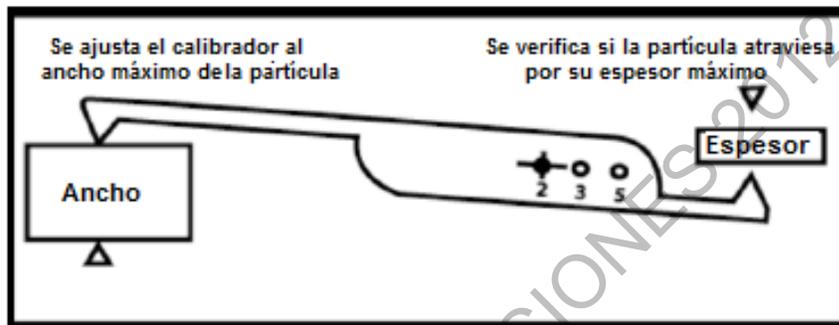
7.3.2 Después de que las partículas han sido clasificadas en los grupos descritos en el numeral 7.3, se determina la proporción de cada grupo en la muestra, ya sea por conteo o por masa, según sea requerido.

7.4 *Método B* – Se prueban una a una las partículas de cada fracción y se separan en uno de dos grupos: (1) planas y alargadas y (2) no calificadas como planas y alargadas.

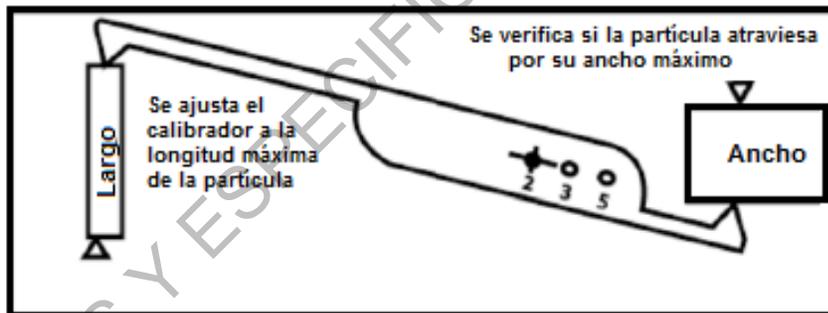
7.4.1 Se usa el calibrador proporcional, posicionado en la relación deseada, de la siguiente manera:

7.4.1.1 *Ensayo de partículas planas y alargadas* – Se ajusta la abertura más grande del dispositivo a la longitud máxima de la partícula. Se considera que partícula es plana y alargada, si al ser colocada por su espesor máximo atraviesa la abertura más pequeña (Figura 240 - 4c).

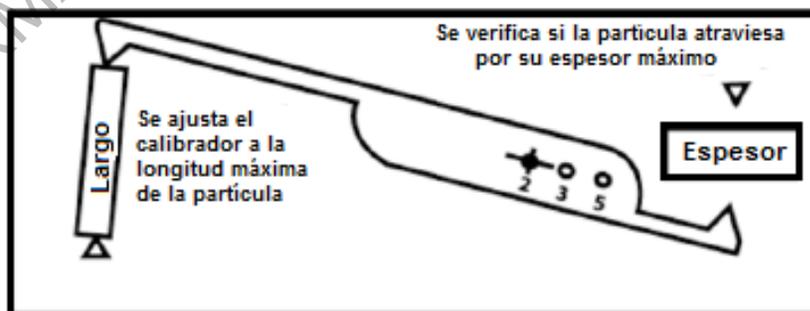
7.4.2 Después de que las partículas han sido clasificadas en los dos grupos descritos en el numeral 7.4, se determina la proporción de cada grupo en la muestra, ya sea por conteo de partículas o por determinación de masa, según sea requerido.



a. ENSAYO PARA PARTÍCULAS PLANAS



b. ENSAYO PARA PARTÍCULAS ALARGADAS



c. ENSAYO PARA PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS

Figura 240 - 4. Uso del calibrador proporcional

8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula el porcentaje de partículas de cada grupo, redondeado al 1 % más cercano, para cada tamaño de tamiz mayor que 9.5 mm (3/8") o 4.75 mm (No. 4), según se haya requerido.

9 INFORME

- 9.1** El informe debe incluir lo siguiente:

9.1.1 Identificación del agregado grueso ensayado.

9.1.2 Granulometría de la muestra de agregado, mostrando el % retenido en cada tamiz.

9.1.3 *Para pruebas por el Método A:*

9.1.3.1 Número de partículas retenidas en cada tamaño de tamiz utilizado.

9.1.3.2 Porcentajes calculados por número o por masa o ambos, para cada grupo: (1) partículas planas; (2) partículas alargadas, y (3) total de partículas que son simultáneamente planas y alargadas; y (4) partículas que no son ni planas ni alargadas.

9.1.3.3 Las relaciones de dimensiones utilizadas en la prueba.

9.1.4 *Para pruebas por el Método B:*

9.1.4.1 Número de partículas retenidas en cada tamaño de tamiz utilizado.

9.1.4.2 Porcentajes calculados por número o por masa o ambos, para partículas planas y alargadas, para cada tamaño ensayado.

9.1.4.3 Las relaciones de dimensiones utilizadas en la prueba.

9.1.5 Cuando sea requerido, se calculan porcentajes promedios ponderados, basados en las proporciones reales o asumidas de los diferentes

tamaños ensayados. Se debe reportar la granulometría utilizada para el promedio ponderado, si es diferente de la citada en el numeral 9.1.2.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 Precisión – Los valores de precisión que se muestran en las Tablas 240 - 1, 240 - 2 y 240 - 3, son promedios derivados de muestras ensayadas con relación 1:3, en el “Aggregate Proficiency Sample Program”.

10.2 Sesgo – Considerando que no se ha aceptado un material de referencia apropiado para determinar el sesgo para este método de ensayo, no se presenta ninguna declaración al respecto.

Tabla 240 - 1. Porcentaje de partículas planas y alargadas entre 19.0 mm y 12.5 mm

PRECISIÓN	RESULTADO DEL ENSAYO, %	(1s) %	(d2s) %
Un solo operario	2.7	51.2	144.8
Varios laboratorios		88.5	250.3

Tabla 240 - 2. Porcentaje de partículas planas y alargadas entre 12.5 mm y 9.5 mm

PRECISIÓN	RESULTADO DEL ENSAYO, %	(1s) %	(d2s) %
Un solo operario	34.9	22.9	64.7
Varios laboratorios		43.0	121.8

Tabla 240 - 3. Porcentaje de partículas planas y alargadas entre 9.5mm y 4.75 mm

PRECISIÓN	RESULTADO DEL ENSAYO, %	(1s) %	(d2s) %
Un solo operario	24.1	19.0	56.3
Varios laboratorios		46.1	130.3

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4791 – 10

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS AL CHOQUE TÉRMICO

INV E – 241 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma indica el procedimiento para determinar la resistencia de los agregados a los cambios bruscos de temperatura, cuando son sometidos a calentamiento y secado durante la fabricación de las mezclas asfálticas en caliente.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El ensayo consiste en el calentamiento de agregados previamente humedecidos, hasta alcanzar 700° C (1292° F) durante 3 minutos, y en el cálculo de la proporción de partículas que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y de la variación de su resistencia al desgaste tras el choque térmico.

3 EQUIPO Y MATERIALES

- 3.1** *Agua destilada o desmineralizada.*
- 3.2** *Horno – Calentado por radiación, dotado de un sistema de regulación que permita mantener la muestra de ensayo a una temperatura de 700 ± 100°C (1292 ± 180° F) durante el tiempo especificado. Sus dimensiones interiores mínimas deben ser: ancho 260 mm (10.24"); altura 160 mm (6.30"); fondo 450 mm (17.72").*
- 3.3** *Tamices – Con tamaños de abertura de 19 mm (¾"), 12.5 mm (½"), 9.5 mm (3/8") 4.75 mm (No. 4) y 1.70 mm (No. 12).*
- 3.4** *Balanza – Para la determinación de la masa con una precisión de 0.5 g.*
- 3.5** *Horno – De circulación forzada de aire, regulado por un termostato que pueda mantener la temperatura uniforme a 110 ± 5°C (230 ± 9° F).*

- 3.6** *Placa de ensayo metálica* – Resistente al calor, con un espesor de 4 ± 0.5 mm (0.157 ± 0.02 "); longitud de 440 ± 5 mm (17.32 ± 0.20 ") y ancho de 240 ± 5 mm (9.45 ± 0.20 "), provista de un reborde hacia arriba de 12 ± 1 mm (0.47 ± 0.04 ") (Figura 241 - 1).
- 3.7** *Marco metálico de soporte para la placa de ensayo* – Que deje un espacio mínimo de 10 mm entre la base de la placa y el fondo del horno (Figura 241 - 2).
- 3.8** *Placa resistente al calor* – De 10 ± 1 mm (0.40 ± 0.04 ") de espesor; 450 ± 5 mm (17.72 ± 0.20 ") de altura y 250 ± 5 mm (9.85 ± 0.20 ") de ancho.
- 3.9** *Equipo misceláneo* – Pinzas para introducir y extraer la placa de ensayo del horno; paleta de base plana de 220 mm (8.66") de ancho y 350 mm (13.78") de longitud para extender la muestra de ensayo sobre la placa; tela de tamiz metálico resistente al calor con aberturas de aproximadamente 2 mm (No. 10) de dimensiones 250 ± 5 mm (9.85 ± 0.20 ") por 445 ± 5 mm (17.52 ± 0.20 "), para cubrir la muestra de ensayo; recipiente metálico de tamaño suficiente para albergar la muestra; toalla absorbente, etc.

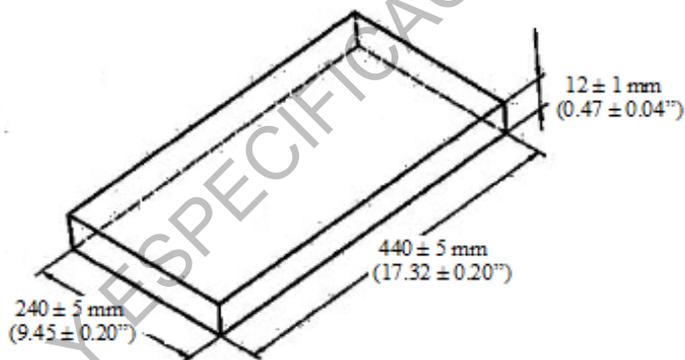


Figura 241 - 1. Placa de ensayo

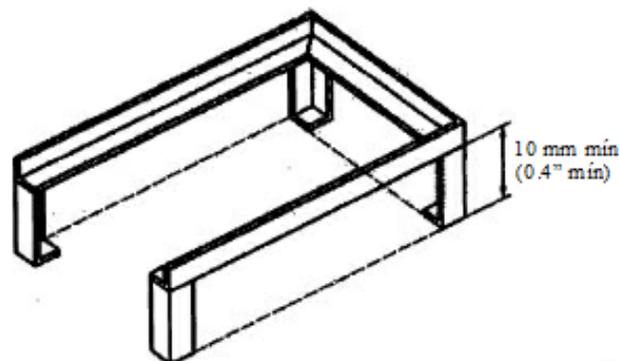


Figura 241 - 2. Ejemplo de soporte para placa de ensayo

4 MUESTREO

- 4.1** La obtención de la muestra se debe realizar de acuerdo con la norma INV E–201 y se reducirá a un tamaño adecuado para el ensayo por realizar, según la norma INV E–202. La masa de la muestra de laboratorio debe ser suficiente para permitir la realización de 2 ensayos de resistencia a la degradación en la Máquina de Los Ángeles (granulometría B) de acuerdo con la Norma INV E–218. Se deberá ensayar una sub–muestra no sometida a calentamiento y otra después de haber sido sometida al choque térmico.

Nota 1: El tamaño de la muestra de ensayo sometida al choque térmico deberá ser mayor que el de la muestra ensayada sin calentamiento requerido por la norma INV E–218, por la posible degradación de las partículas en el horno.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Preparación de las muestras de ensayo:

- 5.1.1** Se lavan y secan las dos sub–muestras de ensayo hasta obtener masa constante. Se pesa la primera y se anota su masa como M_1 , expresada en gramos.

5.2 Exposición al choque térmico:

- 5.2.1** Se coloca la primera sub–muestra de ensayo en un recipiente y se cubre con agua destilada o desmineralizada hasta una altura de 20 mm (0.80") por encima de la superficie del agregado, y se deja que se sature durante 2 ± 0.5 horas a temperatura ambiente.
- 5.2.2** Se vierte el agregado sobre la toalla absorbente de la humedad y se seca con suavidad con los extremos libres de ésta, hasta que se aprecie a la vista que la superficie está seca.
- 5.2.3** Se eleva la temperatura del horno hasta $700 \pm 50^\circ \text{C}$ ($1292 \pm 180^\circ \text{F}$).
- 5.2.4** Se calienta la placa de ensayo en el horno durante 5 minutos como mínimo y, en seguida, se coloca sobre la placa resistente al calor; se trasvasa con la paleta una porción de un poco más de 1000 g (2.20 lb) de la sub-muestra de ensayo preparada y se extiende sobre la placa de ensayo, calentada previamente. Se cubre el agregado con la tela de tamiz metálico e inmediatamente después se pasan la placa de ensayo

y su contenido al horno, se cierra la puerta y se deja calentar la muestra durante 180 ± 5 segundos.

- 5.2.5** Se extrae la placa de ensayo del horno y se coloca sobre la placa resistente al calor. Inmediatamente, se traspasa la porción de agregado al recipiente para albergar la muestra y se deja enfriar.
- 5.2.6** Se repite esta operación con porciones sucesivas de un poco más de 1000 g (2.20 lb), hasta completar 5 porciones.
- 5.2.7** El tiempo entre el trasvase del agregado desde el horno hasta el recipiente y la recarga de la placa de ensayo con una nueva porción de ± 1000 g (2.20 lb), su colocación en el horno y el cierre de la puerta no deberá ser superior a 20 s.
- 5.2.8** Cuando se haya terminado el trasvase de toda la sub-muestra de ensayo desde el horno al recipiente, se deja enfriar a temperatura ambiente. Se tamiza la sub-muestra por el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y se anota la masa de la masa de la fracción que lo pasa, M_2 , en gramos.
- 5.2.9** Se divide la sub-muestra en las porciones definidas para la gradación B en la Tabla 218 - 2 de la norma INV E-218, para la ejecución del ensayo de desgaste.

5.3 *Determinación de la resistencia al desgaste:*

- 5.3.1** Se determina la resistencia a la degradación de la sub-muestra de ensayo expuesta al choque térmico, de acuerdo con la norma INV E-218.
- 5.3.2** Se repite el mismo ensayo de degradación con la segunda sub-muestra de ensayo, la cual no fue expuesta al choque térmico.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula el material degradado que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No. 4), por efecto del choque térmico (I), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad [241.1]$$

- Donde: I: Material degradado por efecto del choque térmico, %;
- M_1 : Masa inicial de la sub-muestra sometida a choque térmico, g (numeral 5.1.1);
- M_2 : Masa del material degradado que pasó el tamiz de 4.75 mm (No. 4), g (numeral 5.2.8).

6.2 Se calcula la pérdida de resistencia debida al choque térmico (V_{LA}), de acuerdo con la ecuación:

$$V_{LA} = LA_2 - LA_1 \quad [241.2]$$

- Donde: LA_1 : Resistencia a la degradación en la máquina de Los Ángeles sin calentamiento, determinada de acuerdo con la norma INV E-218;
- LA_2 : Resistencia a la degradación en la máquina de Los Ángeles tras el choque térmico, determinada de acuerdo con la norma INV E-218.

7 NORMAS DE REFERENCIA

UNE-EN 1367-5: 2003

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA Y LA ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS, AGREGADOS GRUESOS Y MEZCLAS DE AGREGADOS, MEDIANTE UN PROCEDIMIENTO COMBINADO DE SATURACIÓN AL VACÍO E INMERSIÓN RÁPIDA

INV E – 242 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de la densidad relativa y la absorción de agregados finos (método A) y de agregados gruesos y mezclas de agregados (método B).

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Se seca una muestra suficiente de agregado hasta masa constante. Para cada prueba, se toman dos muestras representativas del agregado seco. Una de ellas se coloca en una cámara de vacío dentro de una bolsa plástica y se abre bajo agua para una saturación rápida del agregado. Con las masas seca y sumergida de la muestra se determina su densidad relativa aparente.
- 2.2** La segunda muestra del mismo agregado se ensaya en un picnómetro metálico de volumen conocido. Conociendo la masa del picnómetro lleno de agua, la del agregado seco y la del picnómetro con la muestra y con agua, se determina la densidad en estado no saturado.
- 2.3** Los resultados de los ensayos sobre las dos muestras permiten calcular la absorción y la densidad relativa (SH).
- 2.4** El ensayo se puede completar en menos de 30 minutos y se puede emplear para determinar rápidamente las propiedades de un agregado pétreo en los laboratorios de obra.
- 2.5** El ensayo es aplicable a agregados fino y grueso, así como a mezclas de agregados, empleando bolsas plásticas apropiadas y picnómetros de tamaños adecuados.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** La densidad relativa (gravedad específica) de los agregados es la propiedad utilizada generalmente para el cálculo del volumen que ellos ocupan en mezclas asfálticas y de hormigón, así como en otras donde la dosificación o el análisis se realicen sobre la base del volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) se emplea, también, en el cálculo de vacíos en el agregado, en aplicación de la norma INV E-217. La densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS) se usa si el agregado está en tal condición, es decir, si su absorción ha sido satisfecha. A la inversa, la densidad relativa (gravedad específica) seca (SH) se emplea para los cálculos cuando el agregado se encuentra seco o se asume que lo está.
- 3.2** La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) son propias del material sólido que constituye las partículas, sin incluir los poros dentro de las mismas que son accesibles al agua.
- 3.3** Los valores de la absorción se emplean en el cálculo del cambio de masa que sufre un agregado a causa del agua absorbida por los poros de sus partículas constitutivas, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para satisfacer su potencial de absorción.

Nota 1: Los ensayos a los cuales hacen referencia las normas INV E-222 e INV E-223 también sirven para determinar estas propiedades de los agregados pétreos. El método al cual se refiere la presente norma da lugar a valores que pueden coincidir o no con los determinados a través de los otros ensayos.

Nota 2: La calidad de los resultados obtenidos al aplicar esta norma depende de la competencia del personal que realiza las pruebas y de la capacidad, la calibración y el mantenimiento del equipo y materiales utilizados.

4 EQUIPO

- 4.1** *Balanza* – Con bastante capacidad y con sensibilidad suficiente para permitir el cálculo de la gravedad específica de muestras con, al menos, cuatro cifras significativas; es decir, al menos tres cifras decimales. Deberá estar equipada con un dispositivo apropiado para pesar muestras sumergidas en agua. El alambre de suspensión enganchado a la escala debe romper la superficie del agua en un solo punto y deberá tener un diámetro máximo de 3 mm (0.125"). La balanza debe tener una tolerancia básica de ± 0.1 % y permitir lecturas con aproximación a 0.1 g.

Nota 3: Puesto que no hay más cifras significativas en el cociente (gravedad específica) que las que aparecen tanto en el dividendo (masa de la muestra en el aire) como en el divisor (volumen de la muestra, obtenido mediante la diferencia en masa de la misma en el aire y en el agua), esto significa que la balanza debe tener una sensibilidad capaz de suministrar los valores de masa y volumen cuando menos con cuatro cifras.

- 4.2** *Horno* – Capaz de mantener la temperatura a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.3** *Tanque para agua* – Con dimensiones mínimas (longitud \times ancho \times altura) de $610 \times 460 \times 460 \text{ mm}$ ($24 \times 18 \times 18''$) o un recipiente cilíndrico con un diámetro mínimo de 460 mm ($18''$) y una altura mínima de 460 mm ($18''$), para sumergir completamente las muestras en agua mientras están suspendidas de la balanza. El tanque debe estar equipado con un orificio de desagüe para mantener constante el nivel del agua y un control térmico que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

Nota 4: Es preferible mantener constante la temperatura del agua empleando un calentador controlado. También, para reducir la posibilidad de que la bolsa toque las paredes del tanque de agua, es aconsejable elevarlo hasta un nivel que permita al operador colocar la muestra en el mecanismo de pesaje sin agacharse y que facilite la colocación de la muestra y de la bolsa dentro del tanque de agua.

- 4.4** *Sujetador de la muestra* – Sin bordes agudos, para el desplazamiento de agua de la muestra.

Nota 5: Se ha encontrado que los sujetadores cubiertos de plástico son apropiados para evitar que las bolsas plásticas se perforen accidentalmente dentro del baño de agua.

- 4.5** *Cámara de vacío* – Con una bomba capaz de evacuar una cámara sellada y hermética con un vacío de 6 mm Hg (6 Torr) a nivel del mar. El dispositivo debe sellar automáticamente la bolsa plástica y expulsar de nuevo el aire dentro de la cámara de manera controlada, para asegurar una conformidad apropiada del plástico con la muestra que se ensaya. Los tiempos de escape del aire y de la operación de vacío deben ser puestos a punto en la fábrica de manera que la cámara sea llevada la presión atmosférica en un lapso de 80 a 125 segundos luego de completar la operación de vacío. El sistema de vacío debe estar provisto de un seguro para controlar la apertura de la puerta de la cámara.

- 4.6** *Manómetro indicador de vacío* – Independiente del dispositivo de sellado al vacío, que pueda ser colocado directamente dentro de la cámara para verificar el comportamiento del vacío y la condición del sellado de la puerta de la cámara de la unidad. El manómetro debe ser capaz de leer una presión por debajo de 3 mm Hg (3 Torr) y ser legible a 1 mm Hg (1 Torr).

- 4.7** *Bolsas plásticas* – Para usar con la cámara de vacío. Deben ser de dos tamaños. Las bolsas pequeñas deben tener una abertura de 235 mm ($9.25''$) como mínimo y de 260 mm ($10.25''$) como máximo, mientras que la abertura de las bolsas grandes se debe encontrar entre 375 mm ($14.75''$) y 394 mm ($15.5''$). Las bolsas deben ser de un material plástico que sea resistente a las perforaciones e impermeable al agua. Las bolsas deben tener un espesor mínimo de 0.127 mm ($0.005''$). Con cada despacho, el fabricante deberá

informar la gravedad específica aparente de las bolsas, la cual deberá ser tomada en cuenta en los cálculos que la requieran.

- 4.8** *Picnómetro pequeño de metal (Figura 242 - 1)* – Con diámetro interno de 137 ± 0.2 mm (7.776 ± 0.008 ") y altura de 114 ± 0.80 mm (4.5 ± 0.03 "), para el ensayo de agregados finos. El picnómetro debe ser maquinado, para garantizar que todas sus superficies sean lisas. El interior de su tapa debe estar maquinado con un ángulo de 5° , de manera de crear una superficie cónica invertida. El picnómetro deberá estar equipado con una banda graduada para la medida de la temperatura, que permita al operador controlar visualmente la temperatura durante el ensayo.

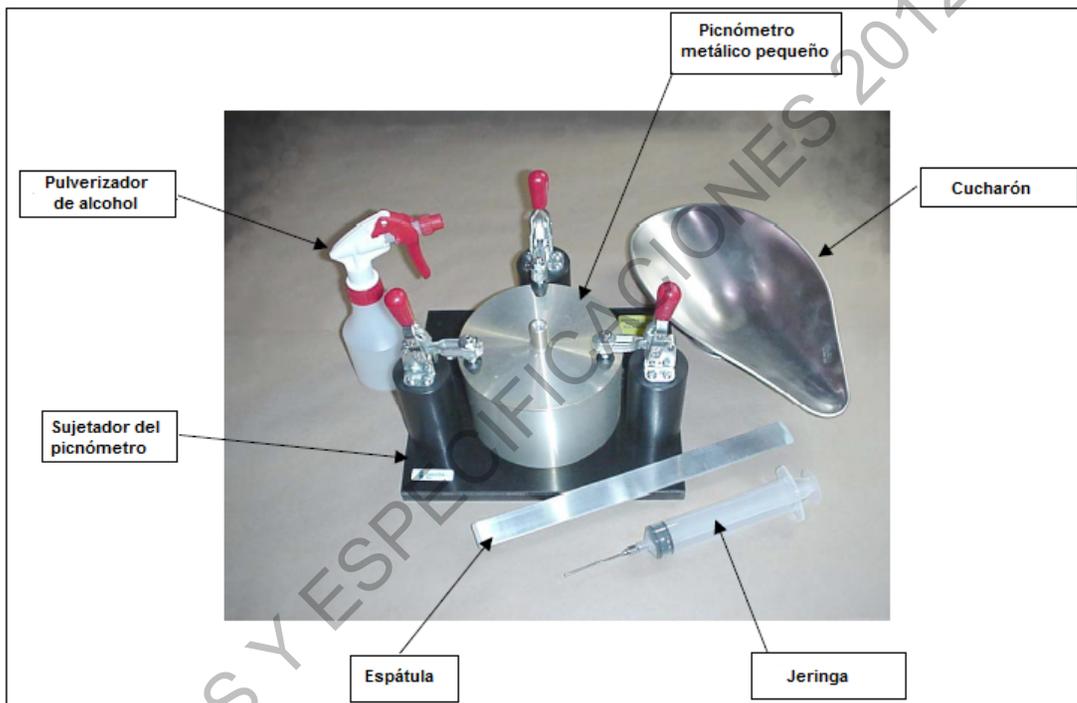


Figura 242 - 1. Elementos para el ensayo de agregados finos

- 4.9** *Picnómetro grande de metal (Figura 242 - 2)* – Con diámetro interno de 198 ± 0.2 mm (5.375 ± 0.008 ") y altura de 89 ± 0.40 mm (3.5 ± 0.016 "), para el ensayo de agregados gruesos y mezclas de agregados. El picnómetro debe ser maquinado, para garantizar que todas sus superficies sean lisas. El interior de su tapa debe estar maquinado con un ángulo de 5° , de manera de crear una superficie cónica invertida. El picnómetro deberá estar equipado con una banda graduada para la medida de la temperatura, que permita al operador controlar visualmente la temperatura durante el ensayo.

- 4.10** *Dispositivo de sujeción del picnómetro para agregado fino (Figura 242 - 1) –* Para sostener y asegurar la tapa del picnómetro pequeño, con el fin evitar que se levante durante el ensayo.
- 4.11** *Accesorios –* Cuchillo para cortar bolsas, o tijeras; botella con pulverizador llena de alcohol isopropílico; recipiente de suficiente tamaño para alojar el picnómetro totalmente sumergido en agua; recipientes con agua para alimentar el picnómetro durante el ensayo; recipiente con una cubierta de malla para recolectar los excesos de agua; jeringa cuyo diámetro no exceda de 3 mm (0.125"), brocha de pintura pequeña, toalla y espátula de metal de 25 ± 5 mm (1 ± 0.2 " de ancho.
- 4.12** *Láminas de caucho –* Para proteger las bolsas plásticas contra roturas causadas por los bordes agudos de las partículas del agregado grueso y del agregado mezclado. Su gravedad específica aparente deberá ser suministrada por el fabricante.
- 4.13** *Termómetro –* Con marcaciones cada 1° C (1.8° F).



Figura 242 - 2. Elementos para el ensayo de agregados gruesos

5 VERIFICACIÓN

5.1 Verificación del sistema de vacío:

- 5.1.1 Se debe verificar la calibración del vacío del aparato anualmente, luego de reparaciones importantes y después de cada envío o traslado.
- 5.1.2 La verificación se debe realizar con un manómetro de vacío que pueda ser ubicado dentro de la cámara y leer el ajuste de vacío del dispositivo de sellado.
- 5.1.3 Se coloca el manómetro dentro de la cámara y se registra el ajuste, mientras la unidad de vacío está operando. El manómetro debe indicar una presión de 6.0 mm Hg (6 Torr) o menos. La unidad no se debe usar si la lectura del manómetro es mayor de 6 mm Hg (6 Torr).
- 5.1.4 El manómetro de vacío usado para la verificación se debe calibrar anualmente.

Nota 6: Los manómetros en línea, aunque son capaces de indicar el comportamiento de vacío de la bomba, no son apropiados para uso dentro de las cámaras de vacío y no miden apropiadamente los niveles de vacío.

5.2 Calibración del picnómetro pequeño:

- 5.2.1 El picnómetro se debe acondicionar antes del ensayo a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), colocándolo dentro de un recipiente con agua a esa temperatura. Se debe usar un indicador de nivel para nivelar el dispositivo de sujeción del picnómetro.
- 5.2.2 Se remueve el picnómetro del agua, se seca con una toalla, se coloca en el dispositivo de sujeción y se empuja hasta que hace contacto con los topes.
- 5.2.3 Se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) hasta una marca ubicada unos 10 mm (9.375") de su borde superior (Figura 242 - 3). Empleando la botella pulverizadora, se rocía alcohol sobre la superficie del agua para remover las burbujas.



Figura 242 - 3. Llenado del picnómetro pequeño con agua

- 5.2.4** Se coloca cuidadosamente la tapa del picnómetro y se cierran las abrazaderas en el sujetador.
- 5.2.5** Usando la jeringa llena con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), se llena lentamente el picnómetro a través del orificio de llenado que está en el vástago de la tapa (Figura 242 - 4). Se debe asegurar que la aguja ha penetrado lo suficiente para que su punta quede ubicada bajo el nivel de agua en el picnómetro. La aplicación cuidadosa de agua con la aguja previene la formación de burbujas dentro del picnómetro. Se llena el picnómetro hasta que el agua sale a través del orificio de 3 mm ($1/8''$) ubicado en la superficie de la tapa.



Figura 242 - 4. Uso de la jeringa para completar el llenado del picnómetro pequeño con agua

- 5.2.6** Se seca con una toalla cualquier vestigio de agua presente en la tapa del picnómetro.

- 5.2.7** Se coloca el sujetador con el picnómetro en la balanza y se registra la masa con aproximación a 0.1 g (Figura 242 - 5).



Figura 242 - 5. Pesaje del picnómetro lleno de agua

- 5.2.8** Se limpia el picnómetro y se repiten los pasos 5.2.1 a 5.2.7 otras dos veces y se promedian las masas de calibración obtenidas en el paso 5.2.7. Si el rango en el cual se encuentran las tres masas es mayor de 0.5 g, ello significa que la prueba no se ha efectuado apropiadamente. Entonces, se debe verificar si el dispositivo de sujeción está nivelado. También, se debe comprobar que la punta de la aguja durante la inyección de agua esté por debajo del nivel de agua en el picnómetro y que el líquido se haya aplicado cuidadosamente. Así mismo, se deben verificar las temperaturas del agua y del picnómetro. Finalmente, se repite el procedimiento hasta que las tres masas se encuentren en el rango de 0.5 g.

- 5.2.9** El picnómetro se debe calibrar cada día que se use.

5.3 *Calibración del picnómetro grande:*

- 5.3.1** El picnómetro se debe acondicionar antes del ensayo a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), colocándolo dentro de un recipiente con agua a esa temperatura.
- 5.3.2** Se remueve el picnómetro del agua, se seca con una toalla y se coloca sobre una superficie nivelada.

- 5.3.3** Se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) hasta unos 10 mm (9.375") de su borde superior (Figura 242 - 6). Empleando la botella pulverizadora, se rocía alcohol sobre la superficie del agua para remover las burbujas.



Figura 242 - 6. Picnómetro grande lleno de agua

- 5.3.4** Se coloca cuidadosamente la tapa del picnómetro (Figura 242 - 7) ejerciendo una presión suave y rotando la tapa para asegurar un buen contacto. Parte del agua puede salir del recipiente por el agujero superior y los lados de la tapa. Usando la jeringa llena con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), se llena lentamente el picnómetro a través del orificio de llenado que está en el vástago de la tapa (Figura 242 - 8). Se debe asegurar que la aguja ha penetrado lo suficiente para que su punta quede ubicada bajo el nivel de agua en el picnómetro. La aplicación cuidadosa de agua con la aguja previene la formación de burbujas dentro del picnómetro. Se llena el picnómetro hasta que el agua sale a través del orificio de 3 mm ($1/8''$) ubicado en la superficie de la tapa.



Figura 242 - 7. Colocación de la tapa sobre el picnómetro

- 5.3.5** Se seca con una toalla cualquier vestigio de agua presente en la tapa del picnómetro (Figura 242 - 9).

5.3.6 Se coloca el picnómetro en la balanza y se registra su masa con aproximación a 0.1 g (Figura 242 - 10).



Figura 242 - 8. Uso de la jeringa para completar el llenado del picnómetro grande con agua



Figura 242 - 9. Secado exterior del picnómetro grande

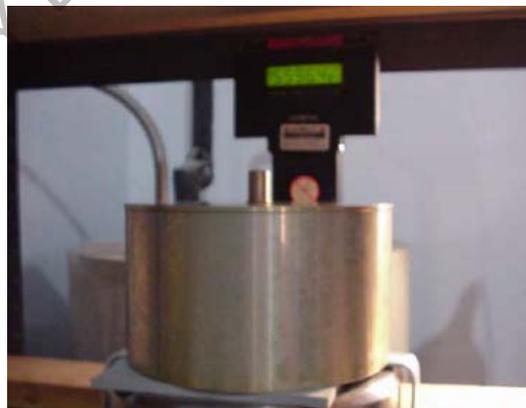


Figura 242 - 10. Pesaje del picnómetro grande

- 5.3.7** Se limpia el picnómetro y se repiten los pasos 5.3.1 a 5.3.6 otras dos veces y se promedian las masas de calibración obtenidas en el paso 5.3.6. Si el rango en el cual se encuentran las tres masas es mayor de 1.0 g, ello significa que la prueba no se ha efectuado apropiadamente. Entonces, se debe verificar si el picnómetro está nivelado. También, se debe comprobar que la punta de la aguja durante la inyección de agua esté por debajo del nivel de agua en el picnómetro y que el líquido se haya aplicado cuidadosamente. Así mismo, se deben verificar las temperaturas del agua y del picnómetro. Finalmente, se repite el procedimiento hasta que las tres masas se encuentren en el rango de 1.0 g.
- 5.3.8** El picnómetro se debe calibrar cada día que se use.

6 MUESTREO

6.1 *Muestras de agregado fino (Método A):*

- 6.1.1** El muestreo se deberá realizar en acuerdo con la norma INV E–201. El material deberá ser mezclado completamente y reducido para obtener una muestra de 1000 ± 5 g para el ensayo de densidad aparente y dos muestras de 500 ± 3 g para la determinación de la densidad aparente bulk. Para la reducción de la muestra, se deben emplear los procedimientos descritos en la norma INV E–202.

6.2 *Muestras de agregado grueso (Método B):*

- 6.2.1** El muestreo se deberá realizar en acuerdo con la norma INV E–201.
- 6.2.2** El agregado grueso o el agregado combinado se seca hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ$ C ($230 \pm 9^\circ$ F), se mezcla completamente y se reduce para obtener una muestra de 2000 ± 10 g para el ensayo de densidad aparente y dos muestras de 1000 ± 10 g para la determinación de la densidad aparente bulk. Para la reducción de la muestra, se deben emplear los procedimientos descritos en la norma INV E–202.
- 6.2.3** Si la muestra se va a ensayar en dos o más fracciones, se debe determinar su gradación de acuerdo con la norma INV E–213, incluyendo los tamices utilizados para separar las fracciones a utilizar en este ensayo.

Nota 7: Cuando se ensaye un agregado grueso con un tamaño máximo nominal que requiera muestras de mayor tamaño, puede resultar más conveniente realizar la prueba sobre dos o más sub-muestras, combinado los valores obtenidos para efectos de los cálculos.

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Método A, ensayo del agregado fino:

7.1.1 Se verifica que la temperatura del agua que se va a emplear en el ensayo se encuentre a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

7.1.2 Antes del ensayo, se debe acondicionar el picnómetro a una temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), colocándolo en un tanque con agua a dicha temperatura.

7.1.3 Determinación de la densidad aparente bulk:

7.1.3.1 Se verifica que las muestras se encuentren secas a masa constante.

7.1.3.2 Para un solo ensayo, se seleccionan y separan dos muestras (muestras A y B) de $500 \pm 3 \text{ g}$ cada una para ser ensayadas en el picnómetro y una de $1000 \pm 5 \text{ g}$ para el ensayo de saturación al vacío.

7.1.3.3 Se permite que cada muestra se enfríe a temperatura ambiente.

7.1.3.4 Se coloca el picnómetro vacío en el sujetador y se empuja hasta que haga contacto con los topes.

7.1.3.5 Se pesa una muestra de $500 \pm 3 \text{ g}$ a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) y se registra su masa como A, con una aproximación de 0.1 g (columna A del formato del Anexo A).

7.1.3.6 Los pasos 7.1.3.7 a 7.1.3.14 se deberán completar en menos de 2 minutos.

7.1.3.7 Se vierten aproximadamente 500 ml de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) dentro del picnómetro. Esto equivale a llenarlo más o menos hasta la mitad (Figura 242 - 11).



Figura 242 - 11. Llenado de la mitad del picnómetro pequeño

- 7.1.3.8** Se coloca la muestra de manera lenta y uniforme dentro del picnómetro, verificando que no ocurra ninguna pérdida (Figura 242 - 12). De ser necesario, se empleará una brocha para barrer cualquier sobrante hacia el picnómetro. Si ocurren pérdidas, la prueba se deberá reiniciar.



Figura 242 - 12. Adición de la muestra al picnómetro

- 7.1.3.9** Se toma una espátula de metal y se empuja hacia la circunferencia interior del fondo del picnómetro (Figura 242 - 13). En seguida, se arrastra de manera suave y lenta hacia el centro del picnómetro repitiendo el procedimiento 7 veces más, hasta que toda la circunferencia interior del picnómetro quede cubierta en ocho ángulos iguales, es decir, cada 45° hasta que se vuelva a alcanzar el punto inicial. De ser necesario, se usará una botella con agua a presión para enjuagar dentro del picnómetro cualquier residuo de muestra que permanezca en la espátula.



Figura 242 - 13. Inserción de la espátula dentro del picnómetro

7.1.3.10 Se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) hasta, aproximadamente, 10 mm ($3/8''$) del borde. Es importante que el agua se mantenga a 10 mm ($3/8''$) o un poco más abajo, para evitar derrames durante la colocación de la tapa.

7.1.3.11 Empleando la botella con pulverizador llena de alcohol isopropílico se rocía alcohol sobre la superficie del agua para remover las burbujas (Figura 242 - 14).



Figura 242 - 14. Aplicación de alcohol para remover las burbujas de aire

7.1.3.12 Se coloca cuidadosamente la tapa del picnómetro y se aseguran las abrazaderas (Figura 242 - 15). Empleando la jeringa, se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) de manera lenta a través del orificio del vástago de la tapa. Se debe asegurar que la aguja ha penetrado lo suficiente para que su punta quede ubicada bajo el nivel de agua en el picnómetro. La aplicación cuidadosa de agua con la aguja previene la formación de burbujas dentro del picnómetro.

7.1.3.13 Se llena el picnómetro hasta que el agua rebose el orificio de 3 mm (1/8") ubicado en la superficie de la tapa.

7.1.3.14 Se seca con una toalla cualquier vestigio de agua presente en la tapa del picnómetro.



Figura 242 - 15. Se coloca la tapa y se aseguran las abrazaderas

7.1.3.15 Se coloca el sujetador con el picnómetro en la balanza y se registra la masa con aproximación a 0.1 g (Valor de la columna B en el Anexo A).

7.1.3.16 Se repiten los pasos 7.1.3.6 a 7.1.3.15 con la segunda muestra de 500 ± 3 g (muestra B).

7.1.3.17 Se anota la masa de la muestra B, con aproximación a 0.1 g (Columna B del formato del Anexo A).

7.1.3.18 Se promedian las masas de las muestras A y B (Columna B del formato del Anexo A).

7.1.4 *Determinación de la densidad aparente (gravedad específica aparente):*

7.1.4.1 Se ajusta el nivel de presión de la cámara de vacío de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

7.1.4.2 Se toma una bolsa pequeña, verificando que no tenga roturas ni imperfecciones.

7.1.4.3 Se pesa la bolsa (Figura 242 - 16) y su masa se anota en la columna C del formato del Anexo A.



Figura 242 - 16. Pesaje de la bolsa vacía

- 7.1.4.4** Se pesan 1000 ± 5 g del agregado secado al horno y se registra su masa con aproximación a 0.1 g (Columna E del formato del Anexo A).
- 7.1.4.5** Se coloca cuidadosamente la muestra dentro de una bolsa plástica apropiada, mientras ésta se encuentre apoyada sobre la superficie de una mesa lisa, con el fin de protegerla contra roturas e impactos localizados (Figura 242 - 17).



Figura 242 - 17. Colocación de la muestra dentro de la bolsa plástica

- 7.1.4.6** Se coloca la bolsa con la muestra dentro de la cámara de vacío.
- 7.1.4.7** Se agarra la bolsa de sus dos lados y se sacude muy suavemente de lado a lado, sin oprimirla, para distribuir uniformemente su contenido, cuidando que ninguna porción de la muestra salga de ella. Apretar la bolsa puede causar perforaciones en ella, las cuales afectan adversamente los resultados del ensayo. Los agregados con alto contenido de material pasante del tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No. 200) se deben empañar muy levemente, para que sostengan el polvo antes

del sellado de la bolsa. La muestra deberá quedar aplanada de la mejor manera posible dentro de la bolsa.

- 7.1.4.8** Se coloca el extremo abierto de la bolsa sobre la barra de sellado de la cámara de vacío (Figura 242 - 18) y se cierra la puerta. La unidad creará vacío y sellará la bolsa antes de que la puerta se vuelva a abrir.

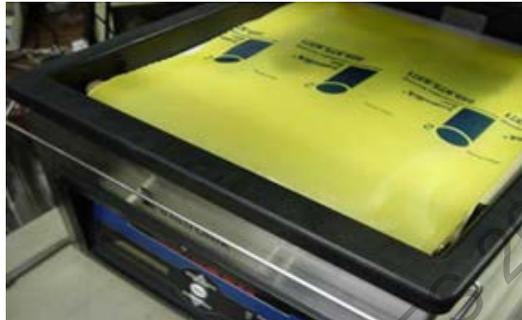


Figura 242 - 18. Extremo abierto de la bolsa plástica

- 7.1.4.9** Luego de que la puerta de la cámara se abra, se remueve con el mayor cuidado la bolsa que contiene la muestra e inmediatamente se sumerge en el tanque para agua, el cual tiene adaptada una balanza para el análisis del desplazamiento de agua (Figura 242 - 19a). Es muy importante que el paso de la bolsa de la cámara de vacío al tanque se efectúe con la mayor rapidez, ya que si se deja dentro de la cámara o se coloca sobre una mesa luego del sellado es posible que entre aire en ella, lo que se traduce en menores valores de la densidad aparente.



Figura 242 - 19. Inmersión y apertura de la bolsa plástica

- 7.1.4.10** Se cortan unos 25 a 50 mm (1 a 2") de una esquina de la bolsa, mientras la parte superior de ésta permanece, cuando menos, 50 mm (2") bajo la superficie del agua (Figura 242 - 19b). Se debe verificar que la bolsa se encuentre totalmente sumergida antes del corte, ya que el ingreso de aire dentro de ella altera los resultados del ensayo.
- 7.1.4.11** Se abre la bolsa en el sitio del corte y se mantiene abierta por 45 segundos, para que el agua ingrese en ella. Se debe permitir el escape de todas las burbujas de aire. La muestra no se debe sacudir, ya que ello puede ocasionar el escape de finos de la bolsa.
- 7.1.4.12** Una vez que el agua ha ingresado a la bolsa, se cortan unos 25 a 50 mm (1 a 2") de la otra esquina. Se saca toda burbuja de aire residual de la parte superior de la bolsa a través de los cortes, deslizando los dedos a través de la parte superior de la bolsa.
- 7.1.4.13** Se coloca la bolsa con el agregado en la canasta de pesaje que está dentro del agua y se determina la masa con aproximación a 0.1 g. Se debe doblar la bolsa antes de colocarla en la canasta. Sin embargo, una vez dentro de la canasta, se debe desdoblar para permitir que el agua entre libremente en ella. La bolsa con la muestra se debe conservar todo el tiempo bajo agua. Se debe verificar que la bolsa no toca el fondo ni los lados del tanque, ni tampoco asoma por encima de la superficie del agua. Si ello sucede, los resultados de la prueba se verán afectados.
- 7.1.4.14** Se deja la muestra dentro del agua durante un lapso mínimo de 15 minutos.
- 7.1.4.15** Se anota la masa de la muestra con la bolsa dentro de agua, con aproximación a 0.1 g (Columna F del formato del Anexo A).
- 7.1.4.16** Los fabricantes del equipo suministran un programa de cómputo en el cual se pueden ingresar los datos y obtener automáticamente los resultados. Alternativamente, el usuario puede elaborar su propio programa u hoja de cálculo, empleando las ecuaciones incluidas en la Sección 8.

7.2 *Método B, ensayo del agregado grueso y de agregados combinados*

7.2.1 Se verifica que la temperatura del agua que se va a emplear en el ensayo de encuentre a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

7.2.2 Antes del ensayo, se debe acondicionar el picnómetro a una temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), colocándolo en un tanque con agua a dicha temperatura.

7.2.3 *Determinación de la densidad aparente bulk:*

7.2.3.1 Se verifica que las muestras se encuentren secas a masa constante.

7.2.3.2 Para un solo ensayo, se seleccionan y separan dos muestras (muestras A y B) de $1000 \pm 10 \text{ g}$ cada una para ser ensayadas en el picnómetro, y una de $2000 \pm 10 \text{ g}$ para el ensayo de saturación al vacío.

7.2.3.3 Se permite que cada muestra se enfríe a temperatura ambiente.

7.2.3.4 Se coloca el picnómetro sobre una superficie a nivel.

7.2.3.5 Se pesa una muestra de $1000 \pm 10 \text{ g}$ a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) y se registra su masa como A, con una aproximación de 0.1 g (columna A del formato del Anexo A).

7.2.3.6 Los pasos 7.2.3.7 a 7.2.3.17 se deberán completar en menos de 2 minutos.

7.2.3.7 Se vierten aproximadamente 1000 ml de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) dentro del picnómetro. Esto equivale a llenarlo más o menos hasta la mitad (Figura 242 - 20).



Figura 242 - 20. Picnómetro grande lleno de agua hasta la mitad

- 7.2.3.8** Empleando un procedimiento adecuado, se coloca la muestra de manera lenta y uniforme dentro del picnómetro, verificando que no ocurra ninguna pérdida (Figura 242 - 21). En caso de que ocurra, la prueba se deberá reiniciar.
- 7.2.3.9** Se toma una espátula de metal y se hunde hacia la circunferencia interior del fondo del picnómetro (Figura 242 - 22). En seguida y para remover las bolsas de aire, se arrastra la espátula de manera suave y lenta hacia el centro del picnómetro repitiendo el procedimiento 7 veces más, hasta que toda la circunferencia interior del picnómetro quede cubierta en ocho ángulos iguales, es decir, cada 45° hasta que se vuelva a alcanzar el punto inicial. De ser necesario, se usará una botella con agua a presión para enjuagar dentro del picnómetro cualquier residuo de muestra que permanezca en la espátula.



Figura 242 - 21. Adición de la muestra al picnómetro



Figura 242 - 22. Inserción de la espátula dentro del picnómetro

- 7.2.3.10** Se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) hasta, aproximadamente, 10 mm ($3/8''$) del borde. Es importante que el agua se mantenga a 10 mm ($3/8''$) o un poco más abajo, para evitar derrames durante la colocación de la tapa.
- 7.2.3.11** Empleando la botella con pulverizador llena de alcohol isopropílico se rocía alcohol sobre la superficie del agua para remover las burbujas (Figura 242 - 23).
- 7.2.3.12** Se coloca cuidadosamente la tapa del picnómetro (Figura 242 - 24). Empleando la jeringa, se llena el picnómetro con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) de manera lenta a través del orificio del vástago de la tapa. Se debe asegurar que la aguja ha penetrado lo suficiente para que su punta quede ubicada bajo el nivel de agua en el picnómetro. La aplicación cuidadosa de agua con la aguja previene la formación de burbujas dentro del picnómetro.
- 7.2.3.13** Se llena el picnómetro hasta que el agua rebosa el orificio de 3 mm ($1/8''$) ubicado en la superficie de la tapa.
- 7.2.3.14** Se seca con una toalla cualquier vestigio de agua presente en la tapa del picnómetro.
- 7.2.3.15** Se pesa el picnómetro y se registra la masa con aproximación a 0.1 g (Valor de la columna B en formato del Anexo A).



Figura 242 - 23. Rocío de alcohol para remover burbujas de aire



Figura 242 - 24. Colocación de la tapa del picnómetro

7.2.3.16 Se repiten los pasos 7.2.3.6 a 7.2.3.15 con la segunda muestra de 1000 ± 10 g (muestra B).

7.2.3.17 Se anota la masa de la muestra B, con aproximación a 0.1 g (Columna B del formato del Anexo A).

7.2.3.18 Se promedian las masas de las muestras A y B (Columna B del formato del Anexo A).

7.2.4 *Determinación de la densidad aparente (gravedad específica aparente):*

7.2.4.1 Se ajusta el nivel de presión de la cámara de vacío de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

7.2.4.2 Se toman una bolsa plástica pequeña y una grande, verificando que no tengan roturas ni imperfecciones. Si las tienen, se deberán reemplazar.

- 7.2.4.3** Se pesan las dos bolsas y su masa, aproximada a 0.1 g, se anota en la columna C del formato del Anexo A.
- 7.2.4.4** Se pesan dos láminas de caucho y su masa, aproximada a 0.1 g, se anota en la columna D del formato del Anexo A.
- 7.2.4.5** Se pesan 2000 ± 10 g del agregado secado al horno y se registra su masa con aproximación a 0.1 g (Columna E del formato del Anexo A).
- 7.2.4.6** Se coloca cuidadosamente la muestra dentro de la bolsa plástica pequeña, mientras ésta se encuentre apoyada sobre la superficie de una mesa lisa, con el fin de protegerla contra roturas e impactos localizados.
- 7.2.4.7** Se coloca la bolsa grande dentro de la cámara de vacío y luego se introduce una de las láminas de caucho en esa bolsa (Figura 242 - 25). La lámina debe estar plana y centrada en la bolsa, y debe quedar contra la parte posterior de ésta.



Figura 242 - 25. Colocación de la primera lámina de caucho dentro de la bolsa grande

- 7.2.4.8** Se coloca la bolsa pequeña, que contiene la muestra, dentro de la bolsa grande, centrada en la parte superior de la lámina de caucho y se sacude muy suavemente de lado a lado, sin oprimirla, para distribuir uniformemente su contenido, cuidando que el espacio ocupado por la muestra quede totalmente dentro del área de las láminas de caucho (Figura 242 - 26). Los agregados con alto contenido de material pasante del tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No. 200) se deben empañar muy levemente, para que sostengan el polvo antes del sellado de la bolsa.



Figura 242 - 26. Colocación de la bolsa pequeña con la muestra dentro de la bolsa grande

- 7.2.4.9** Se coloca la otra lámina de caucho sobre la bolsa pequeña, dentro de la bolsa grande. La bolsa pequeña deberá quedar, en su totalidad, entre las dos láminas de caucho (Figura 242 - 27). Es muy importante que las dos láminas de caucho no restrinjan la abertura de la bolsa pequeña.



Figura 242 - 27. Colocación de la segunda lámina de caucho sobre la bolsa pequeña

- 7.2.4.10** Se coloca el extremo abierto de la bolsa grande sobre la barra de sellado de la cámara de vacío y se cierra la puerta. Se debe verificar que las láminas de caucho no queden sobre la barra. La unidad creará vacío y sellará la bolsa antes de que la puerta se vuelva a abrir.

- 7.2.4.11** Luego de que la puerta de la cámara se abra, se remueve la bolsa con el mayor cuidado, verificando que las láminas de caucho cubran totalmente el agregado (Figura 242 - 28), e inmediatamente se sumerge en el tanque para agua, el cual está adaptado a una balanza para el análisis del desplazamiento de agua.



Figura 242 - 28. Bolsas extraídas de la cámara de vacío

- 7.2.4.12** Se cortan unos 75 a 100 mm (3 a 4") de una esquina de la bolsa grande, mientras ésta permanece, cuando menos, 50 mm (2") bajo la superficie del agua. Se debe verificar que la bolsa se encuentre totalmente sumergida antes del corte, ya que el ingreso de aire dentro de ella altera los resultados del ensayo.
- 7.2.4.13** Se abre con las manos la bolsa grande en el sitio del corte, así como la totalidad de la pequeña y se mantienen abiertas por 25 segundos, para que el agua ingrese libremente dentro de ellas. Se debe permitir el escape de todas las burbujas de aire.
- 7.2.4.14** Una vez que el agua ha ingresado a las bolsas, se cortan unos 75 a 100 mm (3 a 4") de la otra esquina de la bolsa grande. Se saca toda burbuja de aire residual de la parte superior de la bolsa a través de los cortes, deslizando los dedos a través de la parte superior de la bolsa.
- 7.2.4.15** Se colocan las bolsas con las láminas de caucho y el agregado en la canasta de pesaje que está dentro del agua y se determina la masa con aproximación a 0.1 g. Se puede doblar la bolsa grande antes de colocarla en la canasta. Sin embargo, una vez dentro de ésta, se debe desdoblar para permitir que el agua entre libremente en la bolsa.
- 7.2.4.16** La bolsa grande se debe conservar todo el tiempo bajo agua. Se debe verificar, además, que no toque el fondo ni los lados del tanque, ni que asome por encima de la superficie del agua. Si ello sucede, los resultados de la prueba se verán afectados.

7.2.4.17 Se deja la muestra dentro del agua durante un lapso mínimo de 20 minutos.

7.2.4.18 Se anota la masa sumergida, con aproximación a 0.1 g (Columna F del formato del Anexo A).

7.2.4.19 Los fabricantes del equipo suministran un programa de cómputo en el cual se pueden ingresar los datos y obtener automáticamente los resultados. Alternativamente, el usuario puede elaborar su propio programa u hoja de cálculo, empleando las ecuaciones incluidas en la Sección 8.

8 CÁLCULOS

8.1 Como resultado de este ensayo se calculan dos densidades. Una totalmente saturada (densidad relativa aparente), ρ_v , y la otra en estado no saturado a través del uso del picnómetro (densidad aparente bulk), ρ_u .

$$\rho_u = \frac{M_a}{V_a} \quad [242.1]$$

$$\rho_v = \frac{M_a}{V_a - V_{abs}} \quad [242.2]$$

$$V_{abs} = \frac{a \times M_a}{\rho_w} \quad [242.3]$$

Donde: a: Absorción de la fracción;

ρ_v : Densidad relativa aparente;

ρ_u : Densidad aparente bulk;

V_a : Volumen de la muestra, incluidos los poros;

V_{abs} : Volumen de los poros;

M_a : Masa de la muestra;

ρ_w : Densidad del agua.

8.1.1 Sustituyendo la tercera ecuación en la segunda:

$$\rho_v = \frac{1}{\frac{V_a}{M_a} - \frac{a}{\rho_w}} = \frac{1}{\frac{1}{\rho_u} - \frac{a}{\rho_w}} \quad [242.4]$$

8.1.2 Despejando de esta ecuación el valor “a”:

$$a = \left[\left(\frac{\rho_v - \rho_u}{\rho_v \times \rho_u} \right) \times \rho_w \right] \times 100 \quad [242.5]$$

Nota 8: La densidad aparente bulk (densidad no saturada), ρ_u , se determina empleando un picnómetro calibrado. Esta medida se debe completar en menos de dos minutos. La razón para exigir este periodo es tener la certidumbre de que la absorción por parte del agregado se mantiene en un nivel mínimo. No obstante, la cantidad de agua absorbida por el agregado varía durante los 2 minutos, dependiendo del tipo de agregado. Por tal razón, se realiza una calibración en la fábrica con diferentes niveles de vacío. De manera alternativa, los usuarios pueden establecer correlaciones a partir de agregados conocidos en el área. Los parámetros de corrección obtenidos durante la calibración son utilizados automáticamente por el programa de software suministrado por el fabricante. Las correcciones obtenidas por los usuarios se pueden usar con las ecuaciones presentadas en esta Sección para calcular los resultados.

8.1.3 Conocidas la absorción y la densidad relativa aparente, se pueden escribir ecuaciones basadas en la masa de la muestra:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(B - A)}{A} \times 100 \quad [242.6]$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = \rho_v = \frac{A}{A - C} \quad [242.7]$$

Donde: A: Masa de la muestra seca en el horno, g;

B: Masa de la muestra en el aire, en condición saturada y superficialmente seca, g;

C: Masa de la muestra sumergida en agua, g.

8.1.4 A partir de las dos expresiones del numeral 8.1.3 se determinan las masas B y C:

$$B = \frac{\text{Absorción (\%)} \times A}{100} + A \quad [242.8]$$

$$C = A - \frac{A}{\text{Densidad relativa aparente}} \quad [242.9]$$

8.1.5 Conocidos los valores B y C, las densidades relativas (gravedades específicas) se pueden calcular con las expresiones:

$$\text{Densidad relativa (Gravedad específica), base SSS} = \frac{B}{B - C} \quad [242.10]$$

$$\text{Densidad relativa (Gravedad específica), base SH} = \frac{A}{B - C} \quad [242.11]$$

9 INFORME

9.1 Se debe informar lo siguiente:

9.1.1 Densidad relativa (gravedad específica) y densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), con cuatro cifras significativas.

9.1.2 Absorción de agua, aproximada a 0.01 %.

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos realizados de acuerdo con este método son los mostrados en las Tablas 242 - 1 y 242 - 2, según el *NCAT Report Number 05-07* (agregado fino) y una prueba realizada en el laboratorio de materiales del DOT de Missouri, en Jefferson City (agregado grueso).

10.1.1 La estimación para el agregado fino se basó en el estudio de 6 tipos diferentes de agregados, incluyendo calizas, diabasas con contenidos de finos medios y altos, escorias, arena natural redondeada y arena natural angular.

Tabla 242 - 1. Precisión (agregado fino)

AGREGADO FINO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN UN LABORATORIO (1s)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR ENTRE LABORATORIOS (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS EN UN MISMO LABORATORIO (d2s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS ENTRE LABORATORIOS (d2s)
% absorción de agua	0.18	0.26	0.51	0.74
Densidad relativa aparente	0.0043	0.006	0.012	0.014
Densidad relativa	0.0154	0.0205	0.044	0.058

Tabla 242 - 2. Precisión (agregado grueso)

AGREGADO GRUESO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN 1 LABORATORIO (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS EN UN MISMO LABORATORIO (d2s)
% absorción de agua	0.0875	0.2475
Densidad relativa aparente	0.0097	0.0274
Densidad relativa	0.00524	0.0148

10.1.2 La estimación para el agregado grueso se basó en 13 muestras de agregados, 7 de calizas, 4 de dolomitas, un granito y una escoria de acero. Cada uno de los 13 agregados fue ensayado 4 veces por el mismo operador.

10.2 Sesgo – No se presenta información en relación con el sesgo de este procedimiento, puesto que no se dispone de un valor de referencia aceptable.

11 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM D 7370-09

INSTROTEK INC., "Determination of percent absorption and specific gravity of coarse and fine aggregates using the AggPlus System", Raleigh, NC 27627, January 2003

ANEXO A (Informativo)

FORMATO PARA EL REGISTRO DE LOS DATOS

11.1 Este formato se incluye como referencia y puede ser empleado por los usuarios de esta norma, si no han desarrollado otro método para el registro de los datos.

Solo agregado fino:								
Masa del picnómetro lleno de agua (incluido el sujetador)								
1. _____		2. _____		3. _____		Promedio _____		
Solo agregado grueso:								
Masa del picnómetro lleno de agua								
1. _____		2. _____		3. _____		Promedio _____		
NÚMERO DE LA MUESTRA	TANTEO NÚMERO	AGREGADO (GRUESO O FINO)	A. MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	B. MASA DE LA MUESTRA EN EL PICNÓMETRO LLENO DE AGUA (g)	C. MASA DE LA BOLSA (g)	D. MASA DE 2 LÁMINAS DE CAUCHO (g)	E. MASA DE LA MUESTRA SECA (g)	F. MASA DE LA MUESTRA SELLADA ABIERTA BAJO AGUA (g)
	Muestra A							
	Muestra B							
	Muestra C*							
	Promedio							
	Muestra A							
	Muestra B							
	Muestra C*							
	Promedio							
	Muestra A							
	Muestra B							
	Muestra C*							
	Promedio							

* El tanteo con la muestra C solo es necesario cuando la diferencia de las masas de la columna B para las 2 primeras muestras es mayor de 1 g para los agregados finos y de 2 g para los agregados gruesos.

DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS A CAUSA DE LA COMPACTACIÓN POR IMPACTOS

INV E – 243 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma establece un método para determinar la degradación que sufre un agregado pétreo secado al aire, al ser sometido a compactación por impactos con una energía determinada.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Agregados con una distribución granulométrica especificada se colocan en cinco capas en el molde de compactación de 152.4 mm (6") de diámetro, sometiéndose cada capa a 26 golpes con el martillo especificado en la norma INV E-142. Se determina la granulometría que presentan los agregados luego de la compactación y, a partir de la diferencia entre la granulometría final y la inicial, se determina un índice de degradación.

3 EQUIPO

- 3.1** *Molde de 152.4 mm (6")* – Con una capacidad de $2124 \pm 25 \text{ cm}^3$ (equivalente a $1/13.33 \pm 0.0009 \text{ pie}^3$), con un diámetro interior de $152.4 \pm 0.7 \text{ mm}$ (6 ± 0.026 ") y una altura de $116.4 \pm 0.5 \text{ mm}$ (4.584 ± 0.018 "). Es el mismo molde exigido en el Método C de las normas INV E-141 e INV E-142.
- 3.2** *Martillo metálico* – Puede ser de operación manual o mecánica, con una masa de $4.5364 \pm 0.009 \text{ kg}$ ($10 \pm 0.02 \text{ lb}$), que tenga una cara plana circular, de diámetro de $50.80 \pm 0.13 \text{ mm}$ (2.000 ± 0.005 "). El diámetro real de servicio no podrá ser menor de 50.42 mm (1.985 "). El martillo deberá estar provisto de una camisa guía apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura libre de $457.2 \pm 1.3 \text{ mm}$ (18.00 ± 0.05 ") por encima de la altura del suelo. El martillo se deberá reemplazar si la cara de golpeo se desgasta o se acampana de manera que su diámetro se salga del rango $50.80 \pm 0.25 \text{ mm}$ (2.000 ± 0.01 "). Es el mismo martillo exigido en la norma INV E-142. En los numerales 6.2.1 y 6.2.2 de dicha norma se presentan los detalles de los martillos de operación manual y mecánica, respectivamente.

- 3.3 Regla metálica** – De acero endurecido, de borde recto, al menos de 250 mm (10") de largo. El borde de corte y enrasado deberá ser biselado, si tiene más de 3 mm (1/8") de espesor. La regla no deberá ser tan flexible que cuando se enrase el suelo con el borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la superficie de la muestra.
- 3.4 Tamices** – De 25.4, 19.0, 9.5, 4.75 y 2.00 mm; y de 425 y 75 μm (3/4", 3/8", No. 4, No. 10, No. 40 y No. 200).
- 3.5 Balanzas** – Una de 11.5 kg de capacidad y aproximación de lectura de 1 g.
- 3.6 Horno** – Termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (230 + 9°F), para el secado de las muestras.
- 3.7 Elementos misceláneos** – Tales como recipientes para mezclado, cucharones, cuchillo, etc.

4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 4.1** La cantidad mínima de muestra para un ensayo completo es de 18 kg. Por lo tanto, la muestra de campo debería tener una masa húmeda de, al menos, 23 kg.
- 4.2** El material se prepara de acuerdo con alguno de los procedimientos descritos en los numerales 8.2 y 8.3 de la norma INV E-142.
- 4.3** Se fracciona la muestra de manera de componer 3 sub-muestras, cada una de ellas con la distribución granulométrica indicada en la Tabla 243 - 1.

Tabla 243 - 1. Granulometría de referencia

TAMICES	PORCENTAJE	CANTIDAD (g)
25 mm – 19.0 mm	15	900
19.0 mm – 9.5 mm	20	1200
9.5 mm – 4.75 mm	15	900
4.75 mm – 2.0 mm	15	900
2.0 mm – 425 μm	15	900
425 μm – 75 μm	15	900
< 75 μm	5	300
Total	100	6000

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Se ensambla y asegura el collar de extensión al molde y el conjunto a la placa de base. Se verifican las alineaciones de las paredes interiores del molde y del collar y se hacen los ajustes que sean necesarios. El molde se deberá apoyar, sin bambolearse alguno, sobre una fundación firme y rígida, como la que puede brindar un cubo de concreto con una masa no menor de 91 kg (200 lb). Se asegura la placa de base del molde a la fundación rígida. El método de aseguramiento deberá permitir que luego de la compactación, el molde (con el collar y la base) se pueda retirar con facilidad.
- 5.2** El agregado se debe compactar en cinco capas más o menos iguales. Antes de la compactación, se coloca aproximadamente una quinta parte de la muestra en estado suelto dentro del molde y se reparte para que dé lugar a una capa uniforme. Se aplican con el martillo 26 golpes a la capa, teniendo cuidado para evitar levantar la camisa guía durante la carrera ascendente del martillo. La camisa se debe mantener verticalmente con firmeza, con una tolerancia de 5°. Los golpes se deben aplicar en el término de un minuto y cubriendo toda la superficie de la capa. Se repite el procedimiento con las otras cuatro capas. La quinta capa compactada deberá sobrepasar el borde del molde, quedando dentro del collar de extensión.
- 5.3** Terminada la compactación de la última capa, se remueve el collar de extensión. Se puede usar un cuchillo para desbastar el suelo adyacente al collar y ayudar a aflojarlo antes de removerlo, con el fin de evitar que la probeta compactada se rompa por debajo del borde superior del molde. Adicionalmente, para prevenir o reducir la adherencia del suelo al collar, éste se debe rotar cuidadosamente durante su remoción.
- 5.4** Se enrasa cuidadosamente la probeta compactada con el borde superior del molde, empleando la regla metálica dispuesta para tal fin.
- 5.5** Se extrae la sub-muestra contenida en el molde y se disgrega cuidadosamente. Se pasa a través de los tamices usados para el control de la granulometría y se determinan los porcentajes que pasan por cada uno de ellos. El procedimiento se debe repetir con otras dos sub-muestras.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se colocan en la Tabla 243 - 2 los porcentajes que pasan por los tamices de control para las 3 sub-muestras y, posteriormente, se determina el porcentaje promedio que pasa por cada tamiz.
- 6.2** Se hace la diferencia entre el porcentaje pasante por cada tamiz en la gradación original y el pasante promedio por los mismos tamices en el promedio de las sub-muestras ensayadas y se coloca el valor respectivo en la última columna de la Tabla 243 - 2 (D).
- 6.3** El índice de degradación se obtiene sumando los valores que se registran en la última columna de la Tabla 243 - 2 (ΣD) y dividiendo por 6.

Tabla 243 - 2. Cálculo del índice de degradación

TAMICES	PORCENTAJE QUE PASA					
	GRANULOMETRÍA PATRÓN	GRANULOMETRÍA DESPUÉS DE LA COMPACTACIÓN				
		SUB-MUESTRA 1	SUB-MUESTRA 2	SUB-MUESTRA 3	PROMEDIO	D
19.0 mm	85					
9.5 mm	65					
4.75 mm	50					
2.0 mm	35					
425 μm	20					
75 μm	5					
					ΣD	

7 INFORME

- 7.1** El informe debe contener lo siguiente:
- 7.1.1** Descripción de la muestra.
- 7.1.2** Índice de degradación.

8 NORMAS DE REFERENCIA

DNER-ME 398/99

DENSIDAD DE LOS AGREGADOS EN ACEITE DE PARAFINA

INV E – 244 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma define el procedimiento a seguir para la determinación de la densidad de agregados gruesos de hasta 38 mm (1 ½") de tamaño máximo, agregados finos, llenante mineral o la mezcla de ellos en proporciones establecidas, para su empleo en el cálculo de los vacíos con aire en mezclas asfálticas, utilizando como medio de inmersión aceite de parafina y realizándolo en un picnómetro de características especiales.
- 1.2** El procedimiento se puede aplicar, también, a la determinación de la densidad en condición seca al horno (SH) de estos materiales, empleando agua como medio de inmersión. Los resultados obtenidos empleando uno y otro líquido permiten juzgar la diferente capacidad de absorción de los agregados con respecto al agua y los materiales hidrocarbonados.

Nota 1: Aunque el procedimiento está normalizado para un período de inmersión de los agregados de veinticuatro horas, en la mayoría de los tipos de agregados se puede realizar el ensayo en una jornada de trabajo, si el ensayo se inicia en las primeras horas de la mañana.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Densidad* – Es la masa por unidad de volumen de un material.
- 2.2** *Densidad en condición seca al horno (SH)* – Masa por unidad de volumen de las partículas de agregado secas al horno, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables de las partículas, pero no los vacíos entre ellas.
- 2.3** *Densidad relativa (gravedad específica)* – Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua a la misma temperatura. Su valor es adimensional.
- 2.4** *Densidad aparente* – Masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas del agregado secas al horno.
- 2.5** *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)* – Relación entre la densidad aparente del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada. Su valor es adimensional.

- 2.6** *Densidad efectiva* – Masa por unidad de volumen de la porción permeable de las partículas del agregado secas al horno, excluyendo los vacíos de ellas que son permeables al asfalto.
- 2.7** *Densidad relativa efectiva (gravedad específica efectiva)* – Relación entre la densidad efectiva del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada. Su valor es adimensional.

Nota 2: En la Figura 244 - 1 se indica cuál es el volumen de vacíos permeables al agua y cuál es permeable únicamente al asfalto.

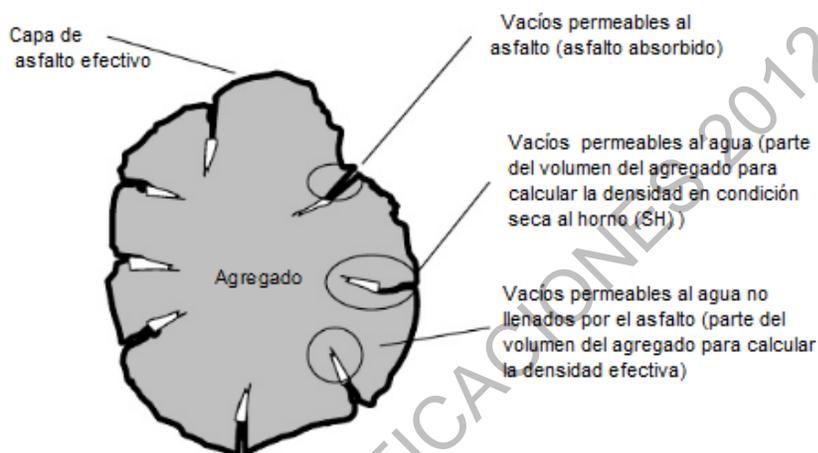


Figura 244 - 1. Ilustración de los volúmenes que entran en los cálculos de las densidades de un agregado

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se determina la masa de un picnómetro especial cuando está lleno parcial y totalmente con aceite de parafina. Se coloca una muestra de agregado seco dentro del picnómetro y se determina la masa del conjunto con el picnómetro parcial y totalmente lleno de aceite. Se calcula la densidad del agregado, relacionando su masa seca con el volumen que ocupa dentro del picnómetro con aceite.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La determinación de la densidad empleando aceite de parafina se basa en el principio de que la absorción de este aceite por parte de los agregados es similar a su absorción de asfalto. Se considera que esta densidad es similar a la

“densidad efectiva” (Ver numeral 2.6) y evita la determinación de la densidad relativa (gravedad específica) máxima medida, como paso previo para el cálculo de la absorción de asfalto y de la composición volumétrica verdadera de una mezcla asfáltica compactada.

5 EQUIPO

- 5.1** *Balanza de precisión* – Que tenga, por lo menos, una capacidad de 2 kg y una precisión de ± 0.1 g, como mínimo.
- 5.2** *Baño de agua* – Capaz de mantener la temperatura a $25 \pm 0.1^\circ$ C. La profundidad del baño será la suficiente para poder sumergir el picnómetro hasta el cuello.
- 5.3** *Picnómetro especial* – Aproximadamente de 1 litro de capacidad, de las características y medidas indicadas en la Figura 244 - 2, con cierre esmerilado y, preferiblemente, provisto de resortes de sujeción. Si se desea ensayar una cantidad mayor de muestra, el matraz Erlenmeyer del picnómetro puede ser de 1.5 ó 2 litros de capacidad.
- 5.4** *Embudo* – De boca ancha, que penetre suficientemente en la boca del Erlenmeyer para no manchar la zona esmerilada al añadir la muestra.
- 5.5** *Desecadores* – De 250 mm de diámetro.

6 MATERIALES

- 6.1** *Aceite de parafina* – De calidad medicinal y, aproximadamente, de las siguientes características:
- | | | |
|--------------|--|--------------------------|
| 6.1.1 | Viscosidad Saybolt Furol a 25° C: | 85 ± 15 s. |
| 6.1.2 | Densidad a 25° C: | $0,877 \text{ g/cm}^3$. |

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** El procedimiento que se describe a continuación difiere del que se suele seguir normalmente en ensayos análogos, pero su objeto es simplificar al máximo su ejecución, aumentando a la vez la precisión de los resultados.

- 7.2 Se preparan por cuarteo dos fracciones de unos 600 g del material (Ver numeral 1.1), se secan en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante y se colocan en el desecador. Si se emplea un picnómetro de mayor capacidad, la muestra se puede aumentar proporcionalmente.

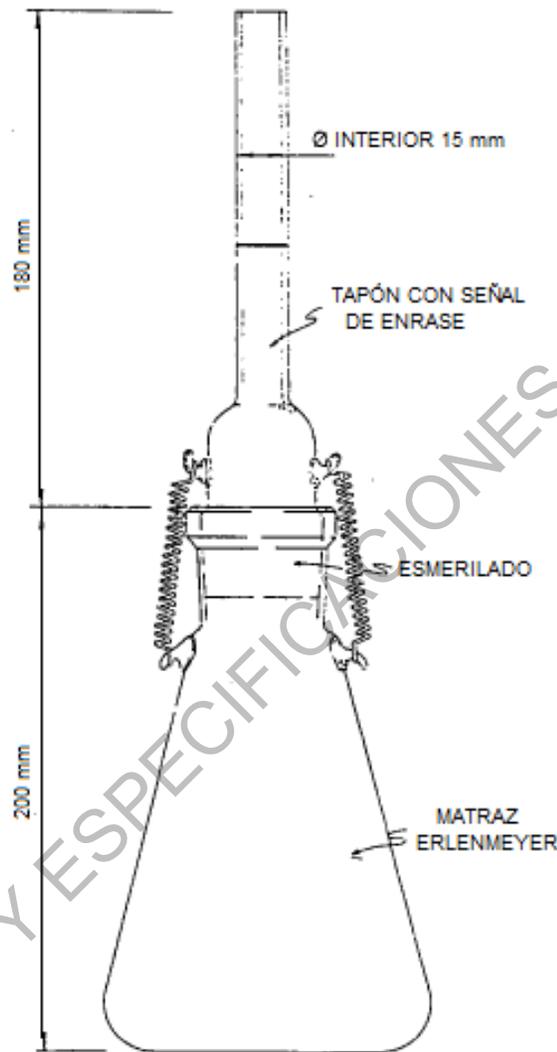


Figura 244 - 2. Picnómetro especial de 1.000 cm^3 de capacidad aproximada

- 7.3 Se llena el picnómetro con el aceite de parafina casi hasta el enrase, sin que queden burbujas de aire ocluidas, se coloca el tapón, y se introduce en el baño a 25°C , de manera que quede cubierto de agua hasta el borde del esmerilado. Se mantiene en el baño como mínimo durante una hora; se enrasa y se deja media hora más hasta que el enrase no varíe. Se saca del baño, se seca perfectamente y se pesa: D (Figura 244 - 3).



Figura 244 - 3. Determinación de la masa del picnómetro lleno de aceite hasta el enrase

- 7.4** A continuación, y sin quitar el tapón, se vierte aceite de parafina del picnómetro hasta dejar aproximadamente una tercera parte de su contenido. Se deja escurrir hacia el picnómetro todo el aceite que haya quedado adherido al tubo del tapón. Se seca el exterior del picnómetro y se vuelve a pesar: A.
- 7.5** Se destapa el picnómetro, procurando que no se pierda ninguna gota de las que hayan podido quedar adheridas al tapón. Se agrega, suavemente, por medio del embudo, la muestra preparada como se indica en el numeral 7.2, teniendo cuidado para no ensuciar el área esmerilada y sin que se produzcan salpicaduras. Se coloca de nuevo el tapón y se pesa: B (Figura 244 - 4).



Figura 244 - 4. Determinación de la masa del picnómetro, sin llenar totalmente de aceite, más la muestra de agregado

- 7.6** Se llena de nuevo el picnómetro con aceite de parafina casi hasta el enrase. Se coge por su base y se agita enérgicamente con movimientos rotatorios

alrededor de su eje para que salgan las burbujas de aire ocluidas. Esta agitación se repite a intervalos de unos quince minutos cuantas veces sea necesario, dejando a continuación el picnómetro en reposo hasta el día siguiente (nota 1). Transcurrido este tiempo, se vuelve a repetir la operación de agitación y, a continuación, se introduce el picnómetro en el baño y se enrasa, observando las mismas instrucciones indicadas en el numeral 7.3. A continuación, se saca del baño, se seca perfectamente (Figura 244 - 5) y se pesa: E.



Figura 244 - 5. Picnómetro con la muestra, lleno de aceite hasta el enrase

- 7.7** Una vez terminado el ensayo, el aceite de parafina se puede recuperar para emplearlo de nuevo, filtrándolo a través de un papel de filtro corriente de filtrado rápido.
- 7.8** La densidad del aceite de parafina no varía sensiblemente con el uso, motivo por el cual basta con determinarla una vez para cada partida de producto recibido.
- 7.9** En sitios calurosos hay que extremar las precauciones para realizar el ensayo a 25° C, ya que el volumen de aceite de parafina es muy sensible a pequeñas variaciones de temperatura, lo cual puede originar errores importantes.

8 RESULTADOS

- 8.1** La densidad del agregado en aceite de parafina bajo las condiciones del ensayo se calcula aplicando la fórmula siguiente, y se expresará aproximada a la tercera cifra decimal:

$$\text{Densidad del agregado en aceite de parafina} = \frac{B - A}{\frac{(C+D) - E}{X}} = \frac{C}{\frac{V}{X}} = \frac{C}{V_R} \quad [244.1]$$

Donde: B:	Masa del picnómetro sin llenar totalmente de aceite, más la muestra de agregado;
A:	Masa del picnómetro sin llenar totalmente de aceite;
B – A = C:	Masa de la muestra del agregado seco;
D:	Masa del picnómetro lleno de aceite hasta el enrase;
E:	Masa del picnómetro más la muestra y lleno de aceite hasta el enrase;
(C + D) – E = V:	Volumen ocupado por la muestra, sin corregir por la densidad a 25° C del líquido empleado;
X:	Densidad a 25 °C del aceite empleado para la inmersión, la cual se debe haber determinado previamente con exactitud;
V _R :	Volumen real corregido de la muestra.

8.2 Las determinaciones por duplicado no se deberán diferenciar en más de 0,005 unidades de densidad.

Nota 3: Como se indica en el numeral 1.2, el procedimiento se puede seguir, igualmente, empleando agua como líquido de inmersión. En este caso, el valor que se calculará será la densidad del agregado en condición seca al horno (SH). La densidad del agua a 25° C es 0,997 g/cm³.

9 INFORME

9.1 Se deberá presentar la siguiente información:

9.1.1 Procedencia y descripción de la muestra (agregados gruesos, agregados finos, llenante mineral o la mezcla de ellos).

- 9.1.2** Líquido empleado para el ensayo. En caso de que haya sido aceite de parafina, indicar su densidad a 25° C.
- 9.1.3** Densidad efectiva del agregado. Si se usó agua como líquido, la densidad en condición seca al horno (SH).

10 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 167/74

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO FINO A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN, UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL

INV E – 245 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para medir la resistencia a la degradación por abrasión de una muestra de agregado fino utilizando el aparato Micro–Deval.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Masa constante* – Condición de una muestra de ensayo secada a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), cuando no pierde más de 0.1 % de humedad tras 2 h de secado.

- 2.1.1 *Discusión* – Esta condición se puede comprobar pesando la muestra antes y después de cada periodo de 2 h, hasta que la variación en la masa cumpla con lo indicado. Este procedimiento se puede obviar cuando la muestra se seca a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) durante un tiempo mayor que uno previamente comprobado como satisfactorio para producir masa constante, bajo una condición igual o superior de carga en el horno.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El ensayo Micro–Deval es una medida de la resistencia a la abrasión y de la durabilidad de agregados minerales, como resultado de una acción combinada de abrasión y molienda con esferas de acero en presencia de agua. Una muestra de 500 g de agregado fino con una granulometría normalizada se sumerge inicialmente en agua durante un lapso no menor de una hora. La muestra se coloca, posteriormente, en un recipiente de acero de 20 cm de diámetro, con 0.75 litros de agua y una carga abrasiva, consistente en 1250 g de esferas de acero de 9.5 mm de diámetro. Recipiente, agregado, agua y carga se rotan a 100 rpm durante 15 min. En seguida, se lava la muestra y se seca en el horno. La pérdida es la cantidad de material que pasa el tamiz de 75

μm (No. 200), expresada como porcentaje de la masa seca original de la muestra.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La prueba Micro–Deval tiene por finalidad determinar la pérdida que sufre un agregado fino por abrasión en presencia de agua y de una carga abrasiva. Muchos agregados son más susceptibles a la abrasión en estado húmedo que secos, y el uso del agua en este ensayo incorpora esta reducción en la resistencia a la degradación. Los resultados del ensayo son útiles para juzgar la resistencia (tenacidad/abrasión) de un agregado fino sometido a abrasión, cuando no existe información adecuada sobre este tipo de comportamiento. El ensayo es útil para determinar la proporción de materiales débiles y blandos dentro del agregado fino. Es muy probable que los agregados que sufren bajas pérdidas en este ensayo, no presenten una degradación significativa durante las operaciones de manejo, mezcla o colocación en obra.
- 4.2** El ensayo Micro–Deval sobre el agregado fino es útil para el control de calidad, porque detecta cambios en las propiedades de un agregado proveniente de una fuente como parte de un proceso de control de calidad o de aseguramiento de calidad.
- 4.3** En contraste con la versión del ensayo sobre el agregado grueso, los resultados de la prueba Micro–Deval sobre agregados finos presentan una correlación significativa con las pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de magnesio. Con los agregados finos, la prueba Micro–Deval presenta mayor precisión que la de solidez y es más rápida, por lo que se puede emplear en su reemplazo. El apéndice de esta norma incluye una guía con valores específicos para la selección del agregado fino para diversas aplicaciones.

5 EQUIPO

- 5.1** *Máquina de abrasión Micro–Deval* – Con un motor capaz de producir en los recipientes cilíndricos una velocidad de rotación regular de 100 ± 5 rpm. Es la misma especificada en la norma de ensayo INV E-238.
- 5.2** *Recipientes cilíndricos* – Uno o más cilindros huecos, de 5 litros de capacidad, con las características y dimensiones mostradas en la norma de ensayo INV E-238.

- 5.3 Carga abrasiva** – La carga abrasiva está constituida por esferas magnéticas de acero inoxidable, de 9.5 ± 0.5 mm de diámetro. Cada recipiente cilíndrico requiere una carga de 1250 ± 5 g de estas esferas.

Nota 1: Antes de usarlos por primera vez, los recipientes y las esferas de acero deben ser acondicionados. El acondicionamiento consiste en poner a funcionar el equipo con una carga de 500 g de arena silíceo y 750 ml de agua durante un lapso de cuatro horas. Es posible que este acondicionamiento se deba realizar de manera periódica. La necesidad de ello se pone de manifiesto cuando se produce una disminución significativa en la pérdida al emplear el material de calibración. Se ha determinado que el acondicionamiento es generalmente necesario cuando el equipo se ha empleado para ensayar agregado grueso del tipo carbonato en la versión del ensayo descrita en la norma INV E-238, el cual puede producir pulimento en el interior del recipiente y en la superficie de las esferas. El proceso de acondicionamiento brinda a los recipientes y a las esferas una superficie "esmerilada" que promueve el vuelco de las esferas y del agregado en lugar de su deslizamiento al girar el recipiente. Cuando se ensayan agregados ricos en sílice se puede diferir o eliminar la necesidad del reacondicionamiento, siempre que el agregado de calibración dé lugar a resultados satisfactorios. Por esta razón, constituye una buena práctica no utilizar los recipientes empleados para ensayar el agregado grueso en los ensayos para el agregado fino.

- 5.4 Balanza** – Que permita lecturas con una precisión de 0.1 g.
- 5.5 Tamices** – De aberturas cuadradas con las siguientes medidas: 6.7 o 6.3 mm (0.265" o ¼"), 4.75 mm (No. 4), 1.18 mm (No. 16), 600 μ m (No. 30), 300 μ m (No. 50), 150 μ m (No. 100) y 75 μ m (No. 200).
- 5.6 Horno** – Capaz de mantener la temperatura a $110 \pm 5^\circ$ C ($230 \pm 9^\circ$ F).

6 SUMINISTROS

- 6.1 Agregado de referencia de laboratorio** – Una provisión de un agregado fino de calidad reconocida, que sirva como referencia. El material se debe preparar como sigue:

PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA
4.75 mm	2.36 mm	40 g
2.36 mm	1.18 mm	115 g
1.18 mm	600 μ m	180 g
600 μ m	300 μ m	120 g
300 μ m	150 μ m	38 g
150 μ m	75 μ m	7 g

Nota 2: La ASTM recomienda como agregado de referencia de laboratorio el "Standard Sutherland Micro-Deval Fine Aggregate" de la Sección de Suelos y Agregados del Ministerio de Transporte de Canadá. 1201 Wilson Avenue, Downsview, Ontario, Canada M3M1J8, Fax: 1-416-235-4101.

- 6.2 Agregado de calibración** – Un suministro de agregado que el laboratorio considere apropiado para la calibración del método de ensayo (Ver numeral 10.1).

7 MUESTRA DE ENSAYO

- 7.1** La muestra de ensayo se debe lavar sobre el tamiz de 75 μm (No. 200) de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma de ensayo INV E-214 y, luego, se debe secar en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante y separar en fracciones individuales de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-213, recombinándolas posteriormente para obtener la granulometría mostrada en el numeral 7.2.
- 7.2** La muestra de agregado para el ensayo deberá estar constituida por material comprendido entre los tamices de 4.75 mm (No. 4) y de 75 μm (No. 200), con un módulo de finura de 2.8 (Nota 3). Se deberá preparar una muestra de 500 ± 5 g seca al horno, como sigue:

PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA
4.75 mm	2.36 mm	50 g
2.36 mm	1.18 mm	125 g
1.18 mm	600 μm	125 g
600 μm	300 μm	100 g
300 μm	150 μm	75 g
150 μm	75 μm	25 g

Nota32: Los agregados finos de gradación bastante fina, presentan pérdidas por abrasión Micro-Deval ligeramente mayores que aquellos de gradación más gruesa provenientes de la misma fuente. El efecto de la gradación es escaso cuando la pérdida media es menor de 20 %. Para materiales con bajas pérdidas, que cumplan con facilidad los requerimientos de las especificaciones, puede resultar práctico, para los fines del control de calidad rutinario, ensayar el material sin prepararlo con la granulometría mencionada en este numeral. Cuando se desee, se puede emplear otra gradación, pero esta circunstancia se deberá mencionar en el informe del ensayo.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Se prepara una muestra seca representativa de 500 ± 5 g, distribuida como se indica en la Sección 7. Se determina la masa de la muestra con una aproximación de 0.1 g y se registra esta masa como A.
- 8.2** Se somete la muestra a inmersión en 0.75 ± 0.05 litros de agua del grifo, a $20 \pm 5^\circ$ C, durante un lapso mínimo de una hora, ya sea dentro del recipiente del ensayo Micro-Deval o en otro recipiente apropiado.
- 8.3** Si la inmersión se realizó en el recipiente del ensayo Micro-Deval, se le añaden a la muestra preparada y al agua usada para su inmersión, 1250 ± 5 g de esferas de acero. Si la inmersión mencionada en el numeral precedente se realizó en un recipiente diferente, se transfieren al recipiente Micro-Deval la totalidad de la muestra y el agua usada para sumergirla y se añaden las esferas de acero. Se tapa el recipiente y se coloca en la máquina de ensayo.
- 8.4** Se procede a rotar la máquina a una velocidad de $100 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$ durante $15 \text{ min} \pm 5 \text{ s}$. Si la máquina dispone de cuenta-revoluciones, se gira durante 1500 ± 10 revoluciones.
- 8.5** Terminado el tiempo de rotación, se vierten cuidadosamente la muestra y las esferas sobre un tamiz de 6.7 o 6.3 mm (0.265" o $\frac{1}{4}$ ") colocado dentro de un recipiente apropiado. Se deberá tener el cuidado de vaciar del recipiente cilíndrico toda la muestra. Se lavan las esferas retenidas en el tamiz, hasta que no queden partículas del agregado adheridas a ellas. En seguida, se retiran del tamiz las esferas de acero. Se lava el agregado fino recuperado en el recipiente colocado debajo del tamiz de 6.7 o 6.3 mm (0.265" o $\frac{1}{4}$ "), siguiendo el procedimiento descrito en la norma de ensayo INV E-214, hasta que el agua de lavado salga clara y todas las partículas menores de $75 \mu\text{m}$ pasen el tamiz de esta abertura (No. 200).
- 8.6** La muestra lavada se seca en el horno hasta masa constante, a $110 \pm 5^\circ$ C ($230 \pm 9^\circ$ F).
- 8.7** Después de secada en el horno, se pesa la muestra con aproximación a 0.1 g, y se registra esta masa como B.

9 CÁLCULOS

- 9.1 Se calcula la pérdida por abrasión Micro–Deval, redondeada a 0.1 %, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de pérdidas} = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad [245.1]$$

10 USO DEL AGREGADO DE CALIBRACIÓN

- 10.1 *Agregado de calibración* – El laboratorio debe definir un agregado de calibración que presente una pérdida entre 10 % y 25 %. Se toman 10 muestras al azar de este material y se ensayan. Al mismo tiempo, se toman y ensayan 10 muestras del agregado de referencia de laboratorio. Si el material de referencia es el “Standard Sutherland Micro-Deval Fine Aggregate”, y su pérdida promedio y su variación se encuentran dentro de las tolerancias mencionadas en el numeral 10.1.1, el valor medio y el rango obtenidos se deberán utilizar con el agregado de calibración. El procedimiento de calibración se deberá realizar cada vez que se requiera un suministro del agregado de calibración.

10.1.1 La pérdida media del agregado de referencia “Standard Sutherland Micro–Deval Fine Aggregate” obtenida en un estudio realizado en varios laboratorios, fue 16.8 %. Para que haya aceptación continua de datos, los datos individuales del material de calibración se deberán encontrar entre 15.2 % y 18.4 % el 95 % de las veces.

10.1.2 Cuando los datos del agregado de calibración caen por fuera de los límites mencionados en el numeral 10.1.1, se debe adelantar un estudio para establecer las causas. El equipo deberá ser recalibrado y la técnica de ensayo reexaminada para detectar las no conformidades con el procedimiento de ensayo.

- 10.2 Cada 10 muestras, o al menos cada semana en la que se ensaye una muestra, se debe ensayar también una muestra del agregado de calibración. El material se debe tomar de un depósito de reserva y preparar de acuerdo con el numeral 7.2 de esta norma. Cuando se hayan ensayado 20 muestras y los resultados muestren una variación satisfactoria, se podrá reducir la frecuencia de ensayo a un mínimo de una vez al mes.

10.3 *Uso del gráfico de tendencia* – El porcentaje de pérdida de las últimas 20 muestras del material de calibración se debe dibujar en un gráfico de tendencia, para observar las variaciones de los resultados (Figura 245 - 1).

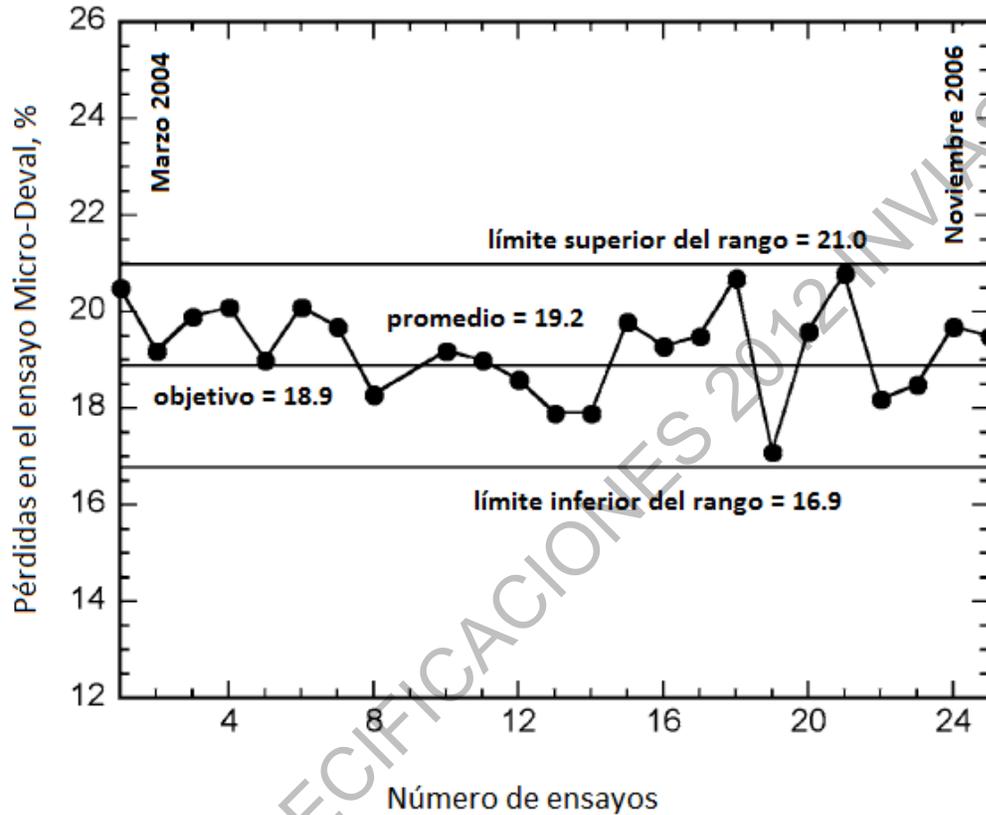


Figura 245 - 1. Gráfico de tendencia de las pérdidas por abrasión Micro-Deval de muestras del agregado de calibración

11 INFORME

11.1 El informe debe incluir lo siguiente:

- 11.1.1** La gradación utilizada, si fue diferente de la especificada.
- 11.1.2** El porcentaje de pérdida de la muestra en el ensayo, con una cifra decimal.
- 11.1.3** El porcentaje de pérdida del agregado de calibración, redondeado a 0.1 %, correspondiente a un ensayo realizado en un tiempo lo más cercano posible al ensayo que se está reportando.

11.1.4 Porcentajes de pérdida de las últimas 20 muestras del agregado de calibración, dibujados en el gráfico de tendencia.

12 PRECISIÓN Y SESGO

12.1 *Precisión* – Para un agregado fino con pérdidas por abrasión entre 7 % y 30 %, se encontró que el coeficiente de variación de un operario individual era 3.4 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados sobre muestras del mismo agregado, por el mismo operario y empleando el mismo equipo, no deberían diferir en más de 9.6 % de su promedio, el 95 % de las veces. El coeficiente de variación de los resultados de ensayos realizados en varios laboratorios fue 8.7 %; por consiguiente, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados en laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo agregado, no deberían diferir más del 24.6 % de su valor promedio, el 95 % de las veces.

12.2 *Sesgo* – El procedimiento de este método para medir la resistencia a la degradación por abrasión no presenta sesgo, por cuanto dicha resistencia solo puede ser definida en los términos del método de ensayo.

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 7428 – 08^{e1}

ANEXO A (Informativo)

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO

A.1 En estudios sobre el comportamiento de agregados finos sometidos a este ensayo, se estableció que los límites indicados en la Tabla 245A - 1 separan los agregados de comportamiento satisfactorio de aquellos cuyo comportamiento es regular o pobre. El Ministerio de Transporte de Ontario ha usado estos límites con una gran variedad de agregados, bajo condiciones climáticas severas, desde antes de 1997. No se han detectado fallas en las obras o reportado reducciones del período de servicio que puedan ser atribuidas a deficiencias de un agregado que haya satisfecho estos límites.

A.2 Se han realizado estudios para establecer una correlación entre las pérdidas del agregado fino en el ensayo Micro–Deval y las que se producen en el ensayo de solidez en sulfato de magnesio, con los resultados que muestran las Figuras 245–A.1 y 245–A.2.

Tabla 245A - 1. Límites referenciados de Micro–Deval para distintas aplicaciones de los agregados finos

APLICACIÓN	MÁXIMAS PÉRDIDAS POR ABRASIÓN EN PRUEBA MICRO-DEVAL (%)
Subbase granular	35 ^{A, B}
Base granular	30 ^{A, B}
Base de gradación abierta	25 ^{A, B}
Concreto estructural	20 ^{A, B}
Pavimento rígido	20 ^{A, B}
Base de concreto asfáltico	25 ^{A, B}
Capa de rodadura asfáltica en vías secundarias	25 ^{A, B}
Capa de rodadura en concreto asfáltico	15 ^C
Arena para capa de asiento y relleno de juntas en pavimentos de adoquines de concreto para aplicaciones vehiculares con más de 1.5 millones de ejes equivalentes de 11 000 kg	8 ^D

^A Rogers, C., "Canadian Experience with the Micro-Deval Test for Aggregates," *Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation*, Latham, J. P., ed., Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 13, 1998, pp. 139-147.

^B Rogers, C., Lane, B. and Senior, S., "The Micro-Deval Abrasion Test for Coarse and Fine Aggregate in Asphalt Pavement", Proceedings of Annual Symposium of International Center for Aggregate Research, Austin TX, April 2003.

^C White, T. T., Haddock J., E. and Rismantoyo, E., "Aggregate Tests for Hot-Mix Asphalt Mixtures Used in Pavements", Transportation Research Board, NCHRP Report 557, Washington, 2006, pp. 38.

^D ICPI, "Bedding Sand Selection for Interlocking Concrete Pavements in Vehicular Applications", Technical Specification Number 17, ICPI, Washington, DC, 2007, pp. 8.

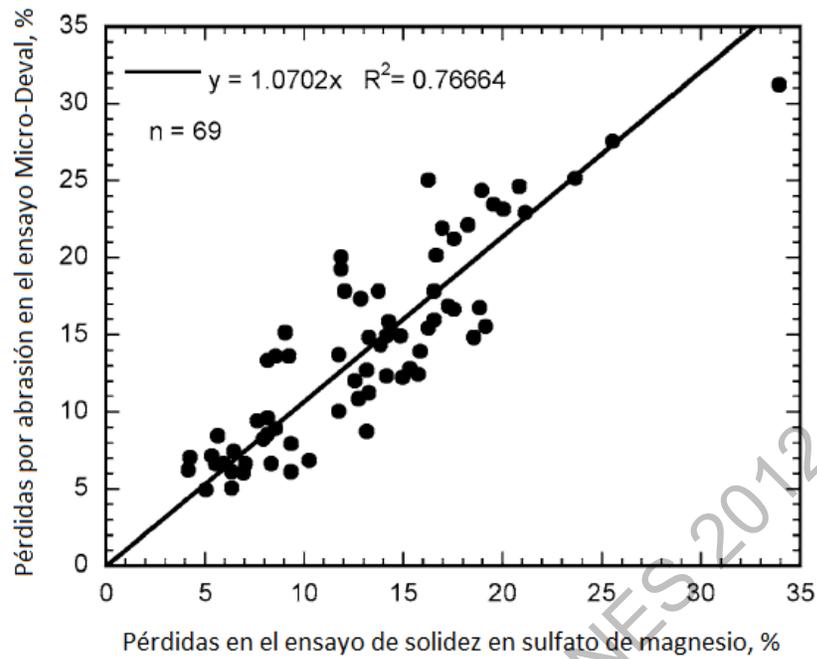


Figura 245 – A.1. Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de magnesio versus pérdidas por abrasión Micro-Deval para arenas trituradas empleadas en mezclas asfálticas

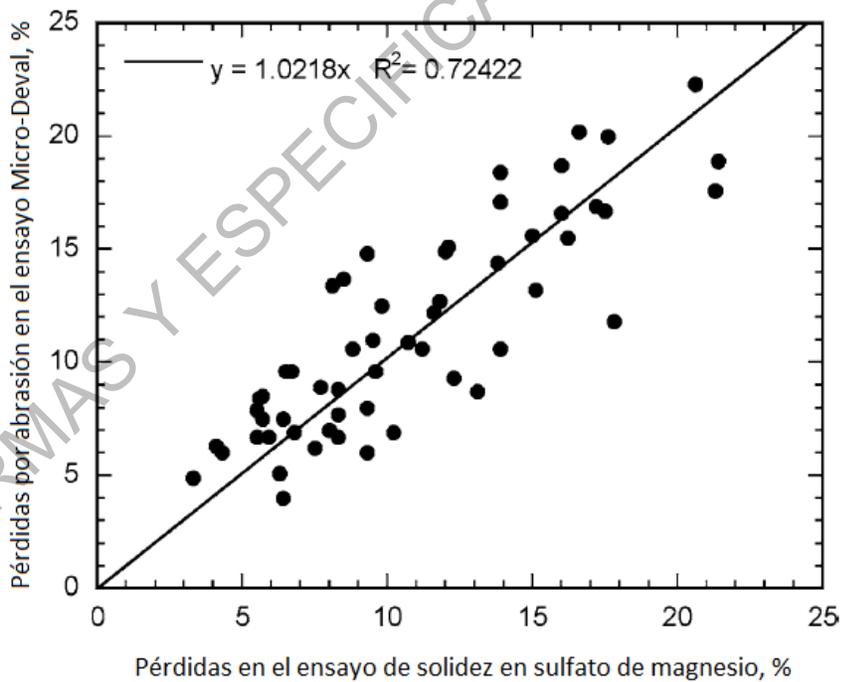


Figura 245 – A.2. Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de magnesio versus pérdidas por abrasión Micro-Deval para arenas naturales empleadas en concretos