



MANUAL DE ENSAYOS PARA LABORATORIO

AGREGADOS (AG) PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

Yelitza Ayala del Toro
Horacio Delgado Alamilla
Víctor Hugo Cuellar Pérez
Aldo Zayd Salazar Rivera

**Publicación Técnica No. 551
Sanfandila, Qro, 2019**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Manual de Ensayos para Laboratorio:
Agregados (AG) para mezclas asfálticas**

Publicación Técnica No. 551
Sanfandila, Qro, 2019

Esta investigación fue realizada en la Coordinación Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por la M.I. Yelitza Ayala del Toro, el Dr. Horacio Delgado Alamilla y los Ingenieros Víctor Hugo Cuellar Pérez y Aldo Zayd Salazar Rivera.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna IE-08/17 Evaluación inter-laboratorios de ensayos en materiales pétreos y asfálticos para su uso en mezclas asfálticas 2017.

Contenido

Contenido	ii
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	ix
Sinopsis	x
Abstract	xi
Resumen ejecutivo	xiii
Introducción	1
1 AG-I Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba	3
1.1 Objetivo	3
1.2 Equipo y herramientas	3
1.3 Calibraciones y/o verificaciones	4
1.4 Método de prueba	4
1.4.1 Selección del método	4
1.4.2 Preparación de la muestra	5
1.4.3 Ejecución de la prueba	5
2 AG-II. Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos	11
2.1 Objetivo	11
2.2 Equipo y herramientas	11
2.3 Calibraciones y/o verificaciones	11
2.4 Método de prueba	12
2.4.1 Preparación del equipo	12
2.4.2 Preparación de la muestra	12
2.4.3 Ejecución de la prueba	13
2.5 Cálculos	14
2.5.1 Cálculo de masas	14
2.5.2 Curva granulométrica	15
2.6 Registro de resultados	16
2.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados	17
3 AG-III. Método de prueba para determinar la gravedad específica y absorción del agregado fino	19
3.1 Objetivo	19
3.2 Equipo y herramientas	19
3.3 Calibraciones y/o verificaciones	20
3.4 Método de prueba	20
3.4.1 Preparación del equipo	20
3.4.2 Preparación de la muestra	20
3.4.3 Ejecución de la prueba (procedimiento gravimétrico)	23
3.5 Cálculos	25

3.5.1	Cálculo de la gravedad específica bruta.....	25
3.5.2	Cálculo de la gravedad específica aparente	25
3.5.3	Cálculo del porcentaje de absorción	25
3.6	Registro de resultados	26
3.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados	26
4	AG-IV. Método de prueba para determinar el valor de equivalente de arena en el agregado fino.....	27
4.1	Objetivo	27
4.2	Equipo y herramientas	27
4.3	Calibraciones y/o verificaciones	28
4.4	Método de prueba	29
4.4.1	Preparación del equipo	29
4.4.2	Preparación de la muestra.....	30
4.4.3	Ejecución de la prueba	32
4.5	Cálculos	34
4.5.1	Cálculo del equivalente de arena.....	34
4.6	Registro de resultados	35
4.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados	35
5	AG-V. Método de prueba para determinar el valor de azul de metileno de una arcilla.....	37
5.1	Objetivo	37
5.2	Equipo y herramientas	37
5.3	Calibraciones y/o verificaciones	38
5.4	Método de prueba	38
5.4.1	Preparación del equipo	38
5.4.2	Preparación de la muestra.....	39
5.4.3	Ejecución de la prueba	39
5.5	Cálculos	40
5.5.1	Cálculo del valor de azul de metileno	40
5.6	Registro de resultados	41
5.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados	41
6	AG-VI. Método de prueba para determinar el contenido de vacíos no compactados del agregado fino	43
6.1	Objetivo	43
6.2	Equipo y herramientas	43
6.3	Calibraciones y/o verificaciones	45
6.4	Método de prueba	45
6.4.1	Preparación del equipo	45
6.4.2	Preparación de la muestra.....	45
6.4.3	Calibración del medidor cilíndrico	46
6.4.4	Ejecución de la prueba	47
6.5	Cálculos	48
6.5.1	Cálculo de vacíos no compactados en el material (U) por medición .	48
6.5.2	Cálculo de vacíos no compactados del material (U_s), como el promedio de las dos mediciones.....	48

6.5.3	Cálculo de vacíos no compactados por fracción (U_x), como el promedio de las dos mediciones de cada fracción.....	49
6.5.4	Cálculo de vacíos no compactados en el material (U_m), como el promedio de los vacíos de cada fracción	49
6.5.5	Cálculo de vacíos no compactados en el material (U_R), como el promedio de las dos mediciones.....	49
6.6	Registro de resultados	50
6.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados.....	52
7	AG-VII. Método de prueba para determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso	53
7.1	Objetivo	53
7.2	Equipo y herramientas	53
7.3	Calibraciones y/o verificaciones	54
7.4	Método de prueba	54
7.4.1	Preparación del equipo	54
7.4.2	Preparación de la muestra.....	55
7.4.3	Ejecución de la prueba	56
7.5	Cálculos	57
7.5.1	Cálculo de la gravedad específica bruta del agregado	57
7.5.2	Cálculo de la de la gravedad específica aparente del agregado	57
7.5.3	Cálculo del porcentaje de agua absorbida por la muestra.....	57
7.6	Registro de resultados	58
7.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad de los resultados.....	58
8	AG-VIII. Método de prueba para determinar la resistencia a la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles	59
8.1	Objetivo	59
8.2	Equipo y herramientas	59
8.3	Calibraciones y/o verificaciones	61
8.4	Método de prueba	62
8.4.1	Preparación del equipo	62
8.4.2	Preparación de la muestra.....	62
8.4.3	Ejecución de la prueba	63
8.5	Cálculos	63
8.5.1	Cálculo de la pérdida por degradación en la Máquina de Los Ángeles	63
8.6	Registro de resultados	64
8.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad de los resultados.....	64
9	AG-IX. Método de prueba para determinar la resistencia a la degradación del agregado pétreo grueso por abrasión en la Máquina Micro-Deval.....	65
9.1	Objetivo	65
9.2	Equipo y herramientas	65
9.3	Calibraciones y/o verificaciones	66
9.4	Método de prueba	67
9.4.1	Preparación del equipo	67
9.4.2	Preparación de la muestra.....	67
9.4.3	Ejecución de la prueba	68

9.5	Cálculos	69
9.5.1	Cálculo de la pérdida de abrasión en presencia de agua:	69
9.6	Registro de resultados	70
9.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados	70
10	AG-X. Método de prueba para determinar la resistencia al intemperismo acelerado de los agregados	71
10.1	Objetivo.....	71
10.2	Equipo y herramientas	71
10.3	Calibraciones y/o verificaciones.....	72
10.4	Método de prueba.....	72
10.4.1	Preparación del equipo.....	72
10.4.2	Preparación de la muestra	75
10.4.3	Ejecución de la prueba.....	76
10.5	Cálculos	78
10.5.1	Cálculo del porcentaje de intemperismo acelerado por fracción	78
10.6	Registro de resultados	79
10.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados	81
11	AG-XI. Método de prueba para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.....	83
11.1	Objetivo.....	83
11.2	Equipo y herramientas	83
11.3	Calibraciones y/o verificaciones.....	83
11.4	Método de prueba.....	84
11.4.1	Preparación del equipo.....	84
11.4.2	Preparación de la muestra	84
11.4.3	Ejecución de la prueba.....	85
11.5	Cálculos	86
11.5.1	Cálculo del porcentaje de partículas fracturadas.....	86
11.6	Registro de resultados	87
11.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados	87
12	AG-XII. Método de prueba para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas del agregado grueso	89
12.1	Objetivo.....	89
12.2	Equipo y herramientas	89
12.3	Calibraciones y/o verificaciones.....	91
12.4	Método de prueba.....	91
12.4.1	Preparación del equipo.....	91
12.4.2	Preparación de la muestra	91
12.4.3	Ejecución de la prueba.....	92
12.5	Cálculos	93
12.5.1	Cálculo del porcentaje de agregado retenido por tamiz de la granulometría (%RT _{tg}).....	93
12.5.2	Cálculo del porcentaje de partículas planas y alargadas por tamiz de la muestra (%PyA _{tm}).....	94

12.5.3	Cálculo del porcentaje de partículas planas y alargadas por tamiz ponderado a la granulometría (%PyA _{tg})	94
12.5.4	Cálculo de la sumatoria del porcentaje retenido (%RT _{total}).....	94
12.5.5	Cálculo de la sumatoria del porcentaje de partículas planas y alargadas (%PyA _{total}).....	94
12.5.6	Cálculo del porcentaje de partículas planas y alargadas de la granulometría (%PyA).....	94
12.6	Registro de resultados	95
12.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados	96
13	AG-XIII. Práctica estándar para determinar el efecto de agua en ebullición en el agregado cubierto con asfalto	97
13.1	Objetivo.....	97
13.2	Equipo y herramientas	97
13.3	Calibraciones y/o verificaciones.....	97
13.4	Método de prueba.....	98
13.4.1	Preparación del equipo.....	98
13.4.2	Preparación de la muestra	98
13.4.3	Ejecución de la prueba	98
13.5	Cálculos	99
13.5.1	Cálculo del porcentaje de recubrimiento	99
13.6	Registro de resultados	100
13.7	Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados	100
	Bibliografía	101
	Anexos	103

Índice de tablas

Tabla 2.1 Tamaño de muestra del agregado grueso.....	13
Tabla 2.2 Cantidad máxima permitida de material retenido en un tamiz, kg	14
Tabla 2.3 Registro de resultados de granulometría.....	16
Tabla 2.4 Criterio r&R para el ensayo de granulometría	17
Tabla 3.1 Registro de resultados de gravedad específica bruta del agregado fino	26
Tabla 3.2 Criterio r&R para el ensayo de gravedad específica bruta del agregado fino	26
Tabla 4.1 Registro de resultados de equivalente de arena	35
Tabla 4.2 Criterio r&R para el ensayo de equivalente de arena.....	35
Tabla 5.1 Registro de resultados azul de metileno.....	41
Tabla 6.1 Muestra de ensayo, método A.....	46
Tabla 6.2 Muestra de ensayo, método B.....	46
Tabla 6.3 Densidad del agua a distintas temperaturas ^[Ref.2]	47
Tabla 6.4 Registro de resultados de angularidad del fino, Métodos A o C.....	50
Tabla 6.5 Registro de resultados de angularidad del fino, Método B	51
Tabla 6.6 Criterios de r&R para la angularidad del fino	52
Tabla 7.1 Masa de la muestra	55
Tabla 7.2 Registro de resultados de gravedad específica bruta del agregado grueso	58
Tabla 7.3 Criterio r&R para el ensayo de gravedad específica bruta del agregado grueso	58
Tabla 8.1 Masa de la carga abrasiva	61
Tabla 8.2 Granulometría de la muestra de ensayo	62
Tabla 8.3 Registro de resultados de resistencia a la degradación en la Máquina de Los Ángeles.....	64
Tabla 8.4 Criterio r&R para el ensayo de resistencia a la degradación en la Máquina de Los Ángeles.....	64
Tabla 9.1 Combinación de muestra a ensayar 19.0 a 12.5 mm	68
Tabla 9.2 Combinación de muestra a ensayar 12.5 a 6.3 mm	68
Tabla 9.3 Combinación de muestra a ensayar 9.5 a 6.3 mm	68
Tabla 9.4 Registro de resultados de resistencia a la degradación en la Máquina Micro-Deval	70
Tabla 9.5 Criterio r&R para el ensayo de resistencia a la degradación en la Máquina Micro-Deval	70
Tabla 10.1 Fracciones para la muestra de agregado fino	75
Tabla 10.2 Masa de la muestra de agregado grueso	76
Tabla 10.3 Tamizado de material	78
Tabla 10.4 Registro de resultados de porcentaje de intemperismo del agregado fino	79

Tabla 10.5 Registro de resultados de porcentaje de intemperismo del agregado grueso	80
Tabla 10.6 Criterio r&R para el ensayo de resistencia al intemperismo	81
Tabla 11.1 Masa de la muestra	84
Tabla 11.2 Registro de resultados de partículas fracturadas	87
Tabla 11.3 Criterio de r&R para el ensayo de partículas fracturadas	87
Tabla 12.1 Masa de la muestra	92
Tabla 12.2 Registro de resultados de partículas planas y alargadas	95
Tabla 12.3 Criterio r&R para el ensayo de partículas planas y alargadas	96
Tabla 13.1 Registro de resultados del efecto de agua en ebullición	100

Índice de figuras

Figura 1.1 Separador mecánico	4
Figura 1.2 Uso del separador mecánico.....	6
Figura 1.3 Método de cuarteo	7
Figura 2.1 Ejemplo de curvas granulométricas	15
Figura 3.1 Vaciado de muestra en molde.....	22
Figura 3.2 Compactación del material.....	22
Figura 3.3 Condición SSS para arena con poco material grueso.....	23
Figura 3.4 Condición SSS para arena con mucho material grueso	23
Figura 4.1 Instrumentos para ensayo	28
Figura 4.2 Altura del sifón	30
Figura 4.3 Condición óptima del material	31
Figura 4.4 Obtención de muestra, Método B.....	32
Figura 4.5 Lectura de arena	34
Figura 5.1 Bureta sobre vaso de precipitado y agitador	39
Figura 5.2 Representación del halo azul	40
Figura 6.1 Medidor cilíndrico	44
Figura 6.2 Dispositivo de medición del contenido de vacíos	44
Figura 7.1 Baño de agua equipado	55
Figura 7.2 Condición saturada superficialmente seca.....	56
Figura 8.1 Máquina de Los Ángeles.....	60
Figura 9.1 Máquina Micro-Deval	66
Figura 10.1 Formación de cristales	73
Figura 10.2 a) Agregado libre de sulfatos b) Agregado con presencia de sulfatos	77
Figura 11.1 Vista de la sección transversal máxima de la partícula	85
Figura 12.1 Dispositivo calibrador	89
Figura 12.2 Especificaciones de dispositivo proporcional calibrador.....	90
Figura 12.3 Consideraciones de una partícula	93
Figura 12.4 Relación de abertura	93
Figura 13.1 Ejemplos para determinación de porcentaje de recubrimiento.....	99

Sinopsis

El presente documento presenta la recopilación de ensayos de laboratorio utilizados para la evaluación de agregados pétreos para la elaboración de mezclas asfálticas, los cuales están basados en normas de la ASTM, las cuales fueron adecuadas y ejemplificadas de acuerdo con la experiencia recabada durante 8 años en el Programa de Laboratorio con Reconocimiento AMAAC-IMT.

Los ensayos presentados involucran los requerimientos para determinar la calidad del agregado pétreo en base al Protocolo AMAAC para mezclas asfálticas de alto desempeño, tanto para agregado grueso, como para agregado fino.

Finalmente, se presentan anexos cortos los cuales tienen como objetivo ejemplificar definiciones y procedimientos de cálculo requeridos tanto en la ejecución de los ensayos como en la interpretación de los mismos.

Abstract

This document presents the compilation of laboratory tests used for the evaluation of aggregates for asphalt mixtures, which are based on ASTM standards, adapted and exemplified according to the experience obtained during 8 years in the inter-laboratory program with AMAAC-IMT certification.

The tests presented involve the required to determine quality properties and characteristics of fine and coarse aggregate, based on the Protocolo AMAAC for high performance asphalt mixtures.

Finally, short annexes are presented, which aim to exemplify definitions and calculation procedures required for both, the test execution and its interpretation.

Resumen ejecutivo

El presente documento es un manual de ensayos para la evaluación de agregados pétreos, el cual es una recopilación y adecuación de ensayos basados en normas de la ASTM. Estas adecuaciones están apoyadas en la experiencia obtenida durante 8 años de realización del Programa de Laboratorio con Reconocimiento AMAAC-IMT y de prácticas recomendables establecidas en el Laboratorio de Infraestructura del IMT.

El manual describe trece métodos de ensayo, cuatro para agregados finos y gruesos (AG-I, AG-II, AG-X y AG-XIII), cuatro para agregados finos (AG-III, AG-IV, AG-V y AG-VI) y cinco para agregados gruesos (AG-VII, AG-VIII, AG-IX, AG-XI y AG-XII); los cuales se mencionan a continuación:

AG-I Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba.

AG-II. Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.

AG-III. Método de prueba para determinar la gravedad específica y absorción del agregado fino.

AG-IV. Método de prueba para determinar el valor de equivalente de arena en el agregado fino.

AG-V. Método de prueba para determinar el valor de azul de metileno de una arcilla.

AG-VI. Método de prueba para determinar el contenido de vacíos no compactados del agregado fino.

AG-VII. Método de prueba para determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso.

AG-VIII. Método de prueba para determinar la resistencia a la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles.

AG-IX. Método de prueba para determinar la resistencia a la degradación del agregado pétreo grueso por abrasión en la Máquina Micro-Deval.

AG-X. Método de prueba para determinar la resistencia al intemperismo acelerado de los agregados.

AG-XI. Método de prueba para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas del agregado grueso.

AG-XII. Método de prueba para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.

AG-XIII. Práctica estándar para determinar el efecto de agua en ebullición en el agregado cubierto con asfalto.

Finalmente, se presentan anexos cortos los cuales tienen como objetivo ejemplificar definiciones y procedimientos de cálculo requeridos tanto en la ejecución de los ensayos como en la interpretación de los mismos.

Introducción

El agregado pétreo se puede definir como material de origen mineral que se encuentra en la naturaleza, y en algunos casos puede ser procesado para obtenerse en los tamaños deseados. El proceso de obtención del agregado puede ser por medio de voladura o dragado. Posteriormente, las partículas de gran tamaño son trituradas para obtener tamaños manejables que varían desde los 50 mm hasta tamaños menor a 0.075 mm para su uso en pavimentos.

La roca madre puede ser clasificada en términos de sus orígenes geológicos, la cual determinará su composición química y, por lo tanto, muchas otras propiedades que influirán en su comportamiento y desempeño.

Debido a la diversidad de agregados pétreos que se pueden encontrar en el país, existen distintos ensayos que tienen por objetivo determinar propiedades del agregado que influirán en el desempeño de la mezcla asfáltica.

En pavimentos, el agregado pétreo debe proveer suficiente resistencia al corte para resistir la aplicación de cargas repetidas. Cuando una masa de agregado es sobrecargada, se genera un plano de falla, en el cual las partículas de agregado se deslizan unas respecto a otras, resultado en deformación permanente. En el caso de las mezclas asfálticas, la resistencia al corte del agregado es crítica, ya que proveerá la resistencia de la mezcla a la formación de roderas. Debido a que el agregado por sí solo presenta muy baja cohesión, la resistencia al corte se da por la resistencia al movimiento o fricción interna; una mayor resistencia al movimiento se generará con partículas cúbicas y de textura rugosa, a diferencia de partículas redondeadas y lisas que proveerán una menor resistencia.

En los métodos de diseño de mezclas asfálticas actuales, se propone evaluar al agregado mediante dos tipos de propiedades: de consenso y de origen. Las propiedades de consenso son aquellas que se cree tendrán gran influencia en el desempeño de la mezcla y dependen del proceso de trituración de la roca: angularidad del agregado grueso y fino, partículas planas y alargadas y equivalente de arena. Las propiedades de origen, son aquellas que dependerán de la mineralogía y composición de la roca madre, por lo que, aunque son importantes, no se puede especificar un criterio al ser dependientes de la zona de origen del agregado; estas propiedades son: resistencia al desgaste, intemperismo y densidad.

El presente manual tiene por objetivo ser un apoyo base para laboratorios, en la ejecución de ensayos de agregados pétreos para mezclas asfálticas al realizar una combinación de experiencia, recomendaciones y normas utilizadas como referencia.

1 AG-I Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba

1.1 Objetivo

Esta práctica abarca tres métodos para la reducción de grandes muestras de agregado al tamaño apropiado para ensayos, empleando técnicas destinadas a minimizar las variaciones en las características medidas entre las muestras de ensayo seleccionadas y la muestra general.

1.2 Equipo y herramientas

- **Separador mecánico (Método A):** con un número par de canaletas (aberturas) de anchura igual, pero no menos de un total de ocho para el agregado grueso, o doce para el agregado fino, que se descargan alternativamente a cada lado del divisor. Para el agregado grueso o mixto, la anchura mínima de las canaletas individuales deberá ser aproximadamente un 50% mayor que la partícula más grande de la muestra. Para el agregado fino seco, en los que la muestra entera pasará por el tamiz de 9.5 mm [3/8"], se utilizará un separador mecánico con canaletas de 12.5 - 20 mm de ancho. El separador estará equipado con un mínimo de dos recipientes o receptáculos para alojar las dos mitades de la muestra después de la separación; así como una tolva para la alimentación de material. El separador y accesorios deberán estar diseñados de modo que la muestra fluya suavemente sin restricciones ni pérdida de material (Figura 1.1 y Figura 1.2).
- **Balanza** con resolución de 0.1 g y capacidad suficiente para determinar la masa de los receptáculos y la muestra que se va reduciendo.
- **Misceláneos** Método B (superficie regular): pala, brocha, y escoba; Método B (superficie irregular): lona, brocha, escoba, pala o tubo; Método C: charola, cucharón y testigo muestreador.

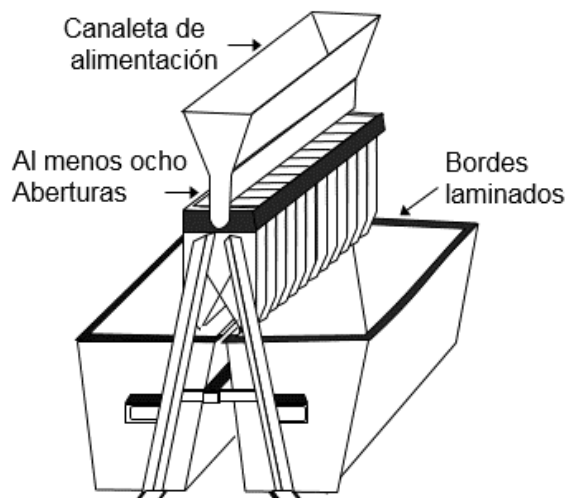


Figura 1.1 Separador mecánico

1.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 5 puntos (1000, 3000, 5000, 6000, 10000 g) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

1.4 Método de prueba

1.4.1 Selección del método

Este método de prueba contempla tres métodos para realizar la reducción de material al tamaño de prueba, los cuales se deberán elegir en función del material que se desea reducir.

- 1.4.1.1 Para reducir las muestras de agregado fino que se encuentran en una condición más seca que la condición saturada superficialmente seca, utilizar el separador mecánico de acuerdo con el Método A.

Nota 1.1. El método para determinar la condición saturada superficialmente seca se describe en el *Método de prueba para determinar la gravedad específica y absorción del agregado fino (AG-X)*. Si el agregado fino conserva su forma cuando se moldea en la mano, se puede considerar que se encuentra más húmedo que la condición saturada superficialmente seca.

- 1.4.1.2 Para reducir el tamaño de muestras que contienen humedad libre en la superficie de las partículas, realizar el procedimiento de cuarteo, de acuerdo con el Método B o tratándolas como una muestra en miniatura de acuerdo con el Método C.

- 1.4.1.3 Si se desea utilizar el Método B o C, y la muestra no tiene humedad libre sobre la superficie de las partículas, humedecer la muestra para obtener humedad libre en la superficie de las partículas, mezclar bien, y posteriormente proceder a reducir la muestra.
- 1.4.1.4 Si se desea utilizar el Método A y la muestra contiene humedad libre en la superficie de las partículas, secar toda la muestra hasta, por lo menos, la condición de superficie saturada, utilizando temperaturas que no excedan las especificadas para cualquiera de los ensayos contemplados; posteriormente, reducir al tamaño de la muestra. Alternativamente, si la muestra húmeda es muy grande, realizar una división preliminar utilizando un separador mecánico que tenga aberturas de **38 mm [1 ½"]** o mayores, para reducir la muestra a no menos de **5 kg [10 lb]**. Secar la porción obtenida y reducirla al tamaño de la muestra de ensayo utilizando el Método A.

Agregados gruesos y mezclas de agregados gruesos y finos

- 1.4.1.5 Reducir la muestra utilizando un separador mecánico de acuerdo con el Método A (método preferido) o por cuarteo de acuerdo con el Método B. El Método C sobre cuarteo en miniatura no está permitido para agregados gruesos o mezclas de agregados gruesos y finos.

1.4.2 Preparación de la muestra

- 1.4.2.1 Obtener la muestra de agregado en campo de acuerdo con la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75) o según lo requieran los métodos de prueba individuales.
- 1.4.2.2 Cuando sólo se contemplan ensayos para el análisis granulométrico, el tamaño de la muestra de campo establecida en la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75), suele ser adecuado. Cuando se lleven a cabo ensayos adicionales, el usuario deberá asegurarse que el tamaño inicial de la muestra de campo es adecuado para realizar todas las pruebas previstas.

1.4.3 Ejecución de la prueba

Método A- Separador mecánico

- 1.4.3.1 Colocar la muestra total en la tolva y distribuirla uniformemente de un borde a otro, de manera que cuando pase por las canaletas, fluyan cantidades aproximadamente iguales por las mismas (Figura 1.2).
- 1.4.3.2 Introducir la muestra a una velocidad tal que permita que fluya libremente a través de las canaletas y hacia los receptáculos inferiores. Con lo anterior, se obtendrá la primera división de la muestra.

- 1.4.3.3 Retirar el material de uno de los receptáculos y reservar. Esta porción de material se puede utilizar posteriormente para realizar reducciones para otros ensayos, cuando sea necesario.
- 1.4.3.4 Reintroducir el material del otro receptáculo nuevamente en la tolva (repetir puntos 1.4.3.1 a 1.4.3.2). Con lo anterior, se obtendrá una segunda división de la muestra.
- 1.4.3.5 Repetir el procedimiento (puntos 1.4.3.1 a 1.4.3.4) cuantas veces sea necesario, hasta obtener el tamaño de muestra requerido por el ensayo en uno de los receptáculos.

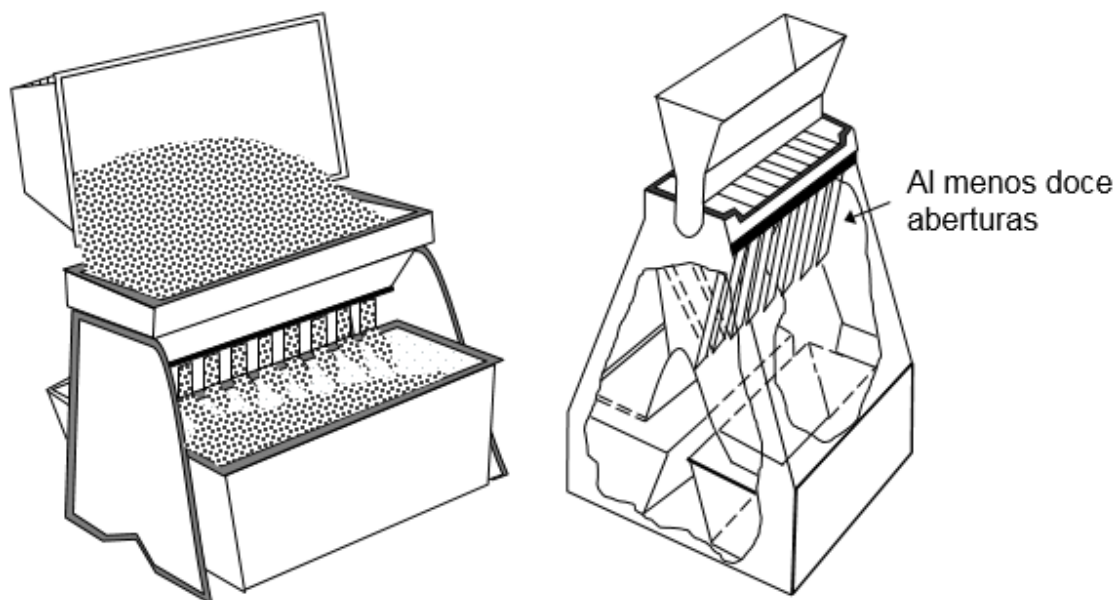


Figura 1.2 Uso del separador mecánico

Método B – Cuarteo

Procedimiento 1: superficie plana y nivelada

- 1.4.3.6 Colocar la muestra total sobre una superficie plana, rígida, limpia y nivelada, donde no exista el riesgo de pérdida de material o contaminación con otros materiales.
- 1.4.3.7 Mezclar bien todo el material mediante el traspaleo de la muestra tres veces. En el tercer traspaleo, se deberá formar una pila cónica, depositando el material de cada paleada encima de la precedente.
- 1.4.3.8 Aplanar cuidadosamente la pila cónica con un grosor y un diámetro uniformes presionando hacia abajo la punta de la pila utilizando la pala, de modo que cada cuarto (sector) de la pila aplanada resultante contenga el material original en ella.

1.4.3.9 El diámetro deberá ser de aproximadamente **4 a 8** veces el espesor de la pila aplanada.

1.4.3.10 Dividir la muestra aplanada en cuatro cuarteos iguales, haciendo uso de la pala, y teniendo cuidado de incluir en cada cuarto todo el material fino que le corresponde a dicho sector. Se deberá hacer uso de una brocha o escoba para separar completamente el material fino de cada cuarto.

Nota 1.2. Se recomienda dejar una separación entre cuarteos de aproximadamente 30 cm para evitar que el material se pueda volver a mezclar y cuidar que cada cuarto contenga el material que le corresponde.

1.4.3.11 Remover y apartar dos cuarteos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino, y cepillar los espacios despejados limpios. Esta porción de material se puede utilizar posteriormente para realizar reducciones para otros ensayos, cuando sea necesario.

1.4.3.12 Mezclar los dos cuarteos restantes y volver a formar la pila cónica. Repetir el procedimiento (puntos 1.4.3.7 a 1.4.3.11) hasta que se obtenga de los dos cuarteos restantes, el tamaño de muestra requerido por el ensayo.

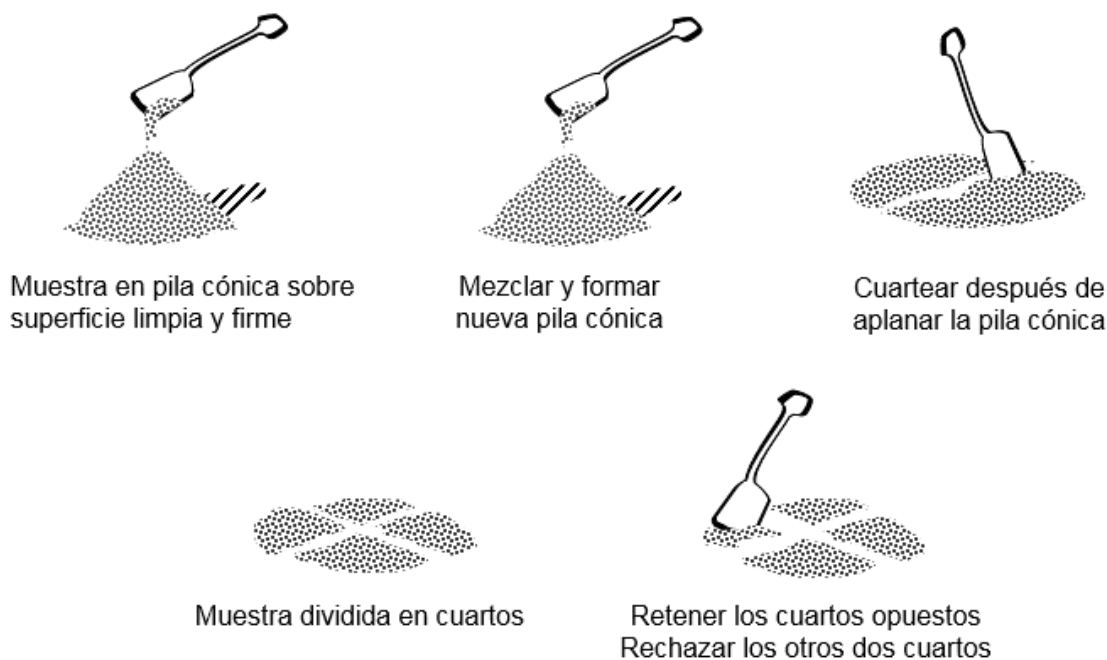


Figura 1.3 Método de cuarteo

Procedimiento 2: superficie irregular

1.4.3.13 Cuando la superficie de piso sea irregular, colocar la muestra total sobre una lona.

- 1.4.3.14 Mezclar bien todo el material mediante el traspaleo de la muestra tres veces. En el tercer traspaleo, se deberá formar una pila cónica, depositando el material de cada paleada encima de la precedente. Alternativamente, se puede mezclar el material levantando cada esquina de la lona y jalándola sobre la muestra en la dirección diagonalmente opuesta, promoviendo así el movimiento del material y la formación de la pila cónica.
- 1.4.3.15 Aplanar cuidadosamente la pila cónica con un grosor y un diámetro uniformes presionando hacia abajo la punta de la pila utilizando la pala, de modo que cada cuarto (sector) de la pila aplanada resultante contenga el material original en ella.
- 1.4.3.16 El diámetro deberá ser de aproximadamente **4 a 8** veces el espesor de la pila aplanada.
- 1.4.3.17 Dividir la muestra aplanada en cuatro cuarteos iguales haciendo uso de la pala; o alternativamente — si la superficie es muy irregular— insertar un tubo o tablón debajo de la lona y al centro de la pila, posteriormente levantar los dos extremos del tablón, dividiendo la muestra en dos partes iguales. Remover el tablón dejando un doblez en la lona entre las partes de muestra dividida. Insertar el tablón nuevamente debajo de la lona, pero a **90°** de la posición inicial. Levantar los dos extremos del tablón, dividiendo ahora la muestra en cuatro partes iguales.
- 1.4.3.18 Remover y apartar dos cuarteos diagonalmente opuestos, cuidando remover todo el material fino de la lona. Esta porción de material se puede utilizar posteriormente para realizar reducciones para otros ensayos, cuando sea necesario.
- 1.4.3.19 Mezclar los dos cuarteos restantes de acuerdo con el punto 1.4.3.14, y volver a formar la pila cónica. Repetir el procedimiento (puntos 1.4.3.15 a 1.4.3.18) hasta que se obtenga de los dos cuarteos restantes, el tamaño de muestra requerido por el ensayo.

Método C: Pila Cónica (solo agregado fino húmedo)

- 1.4.3.20 Colocar la muestra total de agregado fino húmedo sobre una charola o superficie limpia y nivelada donde no habrá pérdida de material ni contaminación con otros materiales.
- 1.4.3.21 Mezclar bien todo el material mediante el traspaleo de la muestra tres veces, haciendo uso de un cucharón. En el tercer traspaleo, se deberá formar una pila cónica, depositando el material de cada toma de material encima de la precedente.
- 1.4.3.22 Si se desea, aplanar cuidadosamente la pila cónica con un grosor y un diámetro uniformes presionando hacia abajo la punta de la pila, de modo

que cada cuarto (sector) de la pila aplanada resultante contenga el material originalmente en ella.

- 1.4.3.23 Obtener una muestra para cada ensayo mediante la selección de al menos 5 incrementos de material en ubicaciones aleatorias de la pila en miniatura haciendo uso del testigo muestreador.

2 AG-II. Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos

2.1 Objetivo

Determinar la distribución de tamaños de las partículas de agregados finos y gruesos por medio de tamices. La distribución de tamaños se utiliza para determinar el cumplimiento de las partículas de agregado con los requerimientos de alguna especificación, así como, proveer datos necesarios para el control de la producción de la mezcla.

2.2 Equipo y herramientas

- **Mallas** montadas sobre un marco, denominadas tamices, de tal manera que se prevenga la pérdida de material durante el proceso de tamizado. Deberán cumplir con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11).
- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y con una resolución de 0.1 g (ver Anexo A.4).
- **Horno** capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- **Vibrador mecánico** (opcional) que promueva movimiento en los tamices, de tal forma, que cause el rebote y giro de las partículas.

2.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Balanza para finos.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Para finos, se recomienda que la calibración sea en, al menos, 3 puntos (300, 500, 1000 g) considerando el rango de trabajo; para gruesos se recomienda que la calibración sea en, al menos, 5 puntos (1000, 2000, 5000, 10000, 15000 g) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamices.** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C o mayor en, al menos, un punto considerando el rango de trabajo (110 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

2.4 Método de prueba

2.4.1 Preparación del equipo

- 2.4.1.1 Seleccionar los tamices a utilizar de acuerdo con la especificación requerida en el diseño.
- 2.4.1.2 Verificar que los tamices estén limpios y libres de cualquier otro material.
- 2.4.1.3 Apilar los tamices en orden decreciente de arriba hacia abajo

2.4.2 Preparación de la muestra

- 2.4.2.1 Muestrear el agregado de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75). La cantidad por muestrear deberá ser la especificada en la norma ASTM D75 o cuatro veces la cantidad requerida en los puntos 2.4.2.4 y 2.4.2.5.
- 2.4.2.2 Homogeneizar y reducir el material de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de la prueba* (AG-I), hasta el tamaño de muestra requerido.
- 2.4.2.3 Secar la muestra hasta masa constante a una temperatura de **110 ± 5 °C**.

Nota 2.1. Para propósitos de control de calidad, particularmente cuando se requieren resultados rápidos, generalmente no es necesario secar el agregado grueso. Los resultados son poco afectados por el contenido de humedad, excepto cuando: (1) el tamaño nominal sea inferior que 12.5 mm; (2) el agregado grueso contenga material apreciable más fino que 4.75 mm; o (3) el agregado grueso sea altamente absorbente (un agregado ligero, por ejemplo).

Agregado fino

- 2.4.2.4 El tamaño de la muestra, después de secado, deberá ser de **300 g** mínimo.

Agregado grueso y mezcla de agregado con fino

- 2.4.2.5 El tamaño de la muestra dependerá del tamaño nominal del agregado. Después de secado deberá contener al menos la cantidad indicada en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Tamaño de muestra del agregado grueso

Tamaño nominal, mm [pulg]	Tamaño mínimo de la muestra [g]
9.5 [$\frac{3}{8}$]	1 000
12.5 [$\frac{1}{2}$]	2 000
19.0 [$\frac{3}{4}$]	5 000
25.0 [1]	10 000
37.5 [$1\frac{1}{2}$]	15 000

2.4.3 Ejecución de la prueba

- 2.4.3.1 Registrar la masa inicial de la muestra (**A**) con una aproximación de **0.1 g** (1 decimal).
- 2.4.3.2 Colocar la muestra de material en la malla superior.
- 2.4.3.3 Agitar los tamices manualmente o con el vibrador mecánico.

Procedimiento agitación manual

- 2.4.3.3.1 Seleccionar el tamiz individualmente provisto de una charola y una tapa, y posicionar ligeramente inclinado en una mano.
- 2.4.3.3.2 Golpear el lado del tamiz y con un movimiento hacia arriba a una velocidad de aproximadamente **150 veces** por minuto.
- 2.4.3.3.3 Girar el tamiz aproximadamente $\frac{1}{6}$ de su circunferencia a intervalos de aproximadamente **25 golpes**.
- 2.4.3.3.4 Tamizar lo necesario hasta que, por un periodo continuo de **1 minuto** de tamizado, no pase más del **1%** del material respecto a la masa retenida en cada tamiz.

Procedimiento agitación mecánica

- 2.4.3.3.5 Colocar los tamices a utilizar en orden decreciente, así como en el primer tamiz colocar una tapa y en el último una charola.

Nota 2.2. Utilizar el vibrador mecánico un tiempo excesivo (aproximadamente más de 10 minutos) puede resultar en la degradación de la muestra.

- 2.4.3.4 Se deberá limitar la cantidad del material sobre cada tamiz, de tal forma que todas las partículas tengan oportunidad de pasar en las aberturas de la malla durante el cribado.

Para tamices con aberturas menores a **4.75mm [No. 4]**, la cantidad retenida no deberá exceder de **7 kg/m²** del área de tamizado; lo anterior

corresponde a **200 g** para tamices con **8 pulg** de diámetro. Para tamices con abertura de **4.75 mm [No. 4]** o mayores, la cantidad retenida en kg no deberá exceder **2.5 veces** la abertura del tamiz (mm) por el área de tamizado efectivo (m²), ver Tabla 2.2. En ningún caso la cantidad retenida deberá ser tal que cause deformación permanente en el tamiz.

Tabla 2.2 Cantidad máxima permitida de material retenido en un tamiz, kg

Abertura de malla, mm [pulg]	Dimensión nominal de la malla		
	Diámetro 8 pulg	Diámetro 10 pulg	Diámetro 12 pulg
	Área de tamizado efectivo [m ²]		
	0.0285	0.0457	0.067
37.5 [1 1/2]	2.70	4.30	6.30
25.0 [1]	1.80	2.90	4.20
19.0 [3/4]	1.40	2.20	3.20
12.5 [1/2]	0.89	1.40	2.10
9.5 [3/8]	0.67	1.10	1.60
4.75 [No. 4]	0.33	0.54	0.80

2.4.3.5 Registrar la masa retenida en cada tamiz con aproximación de **0.1 g**.

2.4.3.6 Registrar la masa total retenida como la suma de la masa retenida en cada tamiz, con aproximación de **0.1 g (B)**.

2.5 Cálculos

2.5.1 Cálculo de masas

2.5.1.1 Cálculo de la masa retenida parcial por tamiz respecto a la masa total antes del cribado con aproximación de 0.1 % (1 decimal).

$$\text{Retenido parcial [\%]} = \frac{\text{Masa retenida en cada tamiz}}{A} * 100$$

2.5.1.2 Cálculo del porcentaje de material que pasa por cada tamiz con aproximación de 0.1 % (1 decimal).

$$\text{Material que pasa [\%]} = \% \text{ que pasa el tamiz superior} - \% \text{ masa retenida parcial}$$

2.5.1.3 Cálculo de la diferencia de masas de la muestra de agregado final (después del tamizado), respecto a la masa inicial de la muestra; con aproximación de 0.1 %. Si la diferencia de masas es mayor al 0.3 % o negativa, el ensayo deberá ser descartado.

$$\text{Diferencia de masas } [\%] = \frac{(A - B)}{A} * 100$$

2.5.2 Curva granulométrica

2.5.2.1 Graficar la curva granulométrica en función de la abertura del tamiz. El eje de las abscisas será la abertura^{0.45} (abertura elevada a la 0.45) de cada tamiz [mm] y el eje de las ordenadas será el porcentaje [%] que pasa en cada tamiz.

Nota 2.3. La Figura 2.1 es un ejemplo de la representación gráfica de las curvas granulométricas. La representación de cada tipo de material puede variar en función de los tamaños disponibles.

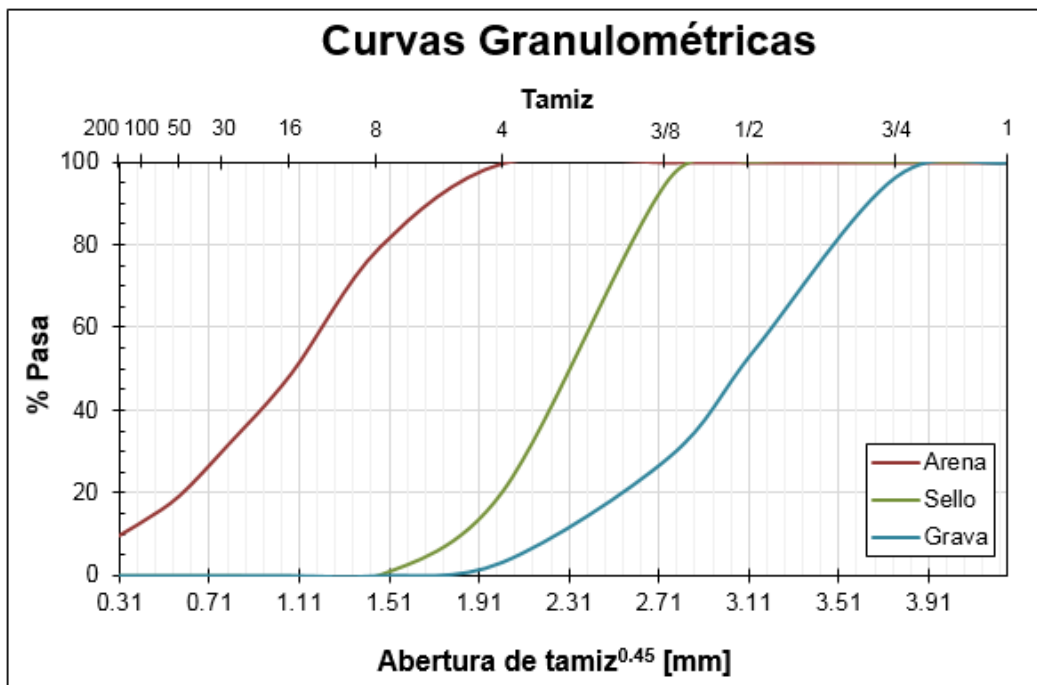


Figura 2.1 Ejemplo de curvas granulométricas

2.6 Registro de resultados

Tabla 2.3 Registro de resultados de granulometría

Granulometría ASTM C136			Identificación de la muestra:						
			Fecha de ensayo:						
Resultados			Réplica #1			Réplica #2			Promedio
Masa inicial de la muestra [g]									
No. Malla	Abertura [mm]	(Abertura) ^{0.45} [mm]	Masa retenida [g]	Retenido parcial [%]	Pasa [%]	Masa retenida [g]	Retenido parcial [%]	Pasa [%]	Pasa [%]
2 in	50	5.9							
1 1/2 in	37.5	5							
1 in	25	4.3							
3/4 in	19	3.8							
1/2 in	12.5	3.1							
3/8 in	9.5	2.8							
No. 4	4.75	2							
No.8	2.36	1.5							
No.16	1.18	1.1							
No. 30	0.6	0.8							
No. 50	0.3	0.6							
No. 100	0.15	0.4							
No. 200	0.075	0.3							
Pasa No. 200	---	---							
Masa total retenida [g]									
Diferencia de masas [g]									

2.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

Tabla 2.4 Criterio r&R para el ensayo de granulometría

Parámetro			1 Operador		Multilaboratorio	
Porcentaje total de material que pasa			1S	D2S	1S	D2S
Agregado Grueso	< 100	≥ 95	0.32	0.9	0.35	1
	< 95	≥ 85	0.81	2.3	1.37	3.9
	< 85	≥ 80	1.34	3.8	1.92	5.4
	< 80	≥ 60	2.25	6.4	2.82	8
	< 60	≥ 20	1.32	3.7	1.97	5.6
	< 20	≥ 15	0.96	2.7	1.6	4.5
	< 15	≥ 10	1	2.8	1.48	4.2
	< 10	≥ 5	0.75	2.1	1.22	3.4
	< 5	≥ 2	0.53	1.5	1.04	3
	< 2	> 0	0.27	0.8	0.45	1.3
Agregado fino	< 100	≥ 95	0.26	0.7	0.23	0.6
	< 95	≥ 60	0.55	1.6	0.77	2.2
	< 60	≥ 20	0.83	2.4	1.41	4
	< 20	≥ 15	0.54	1.5	1.1	3.1
	< 15	≥ 10	0.36	1	0.73	2.1
	< 10	≥ 2	0.37	1.1	0.65	1.8
	< 2	> 0	0.14	0.4	0.31	0.9

Ver Anexo A.3.

3 AG-III. Método de prueba para determinar la gravedad específica y absorción del agregado fino

3.1 Objetivo

Determinar la gravedad específica y la absorción de los agregados finos. La gravedad específica (adimensional), se puede expresar como gravedad específica bruta (G_{sb}) y gravedad específica aparente (G_{sa}). La gravedad específica es la relación de la masa del agregado respecto a la masa de un volumen de agua igual al volumen del agregado.

3.2 Equipo y herramientas

- **Picnómetro** (procedimiento gravimétrico) apropiado en el cual la muestra pueda ser fácilmente introducida y el volumen contenido pueda ser reproducido dentro de $\pm 0.1 \text{ cm}^3$. El volumen del contenedor deberá ser al menos el doble del volumen de la muestra. Un contenedor de 500 cm^3 de capacidad generalmente es adecuado para una muestra de 500 g de agregado fino.
- **Molde y pisón** para pruebas de humedad superficial (condición saturada superficialmente seca). Molde metálico en forma de cono truncado con las siguientes dimensiones: $40 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interior en la parte superior, $90 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interior en la parte inferior, y $75 \pm 3 \text{ mm}$ de altura. El metal deberá tener un espesor mínimo de 0.8 mm. El pisón deberá tener una masa de $340 \pm 15 \text{ g}$ y una superficie circular en la cara de apisonamiento de $25 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro.
- **Tamiz** con aberturas de 4.75 mm [No. 4] conforme a las especificaciones de la *norma Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11).
- **Balanza** con una capacidad de 1000 g o más, una resolución mínima de 0.1 g, y una precisión dentro de 0.1 % de la masa de ensayo (ver Anexo A.4).
- **Termómetro** con un rango de medición suficiente para evaluar $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y con una graduación mínima de $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Nota 3.1. Se recomienda el termómetro de inmersión ASTM 36C (rango: -2 a $+68 \text{ }^\circ\text{C}$, resolución: $0.2 \text{ }^\circ\text{C}$).

- **Baño de agua** capaz de mantener una temperatura de 23 ± 2 °C para sumergir la muestra.
- **Horno** capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- **Agua** destilada o desionizada.

3.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 3 puntos (500, 700, 1000 g) considerando el rango de trabajo de la misma y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamiz 4.75 mm [No. 4].** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Termómetro.** Calibrar con una precisión de 0.1 °C en, al menos, 5 puntos (21, 22, 23, 24, 25 °C) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C o mayor en, al menos, un punto considerando el rango de trabajo (110 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

3.4 Método de prueba

Nota 3.2. El método ASTM C128 involucra la determinación de la densidad del agregado fino por dos métodos: gravimétrico y volumétrico. En el procedimiento descrito en el presente manual, únicamente se hace referencia al método gravimétrico. Si se desea realizar el método volumétrico, dirigirse a la norma de referencia.

3.4.1 Preparación del equipo

3.4.1.1 Acondicionar el baño a la temperatura de prueba de 23 ± 2 °C.

3.4.2 Preparación de la muestra

- 3.4.2.1 Obtener la muestra de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75).
- 3.4.2.2 Mezclar la muestra de agregado y reducir para obtener una muestra de aproximadamente **1 kg** de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba* (AG-I).

Secado de la muestra

- 3.4.2.3 Colocar la muestra en una charola y secar en un horno a masa constante a una temperatura de **110 ± 5 °C**. Una vez seca la muestra, permitir que se enfríe a temperatura ambiente, hasta alcanzar una temperatura cómoda para manejarla (aproximadamente **50 °C**).

Saturación de la muestra

- 3.4.2.4 Agregar agua a la muestra hasta alcanzar al menos **6 %** de humedad, y permitir reposar durante **24 ± 4 horas** en un recipiente hermético para evitar la pérdida de humedad.

Obtención de la condición saturada superficialmente seca (SSS)

- 3.4.2.5 Extender la muestra en una superficie plana expuesta a una suave corriente de aire tibio mientras se remueve para asegurar un secado homogéneo.

Nota 3.3. Si se desea, se permite emplear ayuda mecánica, tales como, espátula o agitador para lograr la condición saturada y superficialmente seca.

- 3.4.2.6 Continúe esta operación hasta que la muestra se aproxime a la condición saturada superficialmente seca.
- 3.4.2.7 Realizar el primer intento de prueba de humedad superficial (condición saturada superficialmente seca) cuando aún haya agua en la muestra.

Determinación de la condición SSS

- 3.4.2.8 Sostener el molde firmemente sobre una superficie suave, lisa y no absorbente, con el diámetro mayor hacia abajo.
- 3.4.2.9 Vaciar la muestra del agregado fino y llenar hasta que sobresalga del molde. Utilizar los dedos en forma de circular cubriendo la parte superior del molde para agregar material adicional.



Figura 3.1 Vaciado de muestra en molde

- 3.4.2.10 Sostener el molde y compactar ligeramente el agregado fino con el pisón dentro del molde con **25 golpes**. Para cada golpe, dejar caer el pisón desde una altura de **5 mm** respecto a la superficie de la muestra, ajustar la altura inicial a la nueva altura de la superficie del material después de cada golpe y distribuir los golpes en toda la superficie.

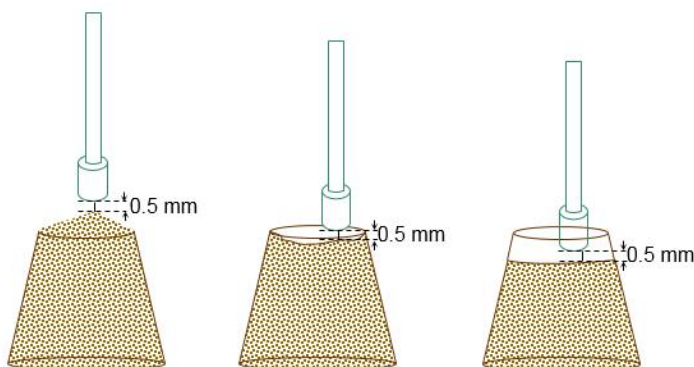


Figura 3.2 Compactación del material

- 3.4.2.11 Hacer a un lado el material suelto alrededor de la base del cono y levantar el molde verticalmente.
- 3.4.2.12 Si aún está presente humedad superficial, el agregado fino retendrá la forma del molde. Por otro lado, cuando exista una caída ligera de agregado fino, se ha alcanzado la condición SSS (Figuras 3.3 y 3.4).



Figura 3.3 Condición SSS para arena con poco material grueso



Figura 3.4 Condición SSS para arena con mucho material grueso

- 3.4.2.13 Si no se obtiene una caída de material (existe exceso de humedad), se deberá continuar secando con mezclado constante (punto 3.4.2.5) y repetir el proceso para verificación de la condición SSS (puntos 3.4.2.8 a 3.4.2.11) hasta alcanzar la condición SSS.
- 3.4.2.14 Si se obtiene una caída excesiva de material (existe falta de humedad), se deberá mezclar el material completamente con unos pocos mililitros de agua y dejar reposar en un contenedor cubierto durante **30 minutos** y repetir el proceso de secado y evaluación de la condición SSS (puntos 3.4.2.5 a 3.4.2.11), hasta alcanzar dicha condición.
- 3.4.2.15 Una vez obtenida la condición SSS, se deberá tomar inmediatamente una muestra de **500 ± 10 g**. Registrar la masa de la muestra (**S**).

3.4.3 Ejecución de la prueba (procedimiento gravimétrico)

- 3.4.3.1 Colocar la muestra de **500 ± 10 g** dentro del picnómetro y llenar con agua destilada el volumen adicional hasta aproximadamente al **90 %** de su capacidad.

- 3.4.3.2 Tapar el picnómetro y agitarlo suavemente para eliminar las burbujas. Realizar el proceso de agitación por alguno de los siguientes métodos.

Método manual

- 3.4.3.2.1 Girar, invertir o agitar el picnómetro (o utilizar una combinación de estas acciones) para eliminar las burbujas de aire. Normalmente se requiere de **15 a 20 minutos** para eliminar las burbujas de aire.

Nota 3.4. Se recomienda utilizar unas gotas de alcohol isopropílico para dispersar la espuma que algunas veces se genera en este proceso. Opcionalmente, se puede utilizar la punta mojada de una toalla de papel dentro del picnómetro para dispersar la espuma.

Método mecánico

- 3.4.3.2.2 Agitar el picnómetro mecánicamente mediante vibración externa, de manera que no se degrade el material. Un nivel de agitación ajustado únicamente para poner en movimiento las partículas individuales es suficiente para promover la desaireación sin degradación.
- 3.4.3.3 Una vez eliminadas las burbujas, llenar el picnómetro con agua destilada hasta la marca de calibración.
- 3.4.3.4 Ajustar la temperatura del picnómetro y su contenido mediante la inmersión de este dentro del baño de agua a **23 ± 2 °C**.
- 3.4.3.5 Retirar el picnómetro del baño de agua y secar.
- 3.4.3.6 Determinar la masa del picnómetro con agua y muestra (**C**).
- 3.4.3.7 Retirar la muestra del picnómetro vertiéndola en una charola (registrar la masa de la charola limpia y seca previo a utilizarla) y lavar el picnómetro con agua adicional hasta retirar todo el material fino del mismo.
- 3.4.3.8 Secar la muestra a masa constante a una temperatura de **110 ± 5 °C**.
- 3.4.3.9 Permitir que la muestra se enfríe a temperatura ambiente durante **1 hora $\pm$ 30 minutos** y determinar la masa seca de la muestra (**A**).
- 3.4.3.10 Determinar la masa del picnómetro lleno hasta la marca de calibración con agua destilada a una temperatura de **23 ± 2 °C** (**B**) con una aproximación de **0.1 g**.

3.5 Cálculos

3.5.1 Cálculo de la gravedad específica bruta

$$G_{sb} = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde:

G_{sb} [adimensional] = Gravedad específica bruta. Reportar este valor con aproximación de 0.001 (3 decimales).

S [g] = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca, con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

A [g] = Masa de la muestra seca al horno, con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

B [g] = Masa del picnómetro con agua, con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

C [g] = Masa del picnómetro con agua y muestra, con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

3.5.2 Cálculo de la gravedad específica aparente

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

Donde:

G_{sa} [adimensional] = Gravedad específica aparente. Reportar este valor con aproximación de 0.001 (3 decimales).

3.5.3 Cálculo del porcentaje de absorción

$$\text{Absorción [\%]} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Reportar el valor de la absorción con aproximación de 0.1 (1 decimal).

3.6 Registro de resultados

Tabla 3.1 Registro de resultados de gravedad específica bruta del agregado fino

Gravedad específica del agregado fino <i>ASTM C128</i>	Identificación de la muestra:			
	Fecha de ensayo:			
	Temperatura del agua durante el ensayo:			
Resultados			Réplica #1	Réplica #2
(S) Masa de la muestra saturada superficialmente seca [g]				
Masa de la muestra seca al horno	Masa de charola [g]			
	Masa de charola con muestra seca [g]			
	(A) Masa de la muestra seca al horno [g]			
(B) Masa del picnómetro con agua [g]				
(C) Masa del picnómetro con agua y muestra [g]				
(G _{sb}) Gravedad específica bruta				
(G _{sa}) Gravedad específica aparente				
Absorción [%]				
Gravedad específica bruta (G_{sb}) promedio				
Gravedad específica aparente (G_{sa}) promedio				
Absorción promedio [%]				

3.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

Tabla 3.2 Criterio r&R para el ensayo de gravedad específica bruta del agregado fino

Parámetro	1 Operador		Multilaboratorio	
	1S	D2S	1S	D2S
G _{sb}	0.011	0.032	0.023	0.066
G _{sa}	0.0095	0.027	0.020	0.056
Absorción [%]	0.11	0.31	0.23	0.66

Ver Anexo A.3.

4 AG-IV. Método de prueba para determinar el valor de equivalente de arena en el agregado fino

4.1 Objetivo

Este método de prueba está destinado a servir como una rápida prueba de correlación en campo. El propósito de este método de prueba es para indicar bajo condiciones estándar las proporciones relativas de arcilla o finos plásticos respecto a polvos de suelos granulares en agregados finos que pasan la malla de 4.75 mm [No. 4].

4.2 Equipo y herramientas

- **Agitador mecánico** (opcional) para equivalente de arena, diseñado para sostener la probeta cilíndrica en una posición horizontal, mientras se sujeta a un movimiento paralelo a una velocidad de 175 ± 2 cpm y con una carrera de $203.2 \text{ mm} \pm 1.0 \text{ mm}$.
- **Instrumentos** Probeta cilíndrica transparente graduada con tapón de hule, tubo irrigador, pisón lastrado, y sifón. Estos deberán cumplir con las dimensiones especificadas en la Figura 4.1.
- **Medidor metálico cilíndrico** de aproximadamente 57 mm de diámetro con una capacidad de $85 \pm 5 \text{ mL}$.
- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una resolución mínima de 1.0 g (ver Anexo A.4).
- **Tamiz** con aberturas de 4.75 mm [No.4] conforme a las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11).
- **Horno** capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Reactivos para solución de reserva con formaldehído.** Formaldehído, cloruro de calcio anhidro grado técnico, glicerina USP, y agua destilada.
- **Reactivos para solución de reserva con glutaraldehído.** Glutaraldehído, dihidrato de cloruro de calcio grado A.C.S., glicerina USP y agua destilada.

- **Misceláneos.** Papel filtro Whatman No. 2 o equivalente, embudo de boca ancha para transferir la muestra a la probeta, dos botellas de 1 galón (3.8 L) para almacenar la solución de reserva y la solución de trabajo.

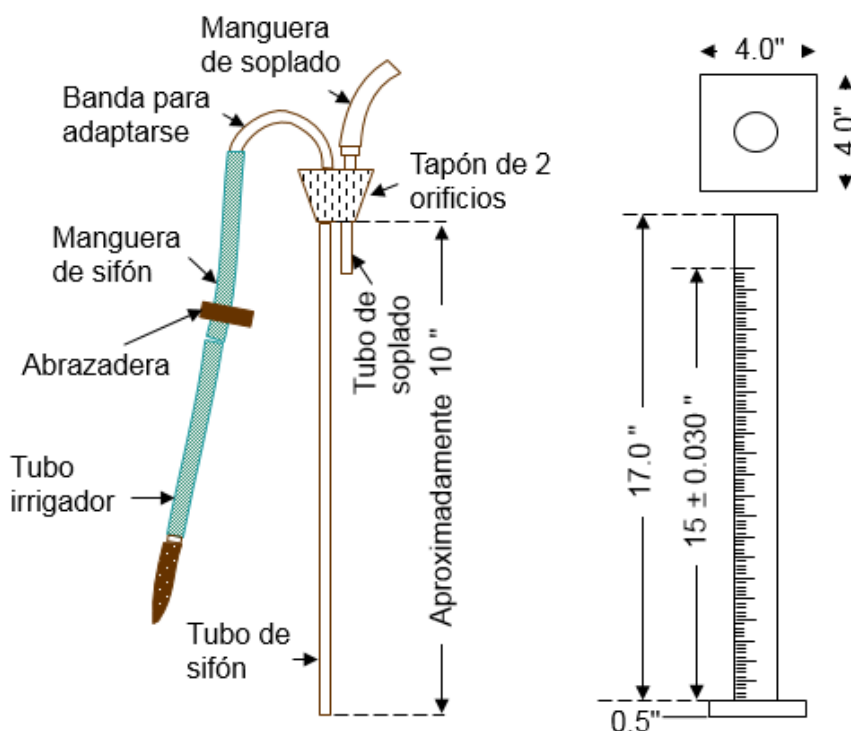


Figura 4.1 Instrumentos para ensayo

4.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Agitador mecánico.** Verificar la velocidad del equipo a 175 ± 2 cpm y, al menos, una vez cada 12 meses.
- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la verificación sea en, al menos, 1 punto (1500 g) considerando el rango de trabajo de la misma y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamiz 4.75 mm [No. 4].** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C o mayor considerando el rango de trabajo (110°C) y, al menos, una vez cada 12 meses.

4.4 Método de prueba

4.4.1 Preparación del equipo

4.4.1.1 Preparar la solución de reserva con formaldehído o glutaraldehído, y la solución de trabajo.

Solución de reserva con formaldehído

4.4.1.2 Disolver **454 g** de cloruro de calcio en **1.89 litros ($\frac{1}{2}$ gal)** de agua destilada, enfriar y filtrar utilizando el papel filtro.

4.4.1.3 Adicionar **2050 g** de glicerina y **47 g** de formaldehído a la solución filtrada, mezclar bien y diluir con agua destilada hasta lograr **3.78 litros** de solución.

Solución de reserva con glutaraldehído

4.4.1.4 Disolver **577 g** de dihidrato de cloruro de calcio en **1.89 ($\frac{1}{2}$ gal)** de agua destilada, enfriar y filtrar utilizando el papel filtro.

4.4.1.5 Adicionar **2050 g** de glicerina y **59 g** de glutaraldehído a la solución filtrada, mezclar bien y diluir con agua destilada hasta lograr **3.78 litros** de solución.

Solución de trabajo

4.4.1.6 Preparar la solución de trabajo en una botella de **3.78 L (1 gal)**, mediante la adición de **85 ± 5 mL** de solución de reserva y completando el volumen restante con agua destilada.

4.4.1.7 Ajustar el sifón a la botella con la solución de trabajo y colocarla en un estante a una altura de **90 ± 5 cm** sobre la superficie de trabajo (Figura 4.2).

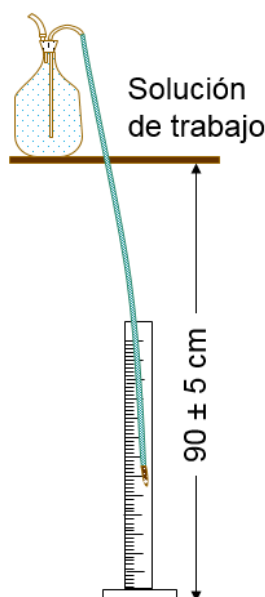


Figura 4.2 Altura del sifón

4.4.2 Preparación de la muestra

4.4.2.1 Muestrear el agregado fino de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75). Mezclar y reducir completamente la muestra a la cantidad necesaria de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba* (AG-I).

4.4.2.2 Obtener al menos **1500 g** de material que pasa la malla de **4.75 mm [No.4]** de acuerdo con el *Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos* (AG-II).

4.4.2.3 Disgregar cualquier grumo de material para que pase la malla de **4.75 mm [No.4]**. Remover el material fino adherido al agregado grueso, en caso de existir, mediante el secado y frotamiento del agregado grueso.

Nota 4.1. Utilizar un mortero, mazo de goma o cualquier otro medio que no cause apreciable degradación del agregado.

Método A

4.4.2.4 Humedecer el material lo suficiente para prevenir segregación o pérdida de finos durante el procedimiento de cuarteo. Mantener la muestra en una condición de flujo libre.

4.4.2.5 Utilizar el medidor cilíndrico para obtener **4** medidas de la muestra. En cada muestreo se deberá golpear el fondo del medidor cilíndrico en la mesa de trabajo al menos **4** veces, y dejar el material ligeramente superior al nivel del medidor.

4.4.2.6 Registrar la masa del material contenido en cada uno de los cuatro muestreos con el medidor cilíndrico, para obtener así la aproximación de masa requerida para una muestra de ensayo. La masa de una muestra de ensayo será igual a la masa del material contenida en el medidor cilíndrico.

4.4.2.7 Regresar el material a la muestra total y proceder a cuartearla de acuerdo con la especificación del *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba* (AG-I), realizando los ajustes necesarios para obtener la masa de ensayo. La masa de la muestra de ensayo (la medida de un medidor cilíndrico) se obtendrá después de dos cuarteos sucesivos sin ajuste a partir de la masa predeterminada. Ver ejemplo de cuarteo y ajuste de masas en el Anexo A.2.

4.4.2.8 Tomar la muestra de material producto de la reducción con el medidor cilíndrico y enrasar. Secar el material a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta masa constante.

Método B

4.4.2.9 Humedecer el material lo suficiente y mezclarlo muy bien hasta obtener la condición de humedad necesaria en toda la muestra.

4.4.2.10 Para determinar la condición de húmeda óptima, se deberá hacer un rollito con la palma de la mano. Si se forma un rollo de tal manera que permita su manejo con cuidado sin romperse, se ha obtenido el rango óptimo de humedad.

4.4.2.11 Si el material está muy seco, el rollo se desmoronará y será necesario adicionarle agua, mezclar y volver a ensayar hasta que el material forme el rollo.

4.4.2.12 Si le escurre agua al material, este contiene más agua que la condición de humedad óptima, por lo que deberá mezclarse el material continuamente y secar con aire para eliminar agua, hasta que se forme el rollo.



Figura 4.3 Condición óptima del material

4.4.2.13 Después de obtener la condición de humedad óptima, formar con el material una pila cónica.

4.4.2.14 Desplazar el medidor cilíndrico en posición horizontal a través de la pila cónica aplicando suficiente presión con la palma de la mano, compactando el material hasta consolidarlo dentro del medidor cilíndrico.



Figura 4.4 Obtención de muestra, Método B

4.4.2.15 Enrasar el medidor cilíndrico y secar el material a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta masa constante.

4.4.3 Ejecución de la prueba

4.4.3.1 Vaciar 4 ± 0.1 pulg (102 ± 3 mm) de la solución de trabajo por medio del sifón en la probeta graduada.

4.4.3.2 Vaciar la muestra dentro de la probeta utilizando el embudo para evitar que se derrame.

4.4.3.3 Golpear la base de la probeta con movimientos enérgicos para sacar las burbujas de aire atrapadas y favorecer el humedecimiento de la muestra.

4.4.3.4 Permitir que la muestra se humedezca y dejarla reposar sin manipulación de la probeta durante 10 ± 1 minuto.

Procedimiento de agitación

4.4.3.5 Tapar la probeta y agitarla suavemente para remover el material del fondo.

4.4.3.6 Iniciar el proceso de agitación por alguno de los siguientes métodos:

Método mecánico

4.4.3.6.1 Colocar la probeta tapada en el agitador mecánico.

4.4.3.6.2 Programar el tiempo y permitir que el mecanismo agite la probeta con su contenido durante 45 ± 1 segundo.

Método manual

4.4.3.6.3 Tomar la probeta en posición horizontal y agitar vigorosamente con movimientos horizontales de forma lineal de extremo a extremo.

4.4.3.6.4 Agitar la probeta **90 ciclos** en aproximadamente **30 segundos**, aplicando un desplazamiento de **23 ± 3 cm**.

Nota 4.2. Un ciclo, es definido como un movimiento completo de ida y vuelta, donde el operador deberá solo mover los antebrazos durante el proceso de agitación.

Procedimiento de irrigación

4.4.3.7 Colocar la probeta sobre la mesa de trabajo y remover el tapón.

4.4.3.8 Mantener la probeta vertical y la base en contacto con la mesa de trabajo.

4.4.3.9 Insertar el tubo irrigador en la parte superior de la probeta, remover con la pinza de la manguera para permitir el paso de la solución. Lavar el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador desciende.

4.4.3.10 Introducir el tubo irrigador dentro del material hasta la parte inferior de la probeta y aplicar suaves punzadas al mismo tiempo que se hace girar el tubo irrigador para remover el material del fondo. Lo anterior, mientras fluye la solución, así entrará en suspensión el material arcilloso (pasa malla No. 200) sobre las partículas gruesas de arena.

4.4.3.11 Continuar lavando hasta que la probeta se llene a **15 pulg (38 cm)** de la graduación.

4.4.3.12 Extraer el tubo irrigador lentamente sin cortar el flujo y ajustar el nivel final a las **15 pulg (38 cm)** de graduación.

4.4.3.13 Registrar el tiempo inmediatamente después de extraer el tubo irrigador.

Lectura de arcilla

4.4.3.14 Permitir que la probeta permanezca en reposo por **20 minutos ± 15 segundos**.

4.4.3.15 Registrar la lectura de arcilla como el nivel superior de la suspensión de arcilla (**B**).

Nota 4.3 Si no se observa una lectura clara de arcilla después de los 20 min de sedimentación, permitir que la muestra permanezca sin movimiento hasta que se observe la lectura de arcilla. Registrar inmediatamente la lectura y el tiempo total de sedimentación. Si el tiempo total de sedimentación excede los 30 min, repetir el ensayo evaluando tres muestras del mismo material. Registrar la lectura de arcilla para la muestra que haya requerido el menor tiempo de sedimentación.

Lectura de arena

4.4.3.16 Colocar el pisón sobre la probeta y bajar suavemente hasta que llegue a descansar sobre la arena.

4.4.3.17 Dirigir el extremo del pisón hacia las graduaciones de la probeta hasta que el pisón toque la pared interna de la probeta. Restar **10 pulg (25.4 cm)** al nivel indicado por la base del pisón. Registrar este valor como lectura de la arena (**A**).

Nota 4.4. Se deberá tener cuidado de no presionar el pisón hacia abajo.

4.4.3.18 Si las lecturas de arcilla o arena se encuentran entre las marcas de graduación de **0.1 pulg (2.5 mm)**, registrar el nivel de graduación más alto.

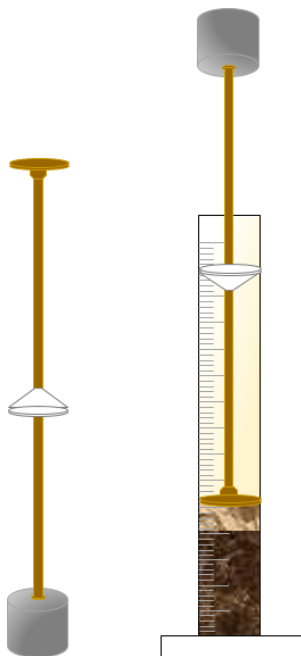


Figura 4.5 Lectura de arena

4.5 Cálculos

4.5.1 Cálculo del equivalente de arena

$$SE = \frac{A}{B} * 100$$

Donde:

SE [%] = Equivalente de arena. Reportar este valor como un número entero, redondeado al siguiente valor superior.

A [pulg] = Lectura de arena, con aproximación de 0.1 pulg (1 decimal).

B [pulg] = Lectura de arcilla, con aproximación de 0.1 pulg (1 decimal).

Para obtener el valor de equivalente de arena de más de 1 ensayo (probeta) para el mismo material, se deberá obtener el resultado como el promedio del equivalente de arena redondeado al siguiente valor superior de cada medición.

4.6 Registro de resultados

Tabla 4.1 Registro de resultados de equivalente de arena

Equivalente de arena <i>ASTM D2419</i>	Identificación de la muestra:		
	Fecha de ensayo:		
	Método de muestreo utilizado:		
Resultados		Réplica #1	Réplica #2
1er ciclo de reposo	Hora inicial (hh:mm)		
	Hora final (hh:mm)		
2do ciclo de reposo	Hora inicial (hh:mm)		
	Hora final (hh:mm)		
Lectura	Arcilla [pulg]		
	Arena [pulg]		
(SE) Equivalente de arena [%]			
(SE) Equivalente de arena promedio [%]			

4.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

Tabla 4.2 Criterio r&R para el ensayo de equivalente de arena

Parámetro	1 Operador		Multilaboratorio	
	1S	D2S	1S	D2S
Equivalente de arena [%], para EA > 80 %	1.5	4.2	4.4	12.5
Equivalente de arena [%], para EA < 80 %	2.9	8.2	8.0	22.6

Ver Anexo A.3.

5 AG-V. Método de prueba para determinar el valor de azul de metileno de una arcilla

5.1 Objetivo

Este método determina la absorción de azul de metileno por una arcilla, la cual se calcula como el valor de azul de metileno (MBV). El índice de azul de metileno determina el grado de reactividad del material filler (pasa No. 200) que es utilizado en la fabricación de mezclas asfálticas, el cual puede tener una influencia nociva en su desempeño.

5.2 Equipo y herramientas

- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una resolución mínima de 0.01 g (ver Anexo A.4).
- **Agitador magnético** con distintos niveles en velocidad de agitación.
- **Barra magnética** agitadora de tamaño suficiente para generar un buen mezclado.

Nota 5.1. Se recomienda una barra magnética de 1 pulg de largo.

- **Vaso de precipitado** de vidrio de 100 mL.
- **Vaso de precipitado** de vidrio de 1000 mL.
- **Bureta** de 50 mL de capacidad con graduación de 0.1 mL.
- **Soporte universal** con pinza.
- **Varilla** de vidrio de punta redonda con 8 mm de diámetro por 150 a 250 mm de longitud.
- **Cronómetro** adecuado para leer lo segundos.
- **Horno** capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- **Tamiz** con aberturas de 0.075 mm [No. 200] conforme a las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11).
- **Papel filtro** Whatman No. 40

- **Reactivos.** agua destilada, azul de metileno grado reactivo ($C_{16}H_{18}N_3S \cdot 3H_2O$).

5.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.01 g o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 4 puntos (1.0, 2.0, 5.0, 10.0 g) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamiz 0.075 mm [No. 200].** Calibrar o verificar visualmente, de acuerdo con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C o mayor, considerando el rango de trabajo (110°C) y, al menos, una vez cada 12 meses.

5.4 Método de prueba

5.4.1 Preparación del equipo

5.4.1.1 Preparar la solución de azul de metileno.

- 5.4.1.1.1 Colocar **1 ± 0.01 g** de azul de metileno en el vaso de precipitado de **1000 mL**.
- 5.4.1.1.2 Agregar **1000 mL** de agua destilada en el vaso de precipitado.
- 5.4.1.1.3 Mezclar durante **20 min** mínimo haciendo uso del agitador y la barra magnética.
- 5.4.1.1.4 Almacenar en una botella color ámbar recubierta con papel aluminio, en un lugar que impida el paso de la luz a la solución y a una temperatura de **20 ± 5 °C**.
- 5.4.1.1.5 La solución deberá utilizarse dentro de los primeros 6 meses después de su fabricación.

Nota 5.2 Se recomienda el uso de una etiqueta en la botella con la fecha de fabricación.

5.4.1.2 Llenar la bureta con la solución de azul de metileno y aforarla. Revisar que no exista aire en la salida de la bureta.

5.4.1.3 Fijar la bureta en posición vertical haciendo uso del soporte universal.

5.4.1.4 Ajustar la bureta a la altura requerida sobre el vaso de precipitado de **100 mL**, mientras éste se encuentra sobre el agitador magnético.

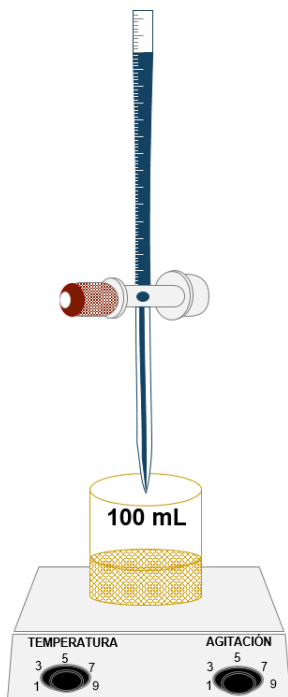


Figura 5.1 Bureta sobre vaso de precipitado y agitador

5.4.2 Preparación de la muestra

5.4.2.1 Obtener material que pasa la malla de **0.075 mm [No. 200]** y secar a una temperatura de **110 ± 5 °C** hasta masa constante.

5.4.2.2 Colocar **1.0 ± 0.05 g** de la muestra seca en un vaso de precipitado 100 ml. Si la arcilla no puede ser ensayada inmediatamente después del secado, se debe almacenar en un recipiente hermético para evitar ganancia de humedad.

5.4.2.3 Añadir **30 ± 0.1 g** de agua destilada en el vaso de precipitado. Posteriormente agregar la barra magnética.

5.4.2.4 Colocar sobre el agitador magnético e iniciar la agitación hasta que la arcilla se disperse uniformemente (aproximadamente **5 minutos**).

Nota 5.2. La velocidad deberá ser tal que se genere un buen mezclado, pero evitando salpicaduras de muestra. Una referencia de un correcto mezclado es la observación de un vórtice en la solución.

5.4.3 Ejecución de la prueba

5.4.3.1 Con la suspensión aún en agitación, añadir **1.0 ml** de la solución de azul de metileno a la suspensión y agitar durante **1 min**.

5.4.3.2 Sin detener la agitación, retirar una gota de la suspensión con la punta de la varilla de vidrio y colocar en el papel de filtro.

5.4.3.3 Observar el aspecto de la gota sobre el papel de filtro. Si la formación de un halo color azul claro alrededor de la gota no se observa, continuar agregando la solución de azul de metileno a la suspensión en incrementos de **1.0 ml** con **1 min** de agitación, y retirando una gota de la suspensión por cada incremento.

5.4.3.4 La prueba terminará cuando se observe el halo azul alrededor de la gota.

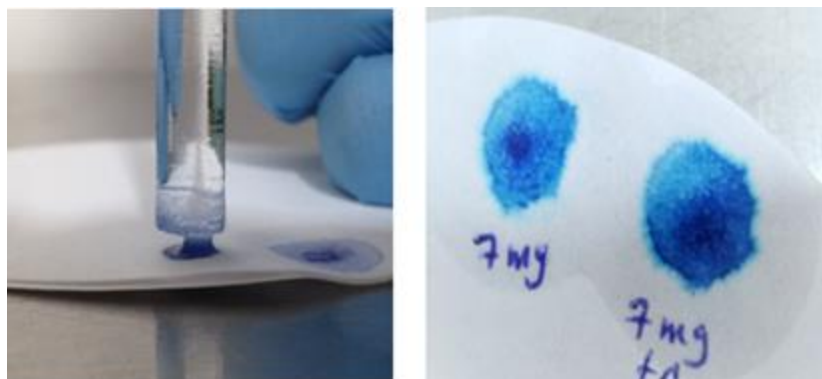


Figura 5.2 Representación del halo azul

5.4.3.5 Después de alcanzar el punto final, continuar la agitación durante 5 minutos adicionales y volver a tomar una muestra para comprobar el fin del ensayo.

5.4.3.6 Si el halo color azul claro desaparece después de la comprobación, repetir el proceso desde el punto **5.4.3.3**.

5.5 Cálculos

5.5.1 Cálculo del valor de azul de metileno

El valor de azul de metileno (MBV) es equivalente a la cantidad de mililitros de solución de azul de metileno utilizados hasta su saturación (aparición del halo), y se reporta en miligramos de azul de metileno por gramo del material evaluado.

$$MBV = \frac{C_{sol}}{C_{filler}}$$

Donde:

MBV [mg/g] = Valor de azul de metileno, con aproximación de 0.1 mg/g.

Nota 5.3: El valor de azul de metileno se reporta en mg/g debido a que la solución se prepara con 1 g de azul de metileno por 1000 ml de agua, lo que equivale a 1 mg de azul de metileno por cada ml de agua. Por lo anterior, cada ml de solución contiene 1 mg de azul de metileno.

C_{sol} [mg] = Cantidad de azul de metileno necesario para alcanzar el punto final del ensayo.

C_{filler} [g] = Cantidad de material contenido en la suspensión.

5.6 Registro de resultados

Tabla 5.1 Registro de resultados azul de metileno

Azul de Metileno <i>ISSA TB 145</i>	Identificación de la muestra:		
	Fecha de ensayo:		
	Fecha de elaboración de solución:		
	Masa de filler [g]:		
Resultados		Réplica #1	Réplica #2
(MBV) Valor de azul de metileno [mg/g]			
(MBV) Valor de azul de metileno promedio [mg/g]			

5.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

No se cuenta con datos para realizar una declaración sobre estos criterios.

6 AG-VI. Método de prueba para determinar el contenido de vacíos no compactados del agregado fino

6.1 Objetivo

Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de vacíos no compactados en una muestra de agregado fino. El contenido de vacíos provee un indicio de la angularidad, esfericidad y textura del agregado fino, comparado con otros a los mismos tamaños.

6.2 Equipo y herramientas

- **Medidor cilíndrico** de cobre, de aproximadamente 100 ml de capacidad con un diámetro interior de aproximadamente 39 mm y una altura interior de aproximadamente 86 mm. La base deberá ser de metal de al menos 6 mm de espesor, y estar firmemente sellada al tubo, además de estar provista de medios para alinear el eje del cilindro con el del embudo (Figura 6.1).
- **Embudo** con la superficie lateral del tronco inclinado a $60 \pm 4^\circ$ desde la horizontal y con una abertura de 12.7 ± 0.6 mm de diámetro. La sección del embudo debe ser una pieza de metal, lisa en el interior y de al menos 38 mm de altura. Deberá tener un volumen de por lo menos 200 mL o deberá estar provisto de un recipiente suplementario de vidrio o metal para proporcionar el volumen requerido (Figura 6.2).
- **Soporte de embudo** con tres o cuatro patas capaz de mantener el embudo firmemente en posición con el eje del medidor cilíndrico (dentro de un ángulo de 4° y un desplazamiento de 2 mm). La altura del embudo será de 115 ± 2 mm por encima de la parte superior del cilindro. En la Figura 6.2 se muestra una disposición adecuada.
- **Tamices** con aberturas conforme a las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11), de acuerdo a los siguientes tamaños: 4.75 mm [No. 4], 2.36 mm [No. 8], 1.18 mm [No. 16], 600 μm [No. 30], 300 μm [No. 50], 150 μm [No. 100].
- **Placa de vidrio** cuadrada de aproximadamente 60 x 60 mm y con un espesor mínimo de 4 mm para calibrar el medidor cilíndrico.

- **Bandeja** de metal o plástico de tamaño suficiente para contener el soporte del embudo y para evitar la pérdida de material.

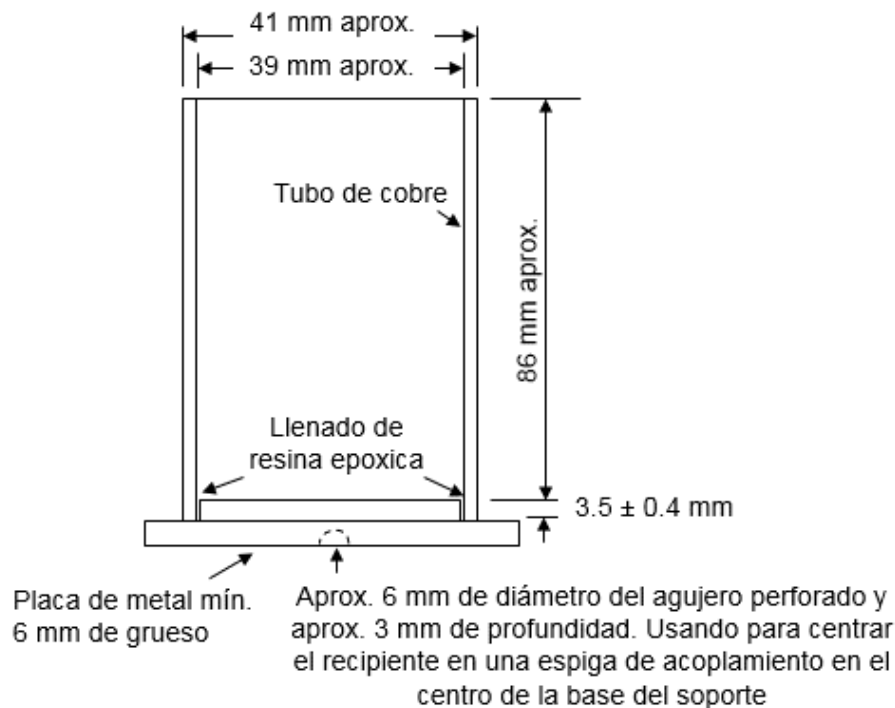


Figura 6.1 Medidor cilíndrico

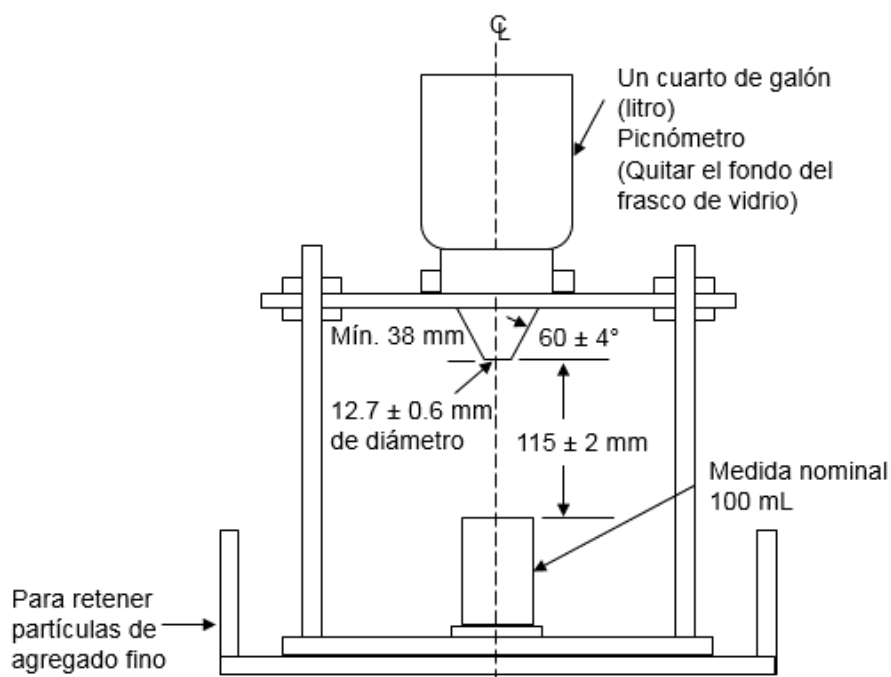


Figura 6.2 Dispositivo de medición del contenido de vacíos

- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una resolución mínima de 0.1 g (ver Anexo A.4).
- **Termómetro** con un rango de medición suficiente para evaluar de 18 a 24 °C y con una resolución mínima de 0.5 °C.

Nota 6.1. Se recomienda el termómetro de inmersión ASTM 36C (rango: -2 a +68 °C, resolución: 0.2 °C).

- **Espátula de metal** con una hoja de aproximadamente 100 mm de largo, y al menos 20 mm de ancho, con bordes rectos. El borde recto de la cuchilla de espátula se utilizará para enrasar el agregado fino.
- **Nivel** para verificar que el aparato se encuentre nivelado previo al inicio del ensayo.

6.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 5 puntos (17, 44, 57, 72, 190 g) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamices.** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Termómetro.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 °C o mayor en, al menos, 4 puntos considerando el rango de trabajo (18, 20, 22, 24 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C o mayor considerando el rango de trabajo (110°C) y, al menos, una vez cada 12 meses.

6.4 Método de prueba

6.4.1 Preparación del equipo

- 6.4.1.1 Colocar el dispositivo de medición dentro de una charola y verificar que se encuentre nivelado.

6.4.2 Preparación de la muestra

- 6.4.2.1 Obtener la muestra de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75) y reducir a la cantidad necesaria de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica*

estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba (AG-I).

- 6.4.2.2 Lavar y secar la muestra en el horno a masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 6.4.2.3 Separar la muestra en fracciones de tamaño individual de acuerdo con los puntos 6.4.2.4, 6.4.2.5, o 6.4.2.6.

Método A

- 6.4.2.4 Preparar la muestra seca al horno de 190 ± 0.2 g, que deberá ser separada y recombinada como sigue:

Tabla 6.1 Muestra de ensayo, método A

Tamaño de la fracción individual	Masa [g]
2.36 mm [No. 8] a 1.18 mm [No. 16]	44 ± 0.2
1.18 mm [No. 16] a 600 μm [No. 30]	57 ± 0.2
600 μm [No. 30] a 300 μm [No. 50]	72 ± 0.2
300 μm [No. 50] a 150 μm [No. 100]	17 ± 0.2
Total	190 ± 0.2

Método B

- 6.4.2.5 Preparar la muestra seca al horno de 190 ± 0.2 g, que deberá ser separada para cada una de las fracciones como sigue:

Tabla 6.2 Muestra de ensayo, método B

Tamaño de la fracción individual	Masa [g]
2.36 mm [No. 8] a 1.18 mm [No. 16]	190 ± 1
1.18 mm [No. 16] a 600 μm [No. 30]	190 ± 1
600 μm [No. 30] a 300 μm [No. 50]	190 ± 1

Método C

- 6.4.2.6 Preparar la muestra seca al horno de 190 ± 1.0 g del material que pasa el tamiz 4.75 mm [No.4].

6.4.3 Calibración del medidor cilíndrico

- 6.4.3.1 Aplicar una ligera capa de grasa al borde superior del medidor cilíndrico limpio y seco.
- 6.4.3.2 Registrar la masa del cilindro con la grasa y la placa de vidrio.

Nota 6.2. Se recomienda colocar la placa de vidrio sobre la balanza directamente y no sobre el cilindro para evitar remover la grasa.

- 6.4.3.3 Llenar el cilindro con agua destilada a una temperatura de **18 a 24 °C**. Registrar la temperatura del agua.
- 6.4.3.4 Colocar la placa de vidrio sobre el cilindro, asegurándose que no queden burbujas de aire.
- 6.4.3.5 Secar perfectamente las superficies exteriores del cilindro y registrar la masa del cilindro con la placa de vidrio, grasa y agua.
- 6.4.3.6 Calcular el volumen de la medida:

$$V = \frac{1000 M}{D}$$

Donde:

V [mL] = Volumen del medidor cilíndrico, con aproximación de 0.1 mL (1 decimal).

M [g] = Masa de agua neta, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

D [kg/m³] = Densidad del agua a la temperatura de prueba con aproximación de 0.1 kg/m³.

Tabla 6.3 Densidad del agua a distintas temperaturas [Ref.2]

Temperatura [°C]	Densidad del agua [kg/m ³]
18	998.6
19	998.4
20	998.2
21	998.0
22	997.8
23	997.5
24	997.3

6.4.4 Ejecución de la prueba

- 6.4.4.1 Lavar y secar el medidor cilíndrico.
- 6.4.4.2 Registrar la masa del medidor cilíndrico limpio (**H**).
- 6.4.4.3 Centrar el medidor cilíndrico en el aparato como se muestra en la Figura 6.2.
- 6.4.4.4 Bloquear la abertura del embudo y verter la muestra total. Nivelar el material en el embudo con la espátula y liberar la abertura para permitir que la muestra caiga libremente dentro del medidor cilíndrico.
- 6.4.4.5 Enrasar el agregado en exceso del medidor cilíndrico en un solo movimiento, haciendo uso de la espátula. Se deberá tener cuidado de no

mover el cilindro previo a su enrasado y no generar movimientos en la mesa que puedan generar una compactación del material.

Nota 6.3. Una vez enrasada la muestra, se permite dar unos ligeros golpes al medidor cilíndrico, con el objetivo de compactar la muestra y no perder material durante su traslado a la balanza.

- 6.4.4.6 Cepillar el agregado fino remanente en el exterior del medidor cilíndrico y registrar la masa del cilindro + muestra (**I**).
- 6.4.4.7 Registrar la masa de la muestra del agregado fino (**F = I - H**).
- 6.4.4.8 Recuperar toda la muestra de agregado fino en un recipiente, homogeneizarla nuevamente, y repetir el procedimiento (puntos **6.4.4.3** a **6.4.4.7**) para obtener una segunda medición.

6.5 Cálculos

6.5.1 Cálculo del contenido de vacíos no compactados en el material (**U**) por medición

$$U = \frac{V - (F/G)}{V} * 100$$

Donde:

U [%] = Vacíos no compactados en el material, con aproximación de 0.1% (1 decimal).

V [mL] = Volumen del medidor cilíndrico, con aproximación de 0.1 mL (1 decimal).

F [g] = Masa del agregado fino, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

G = Gravedad específica del agregado fino, con aproximación de 0.1 (1 decimal).

Método A

6.5.2 Cálculo del contenido de vacíos no compactados del material (**U_s**), como el promedio de las dos mediciones

$$U_s = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

U_s [%] = Vacíos no compactados en el material, con aproximación de 0.1%.

U₁ [%] = Medición #1 de los vacíos no compactados.

U₂ [%] = Medición #2 de los vacíos no compactados.

Método B

6.5.3 Cálculo del contenido de vacíos no compactados por fracción (U_x), como el promedio de las dos mediciones de cada fracción

$$U_x = \frac{U_{x1} + U_{x2}}{2}$$

U_x [%] = Vacíos no compactados de la fracción x, con aproximación de 0.1%.

U_{x1} [%] = Medición #1 de los vacíos no compactados de la fracción x.

U_{x2} [%] = Medición #2 de los vacíos no compactados de la fracción x.

6.5.4 Cálculo del contenido de vacíos no compactados en el material (U_m), como el promedio de los vacíos de cada fracción

$$U_m = \frac{U_x + U_y + U_z}{3}$$

Donde:

U_m [%] = Vacíos no compactados en el material, con aproximación de 0.1%.

U_x [%] = Vacíos no compactados fracción x: 2.36 mm [No. 8] a 1.18 mm [No. 16].

U_y [%] = Vacíos no compactados fracción y: 1.18 mm [No. 16] a 600 mm [No. 30]

U_z [%] = Vacíos no compactados fracción z: 600 mm [No. 30] a 300 mm [No. 50]

Método C

6.5.5 Cálculo del contenido de vacíos no compactados en el material (U_R), como el promedio de las dos mediciones

$$U_R = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

U_R [%] = Vacíos no compactados en el material, con aproximación de 0.1%.

U_1 [%] = Medición #1 de los vacíos no compactados.

U_2 [%] = Medición #2 de los vacíos no compactados.

6.6 Registro de resultados

Tabla 6.4 Registro de resultados de angularidad del fino, Métodos A o C

Angularidad del fino ASTM D1252	Identificación de la muestra:				
	Fecha de ensayo:				
	Método utilizado:				
Resultados		Réplica #1		Réplica #2	
		1ra Medición	2da Medición	1ra Medición	2da Medición
Volumen del medidor cilíndrico	Masa del cilindro con grasa y placa [g]				
	Masa del cilindro con grasa, placa y agua [g]				
	Temperatura del agua (°C)				
	(M) Masa de agua neta [g]				
	(D) Densidad del agua [kg/m³]				
	(V) Volumen del medidor cilíndrico [mL]				
Porcentaje de vacíos no compactados	(H) Masa del medidor cilíndrico [g]				
	(I) Masa del medidor cilíndrico con muestra [g]				
	(F) Masa de la muestra (F=I-H) [g]				
	(G) Gravedad específica del agregado fino				
	(U) Contenido de vacíos no compactados por medición [%]				
(Us o UR) Contenido de vacíos no compactados [%]					
(Us o UR) Contenido de vacíos no compactados promedio [%]					

Tabla 6.5 Registro de resultados de angularidad del fino, Método B

Angularidad del fino <i>ASTM D1252</i>		Identificación de la muestra:											
		Fecha de ensayo:											
		Método utilizado:						B					
RESUTADOS		Réplica #1						Réplica #2					
Volumen del medidor cilíndrico	Masa del cilindro con grasa y placa [g]												
	Masa del cilindro con grasa, placa y agua [g]												
	Temperatura del agua (°C)												
	(M) Masa de agua neta [g]												
	(D) Densidad del agua [kg/m³]												
	(V) Volumen del medidor cilíndrico [mL]												
Porcentaje de vacíos no compactados	(H) Masa del medidor cilíndrico [g]												
	Tamaño de la fracción individual	No. 16		No. 30		No. 50		No. 16		No. 30		No. 50	
	(I) Masa del medidor cilíndrico con muestra [g]												
	(F) Masa de la muestra (F=I-H) [g]												
	(G) Gravedad específica del agregado fino												
	(U) Contenido de vacíos no compactados por medición [%]												
	(U) Contenido de vacíos no compactados por fracción [%]												
(U_m) Contenido de vacíos no compactados [%]													
(U_m) Contenido de vacíos no compactados promedio [%]													

6.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

Tabla 6.6 Criterios de r&R para la angularidad del fino

Parámetro	1 Operador		Multilaboratorio	
	1S	D2S	1S	D2S
Contenido de vacíos no compactados	0.33	0.94	1.1	3.1

Ver Anexo A.3.

7 AG-VII. Método de prueba para determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso

7.1 Objetivo

Determinar la gravedad específica y la absorción de los agregados gruesos. La gravedad específica (adimensional), se puede expresar como gravedad específica bruta (G_{sb}) y gravedad específica aparente (G_{sa}). La gravedad específica de agregado es la relación de la masa del agregado respecto a la masa de un volumen de agua igual al volumen del agregado.

7.2 Equipo y herramientas

- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una resolución mínima de 0.1 g. Deberá estar equipada con un dispositivo apropiado para suspender el contenedor (canastilla) y la muestra en el agua. Utilizar un alambre o hilo de pescar del diámetro más pequeño posible, para evitar lecturas erróneas por el desplazamiento indebido de agua (ver Anexo A.4).
- **Baño de agua** capaz de mantener una temperatura de 23 ± 2 °C para sumergir la muestra. El contenedor deberá estar equipado con orificios de salida de agua para mantener el mismo tirante en el tanque con y sin muestra.

Nota 7.1. Si el baño de agua no está equipado con orificios de salida, el alambre o hilo deberá ser lo suficientemente largo a fin de que la canastilla se encuentre completamente sumergida y el desplazamiento de agua por inclusión del espécimen no afecte en la medición.

- **Termómetro** con un rango de medición suficiente para evaluar 23 ± 2 °C y con una graduación mínima de 0.5 °C.

Nota 7.2. Se recomienda el termómetro de inmersión ASTM 36C (rango: -2 a +68 °C, resolución: 0.2 °C).

- **Tamiz** con aberturas de 4.75 mm [No. 4] que deberá cumplir con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11).
- **Canastilla** de malla de alambre con aberturas del No. 6 o menores para evitar la pérdida de material, y con tamaño adecuado para albergar o

sostener las muestras de distintos tamaños (altura y ancho aproximadamente igual con capacidad de 4 a 7 L).

- **Horno** capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

7.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la verificación sea en, al menos, 5 puntos (2000, 3000, 4000, 5000, 6000 g) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Termómetro.** Calibrar con una resolución de 0.1 °C o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 5 puntos considerando el rango de trabajo (21, 22, 23, 24, 25 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamiz 4.75 mm [No. 4].** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C o mayor en, al menos, un punto considerando el rango de trabajo (110 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

7.4 Método de prueba

7.4.1 Preparación del equipo

- 7.4.1.1 Acondicionar el baño a la temperatura de prueba de 23 ± 2 °C, previo a comenzar el punto 7.4.3.2.
- 7.4.1.2 Fijar la canastilla de tal manera que se suspenda de la balanza y se sumerja completamente en el agua.

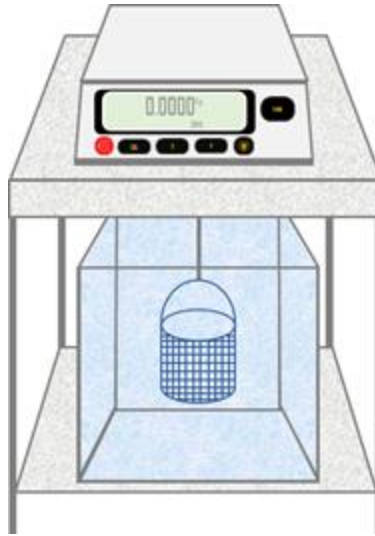


Figura 7.1 Baño de agua equipado

7.4.2 Preparación de la muestra

- 7.4.2.1 Muestrear el agregado de acuerdo con las especificaciones de la Práctica estándar para el muestreo de los agregados (ASTM D75). Reducir a la cantidad necesaria de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de la prueba* (AG-I).
- 7.4.2.2 Desechar el material que pasa la malla de **4.75 mm [No. 4]** mediante un proceso de tamizado en seco.
- 7.4.2.3 Verificar que la masa de la muestra sea superior a la indicada en la Tabla 7.1, de acuerdo con el tamaño nominal del agregado.

Tabla 7.1 Masa de la muestra

Tamaño nominal, mm [pulg]	Masa mínima de la muestra, g
12.5 [$\frac{1}{2}$]	2 000
19.0 [$\frac{3}{4}$]	3 000
25.0 [1]	4 000
37.5 [1 $\frac{1}{2}$]	5 000

- 7.4.2.4 Lavar la muestra para eliminar el polvo adherido al agregado grueso.
- 7.4.2.5 Secar la muestra en un horno a masa constante a una temperatura de **110 $\pm$ 5 °C**. Una vez seca la muestra, dejar enfriar a temperatura ambiente de **1 a 3 horas**, hasta alcanzar una temperatura cómoda para manejar el agregado.

- 7.4.2.6. Verificar que la masa de la muestra después de lavado y secado siga cumpliendo con la masa mínima especificada en la Tabla 7.1.

7.4.3 Ejecución de la prueba

- 7.4.3.1 Sumergir la muestra de agregado en agua a temperatura ambiente por un periodo de **24 ± 4 horas**.
- 7.4.3.2 Retirar la muestra del agua y secar hasta la condición saturada superficialmente seca (SSS). Para lograr la condición SSS, envolver la muestra en una franela grande, girándola, hasta que toda la película de agua exterior sea removida y secar las partículas grandes individualmente. Cabe señalar que hay que tener cuidado de evitar la evaporación del agua de los poros del agregado durante el proceso de secado superficial.

Nota 7.3. Se recomienda utilizar una franela absorbente húmeda de tamaño suficiente para secar toda la muestra sin fraccionarla, retirando únicamente el exceso de agua alrededor de las partículas, y no absorber agua de su interior. El proceso de secado deberá realizarse rápidamente para evitar que las partículas pierdan humedad de su interior.



Figura 7.2 Condición saturada superficialmente seca

- 7.4.3.3 Colocar el agregado sobre la balanza y registrar la masa de la muestra en condición saturada superficialmente seca (**B**).
- 7.4.3.4 Colocar la muestra en la canastilla y sumergir en el baño de agua a una temperatura de **23 ± 2 °C**. Agitar la canastilla para eliminar posibles burbujas de aire atrapadas. Registrar la masa aparente del agregado saturado en agua (sumergido) (**C**).

Nota 7.4. La diferencia entre la masa saturada superficialmente seca y la masa sumergida es igual a la masa del agua desplazada por la muestra.

- 7.4.3.5 Secar la muestra en un horno a masa constante a una temperatura de **110 ± 5 °C**. Una vez seca la muestra, dejar enfriar a temperatura ambiente de **1 a 3 horas**, hasta alcanzar una temperatura que sea

manejable (aproximadamente 50 °C). Registrar la masa del agregado seco (A).

7.5 Cálculos

7.5.1 Cálculo de la gravedad específica bruta del agregado

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

G_{sb} [adimensional] = Gravedad específica bruta. Reportar este valor con aproximación de 0.001 (3 decimales).

A [g] = Masa de la muestra seca al horno, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

B [g] = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

C [g] = Masa de la muestra sumergida en agua, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

7.5.2 Cálculo de la de la gravedad específica aparente del agregado

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

Donde:

G_{sa} [adimensional] = Gravedad específica aparente. Reportar este valor con aproximación de 0.001 (3 decimales).

7.5.3 Cálculo del porcentaje de agua absorbida por la muestra

$$\text{Absorción [\%]} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Reportar con aproximación de 0.1% (1 decimal).

7.6 Registro de resultados

Tabla 7.2 Registro de resultados de gravedad específica bruta del agregado grueso

Gravedad específica bruta <i>ASTM C127</i>	Identificación de la muestra:		
	Fecha de ensayo:		
	Temperatura del agua durante la inmersión:		
Resultados		Réplica #1	Réplica #2
(A) Masa de la muestra seca al horno [g]			
(B) Masa de la muestra saturada y superficialmente seca			
(C) Masa de la muestra sumergida en agua [g]			
(G _{sb}) Gravedad específica bruta			
(G _{sa}) Gravedad específica aparente			
Absorción del agregado [%]			
Gravedad específica bruta (G_{sb}) promedio			
Gravedad específica aparente (G_{sa}) promedio			
Absorción del agregado promedio [%]			

7.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad de los resultados

Tabla 7.3 Criterio r&R para el ensayo de gravedad específica bruta del agregado grueso

Parámetro	1 Operador		Multilaboratorio	
	1S	D2S	1S	D2S
G _{sb}	0.009	0.025	0.013	0.038
G _{sa}	0.007	0.020	0.011	0.032

Ver Anexo A.3.

8 AG-VIII. Método de prueba para determinar la resistencia a la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles

8.1 Objetivo

Este método de prueba cubre un procedimiento para ensayar partículas de agregado gruesos con un tamaño máximo menor a 37.5 mm [$1\frac{1}{2}$ "], para evaluar su resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles. Se utiliza como un indicador de la tenacidad del material para resistir el impacto de las cargas durante la fabricación, tendido y compactación de la mezcla.

8.2 Equipo y herramientas

- **Máquina de Los Ángeles** diseñada de acuerdo con las características esenciales mostradas en la Figura 8.1. La máquina consiste en un cilindro hueco de acero con un espesor en las paredes de al menos 12 mm, un diámetro interior de 711 ± 5 mm, y una longitud interior de 508 ± 5 mm.

El cilindro deberá estar montado en ejes cortos de tal manera que le permita girar sobre el eje en una posición horizontal dentro de una tolerancia de 1 en 100 sobre la pendiente. Deberá contar con una tapa hermética para contener el polvo y con tornillos para asegurar la tapa. La tapa debe estar diseñada de tal manera que se mantenga el contorno cilíndrico de la superficie interior.

Una placa radial de acero removible de 89 ± 2 mm de ancho que se extiende a todo lo largo en el interior del cilindro. La placa radial debe ser de espesor adecuado y montada por tornillos con tuercas u otros medios, para que permanezca firme y rígida. La posición de la placa radial debe ser tal que la muestra y las esferas de acero no deben impactar en la tapa, y que la distancia de la placa a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro en la dirección de rotación, no debe ser menor de 1,270 mm. y finalmente, inspeccionar la placa radial periódicamente para determinar si no se ha doblado.

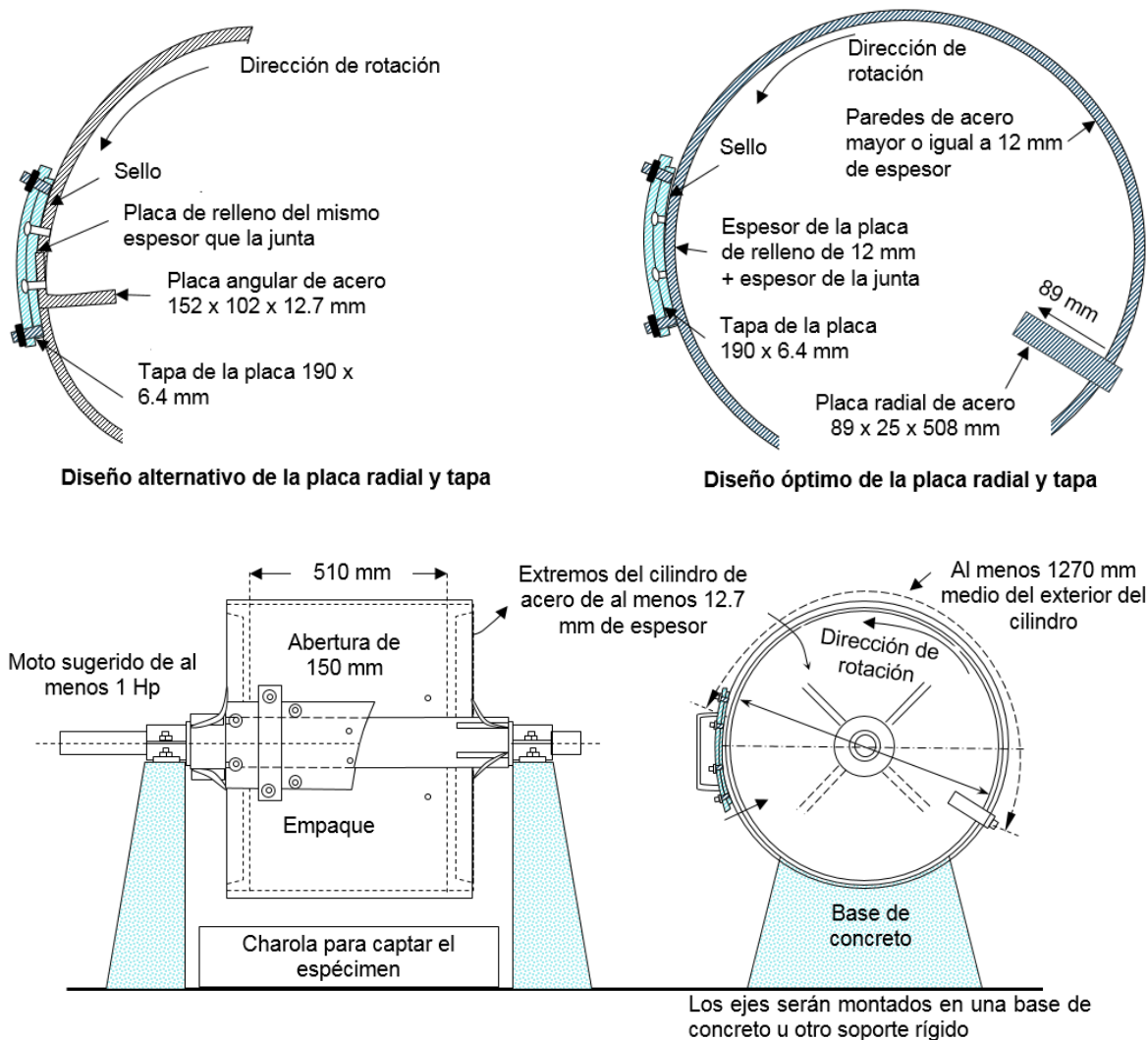


Figura 8.1 Máquina de Los Ángeles

- **Tamices** con aberturas conforme a las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11), de acuerdo a los siguientes tamaños: 37.5 mm [1 1/2"], 25.0 mm [1"], 19.0 mm [3/4"], 12.5 mm [1/2"], 9.5 mm [3/8"], 6.3 mm [1/4"], 4.75 mm [No. 4], 2.36 mm [No. 8], 1.7 mm [No. 12].
- **Carga abrasiva** que consiste en esferas de acero con un diámetro de 46 a 48 mm y cada una con una masa de 390 a 445 g. La masa de la carga abrasiva dependerá de la granulometría elegida a ensayar de acuerdo con la Tabla 8.2. La carga puede consistir en una mezcla de diferentes tamaños de acuerdo con las tolerancias de masas indicadas en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1 Masa de la carga abrasiva

Granulometría	Numero de esferas	Masa de la carga abrasiva [g]
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una resolución mínima de 0.1 % respecto a la masa de ensayo (ver Anexo A.4).

Nota 8.1. Considerando la masa mínima de la muestra de 1250 g, la resolución mínima de la balanza se recomienda de 1 g.

- **Horno** capaz de mantener una temperatura de hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

8.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Máquina de Los Ángeles.** Verificar la velocidad de giro (rpm) haciendo uso de un cronómetro calibrado. Se recomienda se realice al menos una vez cada 12 meses.
- **Carga abrasiva.** Calibrar o verificar la masa de cada esfera con una resolución de 0.1 g o mayor, así como el diámetro con una resolución de 0.1 mm o mayor. Se recomienda se realice al menos una vez cada 12 meses.
- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 5 puntos (1250, 2500, 5000, 3330, 4584 g) considerando el rango de trabajo de la misma y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamices.** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1°C o mayor en, al menos, un punto considerando el rango de trabajo (110°C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

8.4 Método de prueba

8.4.1 Preparación del equipo

- 8.4.1.1 Encender y preparar la Máquina de Los Ángeles de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
- 8.4.1.2 Revisar que el tambor de la Máquina de Los Ángeles se encuentre limpio y no exista material más grueso que la malla de **1.7 mm [No. 12]** dentro del mismo, previo a la ejecución del ensayo.
- 8.4.1.3 Limpiar la charola o recipiente para recuperar material de manera que se encuentre completamente libre de material pétreo previo al ensayo.

8.4.2 Preparación de la muestra

- 8.4.2.1 Obtener la muestra de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75).
- 8.4.2.2 Lavar y secar la muestra al horno a una temperatura de **110 ± 5 °C** hasta masa constante.

Nota 8.2. Se recomienda lavar la muestra por la malla No. 8, o un tamaño de malla mayor de acuerdo con la granulometría que se desee evaluar.

- 8.4.2.3 Separar la muestra en fracciones individuales por tamaño, y recombinar de acuerdo con la granulometría elegida de la Tabla 8.2. Elegir la granulometría que más se acerque al rango de tamaños que se utilizarán en el proyecto y registrar la masa de la muestra inicial (C).

Nota 8.3. Se recomienda utilizar las granulometrías "A" y "B" para mezclas asfálticas estructurales; y las granulometrías "C" y "D" para tratamientos superficiales.

Tabla 8.2 Granulometría de la muestra de ensayo

Abertura de la malla		Masa de cada fracción [g]			
Pasa	Retenido	Granulometría			
		A	B	C	D
37.5 mm [1 1/2"]	25.0 mm [1"]	1 250 ± 25			
25.0 mm [1"]	19.0 mm [3/4"]	1 250 ± 25			
19.0 mm [3/4"]	12.5 mm [1/2"]	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
12.5 mm [1/2"]	9.5 mm [3/8"]	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
9.5 mm [3/8"]	6.3 mm [1/4"]			2 500 ± 10	
6.3 mm [1/4"]	4.75 mm [No. 4]			2 500 ± 10	
4.75 mm [No. 4]	2.36 mm [No. 8]				5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

8.4.3 Ejecución de la prueba

8.4.3.1 Colocar la muestra de ensayo y la carga abrasiva en la Máquina de Los Ángeles, y hacer girar el tambor a una velocidad de **30 a 33 rpm** durante **500 revoluciones**.

8.4.3.2 Retirar el material de la máquina, cuidando de no perder material durante la descarga.

Nota 8.4. Se recomienda retirar la carga abrasiva manualmente previo al retiro del material.

8.4.3.3 Separar la muestra sobre una malla más grande que la malla de **1.7 mm [No. 12]**.

8.4.3.4 Tamizar la porción más fina en la malla **No. 12** de acuerdo con las especificaciones del *Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos* (AG-II). Desechar el material que pasa la malla **No. 12**.

8.4.3.5 Lavar todo el material más grueso que la malla **No. 12** y secar en el horno a **110 ± 5 °C** hasta masa constante.

Nota 8.5. Se recomienda lavar el material utilizando una malla más fina que la malla No. 12 para evitar que el material correspondiente al retenido en la malla No. 12 pudiera pasar.

8.4.3.6 Registrar la masa de la muestra final (**Y**).

8.5 Cálculos

8.5.1 Cálculo del desgaste por abrasión en la Máquina de Los Ángeles

$$\text{Desgaste de Los Angeles } [\%] = \frac{C - Y}{C} * 100$$

Donde:

Desgaste de Los Ángeles [%] = Desgaste por abrasión en Máquina de Los Ángeles, con aproximación de 1 % (sin decimales).

C [g] = Masa de la muestra inicial, con aproximación de 1.0 g (sin decimales).

Y [g] = Masa de la muestra final, con una aproximación de 1.0 g (sin decimales).

8.6 Registro de resultados

Tabla 8.3 Registro de resultados de resistencia a la degradación en la Máquina de Los Ángeles

Resistencia a la degradación en la Máquina de Los Ángeles <i>ASTM C131</i>	Identificación de la muestra:		
	Fecha de ensayo:		
	Tipo de granulometría:		
Resultados		Réplica #1	Réplica #2
Masa de la carga abrasiva [g]			
(C) Masa inicial de la muestra [g]			
(Y) Masa final de la muestra [g]			
Desgaste de Los Ángeles [%]			
Desgaste de Los Ángeles promedio [%]			

8.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad de los resultados

Tabla 8.4 Criterio r&R para el ensayo de resistencia a la degradación en la Máquina de Los Ángeles

Parámetro	1 Operador		Multilaboratorio	
	1S% (CV)	D2S % (CV)	1S % (CV)	D2S % (CV)
Desgaste por abrasión en Máxima de Los Ángeles para tamaño nominal de 19.0 mm [³ / ₄] en un rango de pérdida de 10 – 45 %	2.0 %	5.7 %	4.5 %	12.7 %

Ver Anexo A.3.

9 AG-IX. Método de prueba para determinar la resistencia a la degradación del agregado pétreo grueso por abrasión en la Máquina Micro-Deval

9.1 Objetivo

Este método de prueba cubre un procedimiento para determinar la resistencia por abrasión y durabilidad del agregado pétreo en presencia de agua utilizando la máquina Micro-Deval. El ensayo es útil también para detectar cambios en las propiedades del agregado como parte de control o garantía de calidad del agregado.

9.2 Equipo y herramientas

- **Máquina de abrasión Micro-Deval** de molino giratorio capaz de efectuar 100 ± 5 rpm, como se muestra en la Figura 9.1.
- **Contenedor** de abrasión de acero inoxidable con capacidad de 5 litros, con tapa y anillo de hule capaz de sellar el recipiente y evitar la pérdida de agua; un diámetro externo de 194 a 202 mm, y una altura interna entre 170 a 177 mm. Las superficies interior y exterior del recipiente deben ser suaves y no deben tener rugosidad visible.
- **Carga abrasiva** de balines magnéticos de acero inoxidable. Estos deben tener un diámetro de 9.5 ± 0.5 mm. Cada recipiente requiere una carga de $5,000 \pm 5$ g de balines.
- **Tamices** con aberturas cuadradas conforme a las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11), de acuerdo con los siguientes tamaños: 19.0 mm [$3/4$ "], 16.0 mm [$5/8$ "], 12.5 mm [$1/2$ "], 9.5 mm [$3/8$ "], 6.3 mm [$1/4$ "], 4.75 mm [No. 4], y 1.18 mm [No. 16].
- **Termómetro** con un rango de medición suficiente para evaluar 20 ± 5 °C y con una resolución mínima de 0.5 °C.

Nota 9.1. Se recomienda el termómetro de inmersión ASTM 36C (rango: -2 a +68 °C, resolución: 0.2 °C).

- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una resolución mínima de 1.0 g (ver Anexo A.4).

- **Horno** capaz de mantener una temperatura de hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

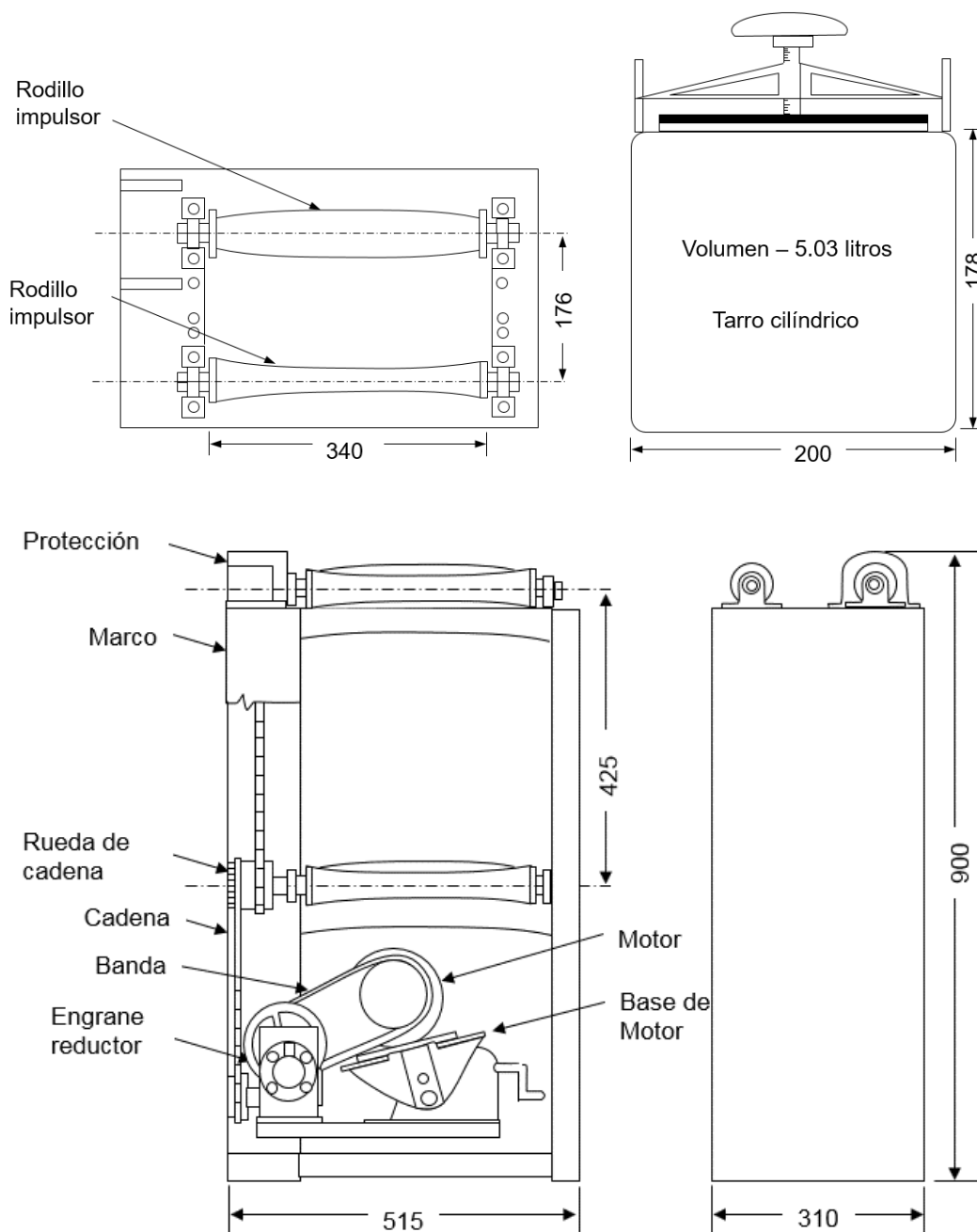


Figura 9.1 Máquina Micro-Deval

9.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Máquina de abrasión Micro-Deval.** Verificar la velocidad de giro (rpm) haciendo uso de un cronómetro calibrado. Se recomienda se realice al menos una vez cada 12 meses.

- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 4 puntos (375, 750, 1500, 5000 g) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Termómetro.** Calibrar con una resolución de 0.1 °C o mayor en, al menos, 5 puntos (15, 18, 21, 23, 25 °C) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamices.** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C en, al menos, un punto considerando el rango de trabajo (110 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

9.4 Método de prueba

9.4.1 Preparación del equipo

- 9.4.1.1 Encender y preparar la Máquina Micro-Deval de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

9.4.2 Preparación de la muestra

- 9.4.2.1 Obtener la muestra de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75).
- 9.4.2.2 Separar la muestra en fracciones de tamaño individual de acuerdo con alguno de los puntos 9.4.2.4, 9.4.2.5, o 9.4.2.6.

Nota 9.2. Se recomienda que las masas sean mayores a las especificadas debido a la pérdida de masa después de lavado y secado.

- 9.4.2.3 Lavar y secar las muestras en el horno a masa constante a una temperatura de **110 ± 5°C**.
- 9.4.2.4 La muestra deberá consistir en material que pasa el tamiz de **19 mm [¾"]** y se retiene en el tamiz de **9.5 mm [3/8"]**. Una muestra seca al horno de **1500 ± 5 g** deberá ser separada como sigue:

Tabla 9.1 Combinación de muestra a ensayar 19.0 a 12.5 mm

Pasa	Retiene	Masa
19.0 mm [$\frac{3}{4}$ "]	16.0 mm [$\frac{5}{8}$ "]	375 g
16.0 mm [$\frac{5}{8}$ "]	12.5 mm [$\frac{1}{2}$ "]	375 g
12.5 mm [$\frac{1}{2}$ "]	9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]	750 g
Total		1 500 $\pm$ 5 g

9.4.2.5 Si el tamaño nominal del agregado es de **12.5 mm [$\frac{1}{2}$ "]** o menor, la muestra de **1500 $\pm$ 5 g** deberá ser separada como sigue:

Tabla 9.2 Combinación de muestra a ensayar 12.5 a 6.3 mm

Pasa	Retiene	Masa
12.5 mm [$\frac{1}{2}$ "]	9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]	750 g
9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]	6.3 mm [$\frac{1}{4}$ "]	375 g
6.3 mm [$\frac{1}{4}$ "]	4.75 mm [No. 4]	375 g
Total		1 500 $\pm$ 5 g

9.4.2.6 Si el tamaño nominal del agregado es de **9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]** o menor, la muestra de **1500 $\pm$ 5 g** deberá ser separada como sigue:

Tabla 9.3 Combinación de muestra a ensayar 9.5 a 6.3 mm

Pasa	Retiene	Masa
9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]	6.3 mm [$\frac{1}{4}$ "]	750 g
6.3 mm [$\frac{1}{4}$ "]	4.75 mm [No. 4]	750 g
Total		1 500 $\pm$ 5 g

9.4.3 Ejecución de la prueba

- 9.4.3.1 Preparar la muestra de **1500 $\pm$ 5 g** y registrar la masa (A).
- 9.4.3.2 Sumergir la muestra en el contenedor con **2.0 $\pm$ 0.05 L** de agua a una temperatura de **20 $\pm$ 5°C** por un mínimo de **1 hora**.
- 9.4.3.3 Colocar **5 000 $\pm$ 5 g** de la carga abrasiva dentro del contenedor con la muestra y el agua. Tapar el contenedor.
- 9.4.3.4 Colocar los contenedores en la Máquina Micro-Deval a **100 $\pm$ 5 rpm** durante **2 h $\pm$ 1 min** para la combinación del punto 9.4.2.3; dejar un tiempo de **105 $\pm$ 1 min** para la combinación del punto 9.4.2.4; y dejar un tiempo de **95 $\pm$ 1 min** para la combinación del punto 9.4.2.5.
- 9.4.3.5 Si el equipo cuenta con un contador de revoluciones, permitir que el ensayo se ejecute durante **12 000 $\pm$ 100 revoluciones** para la combinación del punto 9.4.2.3; **10 500 $\pm$ 100 revoluciones** para la combinación del punto 9.4.2.4; y **9 500 $\pm$ 100 revoluciones** para la combinación del punto 9.4.2.5.

- 9.4.3.6 Verter cuidadosamente —sin perder material— la muestra y los balines de acero sobre el tamiz de **4.75 mm [No. 4]** superpuesta sobre el tamiz de **1.18 mm [No. 16]**. Tener cuidado en remover completamente la muestra del contenedor de acero.
- 9.4.3.7 Lavar y manipular el material retenido en la malla con agua utilizando una manguera y la mano hasta que el agua se observe clara y todo el material menor a **1.18 mm [No. 16]** pase el tamiz.
- 9.4.3.8 Remover los balines de acero haciendo uso de un imán u otro medio adecuado, cuidando no perder material retenido en los tamices en este proceso. Desechar el material menor a **1.18 mm [No. 16]**.
- 9.4.3.9 Combinar el material retenido en los tamices de **4.75 mm [No. 4]** y **1.18 mm [No. 16]**, teniendo cuidado de no perder material.
- 9.4.3.10 Secar la muestra a masa constante en el horno a una temperatura de **110 ± 5 °C**.
- 9.4.3.11 Registrar la masa final (**B**).

9.5 Cálculos

9.5.1 Cálculo del desgaste por abrasión en presencia de agua en la Máquina Micro-Deval

$$\text{Desgaste Micro-Deval [\%]} = \frac{A - B}{A} * 100$$

Donde:

Desgaste Micro-Deval [%] = Desgaste por abrasión en agua en la Máquina Micro-Deval, con aproximación de 0.1 % (1 decimal).

A [g] = Masa inicial de la muestra, con aproximación de 1.0 g (sin decimales).

B [g] = Masa final de la muestra, con aproximación de 1.0 g (sin decimales).

9.6 Registro de resultados

Tabla 9.4 Registro de resultados de resistencia a la degradación en la Máquina Micro-Deval

Resistencia a la degradación en la Máquina Micro-Deval ASTM D6928	Identificación de la muestra:		
	Fecha de ensayo:		
	Tamaño nominal del agregado:		
Resultados		Réplica #1	Réplica #2
Masa de la carga abrasiva [g]			
(A) Masa inicial de la muestra [g]			
(B) Masa final de la muestra [g]			
Desgaste Micro-Deval [%]			
Desgaste Micro-Deval promedio [%]			

9.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

Tabla 9.5 Criterio r&R para el ensayo de resistencia a la degradación en la Máquina Micro-Deval

Parámetro	1 Operador		Multilaboratorio	
	1S % (CV)	D2S % (CV)	1S % (CV)	D2S % (CV)
Desgaste por abrasión en presencia de agua en la máquina Micro-Deval, de 5 – 10 % para tamaño máximo de 19.0 mm	3.4	9.6	5.6	15.8

Ver Anexo A.3.

10 AG-X. Método de prueba para determinar la resistencia al intemperismo acelerado de los agregados

10.1 Objetivo

Determinar la degradación esperada por intemperismo en materiales pétreos por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

10.2 Equipo y herramientas

- **Contenedores** para sumergir las muestras de agregado en la solución. Deberán ser fabricados de malla de alambre o estar perforados de tal manera que permita libre acceso a la solución en la muestra y el escurrimiento de la solución sin la pérdida del agregado.
- **Densímetro** graduado capaz de medir la gravedad específica de la solución con una precisión de ± 0.001 .
- **Tamices** con aberturas cuadradas conforme a las especificaciones de la norma Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices (ASTM E11), de acuerdo a los siguientes tamaños: 37.5 mm [$1\frac{1}{2}$ "], 31.5 mm [$1\frac{1}{4}$ "], 25.0 mm [1"], 19.0 mm [$\frac{3}{4}$ "], 16.0 mm [$\frac{5}{8}$ "], 12.5 mm [$\frac{1}{2}$ "], 9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "], 8.0 mm [$\frac{5}{16}$ "], 4.75 mm [No. 4], 4.00 mm [No. 5], 2.36 [No. 8], 1.18 mm [No. 16], 600 μm [No. 30], y 300 μm [No. 50].
- **Regulador de temperatura** adecuado para controlar la temperatura de las muestras durante la inmersión en el sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una resolución mínima de 0.1 g (ver Anexo A.4).
- **Termómetro** con un rango de medición suficiente para medir de 25 a 30 °C y con una resolución mínima de 0.5 °C.

Nota 10.1. Se recomienda el termómetro de inmersión ASTM 36C (rango: -2 a +68 °C, resolución: 0.2 °C).

- **Horno** capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.

- **Reactivos** Sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) o cristalino ($\text{Na}_2\cdot\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$), sulfato de magnesio anhidro (MgSO_4) o cristalino ($\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$), cloruro de bario (BaCl_2), agua destilada o desionizada.

10.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 7 puntos (100, 300, 330, 500, 670, 1000, 1500 g) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Termómetro.** Calibrar con una resolución de 0.1 °C o mayor en, al menos, diez puntos considerando el rango de trabajo (20, 21, 22, 25, 27, 30, 37, 40, 46, 49 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamices.** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C o mayor en, al menos, un punto considerando el rango de trabajo (110 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

10.4 Método de prueba

Nota 10.2. El método ASTM C88 involucra la determinación del porcentaje de intemperismo por dos métodos: determinación por masa (examinación cuantitativa) y determinación por inspección de fallas (examinación cualitativa). En el procedimiento descrito en el presente manual, únicamente se hace referencia a la examinación cuantitativa. Si se desea realizar la examinación cualitativa, dirigirse a la norma de referencia.

10.4.1 Preparación del equipo

10.4.1.1 Preparar la solución de sulfato de magnesio o sulfato de sodio para realizar la saturación de la muestra.

Nota 10.3. El volumen de la solución debe ser de al menos cinco veces el volumen de sólidos de todas las muestras sumergidas en cada prueba.

Solución de sulfato de sodio

10.4.1.1.1 Disolver sulfato de sodio grado USP o similar en agua destilada a una temperatura de **25 a 30 °C**. Añadir suficiente sal, ya sea anhidra (Na_2SO_4) o cristalina ($\text{Na}_2\cdot\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$) para asegurar no solo la saturación, sino la presencia en exceso de cristales cuando la solución se encuentre lista para utilizar en el ensayo.

10. AG-X. Método de prueba para determinar la resistencia al intemperismo acelerado de los agregados

Nota 10.4. Para preparar la solución, es suficiente adicionar 215 g de sal anhidra o 700 g de sal decahidratada por litro de agua para una saturación a 22 °C. Sin embargo, debido a que estas sales no son completamente estables y que es deseable que un exceso de cristales este presente, se recomienda utilizar al menos 350 g de sal anhidra o 750 g de sal decahidratada por litro de agua.

10.4.1.1.2 Agitar la mezcla durante la adición de la sal y agitar en intervalos frecuentes hasta que se utilice. Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, mantenga la solución tapada todo el tiempo cuando no sea utilizada.

10.4.1.1.3 Permitir que la solución se enfríe a una temperatura de **21 ± 1 °C**.

10.4.1.1.4 Agitar nuevamente y permitir que la solución permanezca a la temperatura designada por lo menos **48 horas** previo a su uso.

10.4.1.1.5 Verificar la formación de cristales en el fondo de la solución. Si hubo nula o insuficiente formación de cristales, se deberá adicionar más sulfato de sodio y continuar desde el punto **10.4.1.1.2**.



Figura 10.1 Formación de cristales

10.4.1.1.6 Antes de cada uso de la solución, disolver los cristales de sal y homogeneizar la misma.

Nota 10.5. Se recomienda colocar la solución en un baño maría a una temperatura máxima de 60 °C para facilitar la disolución de los cristales de sal.

10.4.1.1.7 Determinar la gravedad específica de la solución haciendo uso del densímetro. Cuando se utilice la solución, deberá tener una gravedad específica entre **1.151** y **1.174**.

Nota 10.6. Si la gravedad específica de la solución es menor a la especificación, se deberá agregar más sulfato de sodio y continuar desde el punto 10.4.1.1.2. Si la gravedad específica de la solución es mayor a la especificación, se deberá agregar más agua y continuar desde el punto 10.4.1.1.5.

- 10.4.1.1.8 Desechar la solución si se observa descolorida, o filtrarla y verificar su gravedad específica.

Solución sulfato de magnesio

- 10.4.1.1.9 Disolver sulfato de magnesio grado USP o similar en agua destilada a una temperatura de **25 a 30 °C**. Añadir suficiente sal, ya sea anhidra (**MgSO₄**) o cristalina (**MgSO₄·7H₂O**) para asegurar no solo la saturación, si no la presencia en exceso de cristales cuando la solución se encuentre lista para utilizar en el ensayo.

Nota 10.7. Para preparar la solución, es suficiente adicionar 350 g de sal anhidra o 1230 g de sal heptahidratada por litro de agua para una saturación a 23 °C. Sin embargo, debido a que estas sales no son completamente estables —siendo la sal anhidra la más estable de ambas— y debido a que es deseable que un exceso de cristales este presente, es recomendable utilizar una cantidad no menor a 1400 g de sal heptahidratada por litro de agua destilada.

- 10.4.1.1.10 Agitar la mezcla durante la adición de la sal y agitar en intervalos frecuentes hasta que se utilice. Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, mantenga la solución tapada todo el tiempo cuando no sea utilizada.

- 10.4.1.1.11 Permitir que la solución se enfríe a una temperatura de **21 ± 1 °C**.

- 10.4.1.1.12 Agitar nuevamente y permitir que la solución permanezca a la temperatura designada por lo menos **48 horas** previo a su uso.

- 10.4.1.1.13 Verificar la formación de cristales en el fondo de la solución. Si hubo nula o insuficiente formación de cristales, se deberá adicionar más sulfato de magnesio y continuar desde el punto **10.4.1.1.10**.

- 10.4.1.1.14 Antes de cada uso de la solución, disolver los cristales de sal y homogeneizar la misma.

Nota 10.8. Se recomienda colocar la solución en un baño maría a una temperatura máxima de 60 °C para facilitar la disolución de los cristales de sal.

- 10.4.1.1.15 Determinar la gravedad específica de la solución haciendo uso del densímetro. Cuando se utilice la solución, deberá tener una gravedad específica entre **1.295 y 1.308**.

Nota 10.9. Si la gravedad específica de la solución es menor a la especificación, se deberá agregar más sulfato de magnesio y continuar desde el punto 10.4.1.1.10. Si la gravedad específica de la solución es mayor a la especificación, se deberá agregar más agua y continuar desde el punto 10.4.1.1.13.

- 10.4.1.1.16 Desechar la solución si se observa descolorida, o filtrarla y verificar su gravedad específica.

10.4.1.2 Preparar la solución de cloruro de bario para verificar que el material se encuentre bien lavado (sin presencia de sulfatos).

10.4.1.2.1 Preparar **100 ml** de solución de cloruro de bario al **5%**, disolviendo **5 g** de BaCl_2 en **100 ml** de agua destilada.

10.4.2 Preparación de la muestra

10.4.2.1 Las muestras se obtendrán de acuerdo con la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75). Las muestras se reducirán al tamaño de prueba de acuerdo con la *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba* (AG-I).

Agregado fino

10.4.2.2 La muestra de agregado fino debe ser separada por el tamiz **9.5 mm [$3/8$ "]** y deberá contener no menos de **100 g** de cada una de las siguientes fracciones (Tabla 10.1). Las fracciones que contengan menos de **5%** de material respecto a la masa inicial, deberán ser descartadas.

Tabla 10.1 Fracciones para la muestra de agregado fino

Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz
9.50 mm [$3/8$ "]	4.75 mm [No. 4]
4.75 mm [No. 4]	2.36 mm [No. 8]
2.36 mm [No. 8]	1.18 mm [No. 16]
1.18 mm [No. 16]	600 μm [No. 30]
600 μm [No. 30]	300 μm [No. 50]

10.4.2.3 Lavar cuidadosamente la muestra total sobre la malla de **300 μm [No.50]** y secar a temperatura constante de **110 ± 5 °C**.

10.4.2.4 Separar la muestra en los diferentes tamaños tamizando de acuerdo con las especificaciones del punto **10.4.2.2**, y así seleccionar el suficiente material para alcanzar **100 ± 0.1 g** de cada fracción.

Agregado grueso

10.4.2.5 La muestra de agregado grueso deberá consistir en el material retenido en el tamiz **4.75 mm [No. 4]** y, deberá ser suficiente para obtener todas las cantidades de cada fracción de agregado presentado en la Tabla 10.2. Se deberán ensayar todas las fracciones, a excepción de aquellas que contengan menos del **5%** de material respecto a la masa inicial.

Tabla 10.2 Masa de la muestra de agregado grueso

Fracción del agregado	Pasa	Retiene	Masa [g]
63.0 mm a 37.5 mm	63.0 mm [2 1/2"]	50.0 mm [2"]	3000 ± 300
	50.0 mm [2"]	37.5 mm [1 1/2"]	2000 ± 200
	Total		5000 ± 300
37.5 mm a 19.0 mm	37.5 mm [1 1/2"]	25.0 mm [1"]	1000 ± 50
	25.0 mm [1"]	19.0 mm [3/4"]	500 ± 30
	Total		1500 ± 50
19.0 mm a 9.5 mm	19.0 mm [3/4"]	12.5 mm [1/2"]	670 ± 10
	12.5 mm [1/2"]	9.5 mm [3/8"]	330 ± 5
	Total		1000 ± 10
9.5 mm a 4.75 mm	9.5 mm [3/8"]	4.75 mm [No. 4]	300 ± 5
	Total		300 ± 5

10.4.2.6 Lavar y secar cuidadosamente la muestra a masa constante a una temperatura de **110 ± 5 °C** y separar en los distintos tamaños de agregado de acuerdo con las especificaciones del punto **10.4.2.5**.

10.4.2.7 Cuando un agregado contenga cantidades apreciables de material fino y grueso; esto es, con más del **10 %** de la masa total de material más grueso que el tamiz de **9.5 mm [3/8"]** y, además, con más del **10 %** de material más fino que el tamiz de **4.75 mm [No. 4]**, se deberá evaluar como dos muestras separadas: la primera de la fracción que pasa el tamiz **No. 4** y la segunda de la fracción que retiene el tamiz **No. 4**, de acuerdo a los procedimientos para agregado fino y agregado grueso, respectivamente. Reportar los resultados por separado para la fracción de agregado fino y para la fracción de agregado grueso, indicando los porcentajes de material que contiene cada fracción.

10.4.3 Ejecución de la prueba

10.4.3.1 Registrar la masa inicial de la muestra por fracción (**A**).

Saturación de la muestra

10.4.3.2 Sumergir las muestras en la solución preparada de sulfato de sodio o magnesio por un mínimo de **16 horas** y no más de **18 horas**, de tal manera que la solución cubra el agregado al menos **13 mm**. Mantener las muestras sumergidas en la solución a una temperatura de **21 ± 1 °C** durante el periodo de inmersión.

Nota 10.10. Cubrir los contenedores para reducir la evaporación y prevenir la adición accidental de sustancias extrañas.

Secado de la muestra después de la inmersión

- 10.4.3.3 Después del periodo de inmersión, retirar las muestras de agregado de la solución, permitir que escurran por **15 ± 5 min**, y secar a masa constante en el horno a una temperatura de **110 ± 5 °C**. Permitir enfriar las muestras a temperatura ambiente.
- 10.4.3.4 Número de ciclos: Repetir el proceso de inmersión y secado hasta completar **5 ciclos** ^[Ref. 18]. Un ciclo se considera como la inmersión del agregado en la solución de saturación y su posterior secado a masa constante.

Lavado de la muestra

- 10.4.3.5 Después de completar el ciclo final y que las muestras se han enfriado, lavar las mismas dentro de los contenedores con agua circulando a una temperatura de **43 ± 6 °C**, para eliminar la solución de saturación (sulfato de sodio o de magnesio). En la operación de lavado, las muestras no deben estar sujetas a impactos o abrasión que puedan provocar rompimiento en las partículas.
- 10.4.3.6 Sumergir las muestras lavadas en la solución de cloruro de bario, si la solución de cloruro de bario reacciona pintándose de color blanco (Figura 10.2-b), significa que las muestras no han sido lavadas adecuadamente, ya que el sulfato de sodio o magnesio continúa presente en el agregado y es necesario repetir con el proceso de lavado con agua. Si la solución de cloruro de bario permanece transparente (Figura 10.2-a) el agregado ha sido lavado adecuadamente y este se encuentra libre de sulfatos.

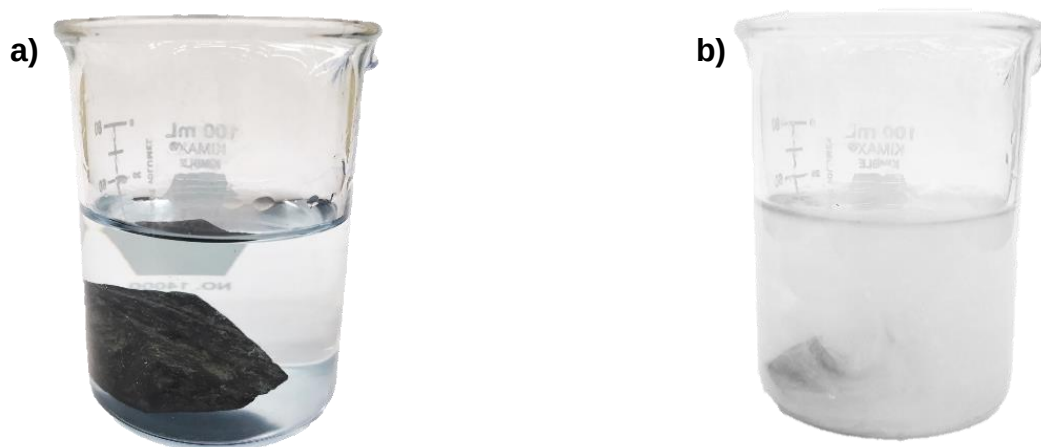


Figura 10.2 a) Agregado libre de sulfatos b) Agregado con presencia de sulfatos

- 10.4.3.7 Después de que el sulfato de sodio o magnesio ha sido removido, secar las muestras en el horno a una temperatura de **110 ± 5 °C** hasta masa constante.

Examinación cuantitativa

Agregado fino

10.4.3.8 Tamizar cada fracción de agregado fino por el mismo tamiz en el cual se retuvo la muestra previa al ensayo.

10.4.3.9 Registrar la masa del material retenido en cada malla (**B**).

Agregado grueso

10.4.3.10 Tamizar cada fracción de agregado grueso utilizando la malla designada en función del tamaño del agregado de acuerdo con la Tabla 10.3, utilizando el método de tamizado manual, con agitación suficiente solo para asegurar que el material pasa la malla. No se deberá realizar manipulación adicional que pueda romper las partículas.

Tabla 10.3 Tamizado de material

Tamaño del agregado	Tamiz utilizado para determinar la pérdida
63.0 mm a 37.5 mm	31.5 mm [1 1/4"]
37.5 mm a 19.0 mm	16.0 mm [5/8"]
19.0 mm a 9.5 mm	8.0 mm [5/16"]
9.5 mm a 4.75 mm	4.0 mm [No. 5]

10.4.3.11 Registrar la masa del material retenido en cada tamiz (**B**).

10.5 Cálculos

10.5.1 Cálculo del porcentaje de intemperismo acelerado por fracción

$$I = \frac{A - B}{A} * 100$$

Donde:

I [%] = Porcentaje de intemperismo acelerado. Reportar con una precisión de 1.0 % (sin decimales).

A [g] = Masa inicial de la muestra, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

B [g] = Masa final de la muestra, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

10.6 Registro de resultados

Tabla 10.4 Registro de resultados de porcentaje de intemperismo del agregado fino

Porcentaje de intemperismo del agregado fino ASTM C88	Identificación de la muestra:									
	Fecha de ensayo:									
	Sal utilizada para saturación:									
Resultados	Réplica #1					Réplica #2				
(X) Masa inicial de la muestra [g]										
Tamaño de material	Ret No. 4	Ret No. 8	Ret No. 16	Ret No. 30	Ret No. 50	Ret No. 4	Ret No. 8	Ret No. 16	Ret No. 30	Ret No. 50
(Y) Masa por tamaño [g]										
(Z) Retenido parcial (Y/X * 100) [%]										
(A) Masa inicial a ensayar [g]										
(B) Masa final [g]										
(I) Porcentaje de intemperismo por tamaño ensayado [%]										
(Ip) Porcentaje de intemperismo ponderado (I*Z * 100) [%]										
(Ip Total) Porcentaje de intemperismo ponderado total (ΣIp) [%]										
Porcentaje de intemperismo ponderado total promedio [%]										

Tabla 10.5 Registro de resultados de porcentaje de intemperismo del agregado grueso

Porcentaje de intemperismo del agregado grueso ASTM C88	Identificación de la muestra:							
	Fecha de ensayo:							
	Sal utilizada para saturación:							
Resultados	Réplica #1				Réplica #2			
(X) Masa inicial de la muestra [g]								
Tamaño de material	63.0 a 37.5 mm	37.5 a 19.0 mm	19.0 a 9.5 mm	9.5 a 4.75 mm	63.0 a 37.5 mm	37.5 a 19.0 mm	19.0 a 9.5 mm	9.5 a 4.75 mm
(Y) Masa por tamaño [g]								
(Z) Retenido parcial (Y/X * 100) [%]								
(A) Masa inicial a ensayar [g]								
(B) Masa final [g]								
(I) Porcentaje de intemperismo por tamaño ensayado [%]								
(Ip) Porcentaje de intemperismo ponderado (I*Z * 100) [%]								
(Ip Total) Porcentaje de intemperismo ponderado total (ΣIp) [%]								
Porcentaje de intemperismo ponderado total promedio [%]								

10.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

Tabla 10.6 Criterio r&R para el ensayo de resistencia al intemperismo

Sal utilizada	1 Operador		Multilaboratorio	
	1S % (CV)	D2S % (CV)	1S % (CV)	D2S % (CV)
Sulfato de sodio	24	68	41	116
Sulfato de magnesio	11	31	25	71

Ver Anexo A.3.

11 AG-XI. Método de prueba para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

11.1 Objetivo

Este método de ensayo cubre la determinación, por masa, del porcentaje de partículas fracturadas en una muestra de agregado grueso. La importancia de contar con un alto contenido de partículas fracturadas consiste en maximizar la resistencia al corte incrementando la fricción interna entre partículas en mezclas de agregados ligados o no ligados.

11.2 Equipo y herramientas

- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una resolución mínima de 0.1 % respecto a la masa de ensayo (ver Anexo A.4).

Nota 11.1. Considerando la masa mínima de la muestra de 200 g, la resolución mínima de la balanza deberá ser de 0.2 g.

- **Tamices** con aberturas conforme a las especificaciones de la norma Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices (ASTM E11), de acuerdo con los siguientes tamaños: 37.5 mm [1 1/2"], 25.0 mm [1"], 19.0 mm [3/4"], 12.5 mm [1/2"], 9.5 mm [3/8"], 4.75 mm [No. 4].
- **Espátula** para clasificar las partículas del agregado.
- **Horno** capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

11.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la verificación sea en, al menos, 5 puntos (200, 500, 1500, 3000, 7500 g) considerando el rango de trabajo de la misma y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamices.** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C o mayor en, al menos, un punto considerando el rango de trabajo (110 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

11.4 Método de prueba

Nota 11.2. El método ASTM D5821 involucra la determinación del porcentaje de partículas fracturadas por dos métodos: determinación por masa y determinación por conteo. En el procedimiento descrito en el presente manual, únicamente se hace referencia a la determinación por masa. Si se desea realizar la determinación por conteo, dirigirse a la norma de referencia.

11.4.1 Preparación del equipo

En este método de prueba no se considera preparación de equipo.

11.4.2 Preparación de la muestra

- 11.4.2.1 Muestrear el agregado de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75).
- 11.4.2.2 Secar la muestra lo suficiente para obtener una buena separación entre el material grueso y fino en la operación de tamizado.
- 11.4.2.3 Tamizar la muestra por la malla de **4.75 mm [No. 4]** de acuerdo con el *Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos* (AG-II) y reducir la porción retenida de acuerdo con la *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba* (AG-I) para obtener la cantidad de muestra de ensayo.
- 11.4.2.4 La masa de la muestra deberá ser al menos la indicada en la Tabla 11.1.

Tabla 11.1 Masa de la muestra

Tamaño nominal	Masa mínima de ensayo [g]
9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]	200
12.5 mm [$\frac{1}{2}$ "]	500
19.0 mm [$\frac{3}{4}$ "]	1 500
25.0 mm [1]	3 000
37.5 mm [$1 \frac{1}{2}$ "]	7 500

- 11.4.2.5 Para los agregados con tamaño nominal de **19.0 mm [$\frac{3}{4}$ "]** o mayor, donde se requiera determinar el contenido de partículas fracturadas para el material retenido en el tamiz **4.75 mm [No. 4]** o un tamiz menor, la muestra puede ser separada por el tamiz de **9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]**. La porción que pasa el tamiz de **9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]** será después reducida de acuerdo con la *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba* (AG-I), a un mínimo de **200 g**. Esto reducirá el número de partículas (pasa **9.5 mm** - retiene **4.75 mm**) a ser ensayadas. En este caso, el porcentaje de las partículas fracturadas del material que pasa el

tamiz **9.5 mm**, será calculado de manera proporcional a la masa inicial de la porción de dicho tamiz.

11.4.3 Ejecución de la prueba

- 11.4.3.1 Lavar la muestra sobre el tamiz designado para retirar cualquier material fino y secar a masa constante a una temperatura de **110 ± 5 °C**.
- 11.4.3.2 Determinar y registrar la masa de la muestra seca (**A**).
- 11.4.3.3 Extender la muestra seca sobre una superficie plana, limpia y suficientemente grande para permitir una inspección cuidadosa de cada una de las partículas. Para verificar que la partícula cumple con los criterios de fractura, sostener la partícula de manera que la cara sea vista directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto (**25 %**) del área de la sección transversal máxima de la partícula del agregado, considerarla una cara fracturada.

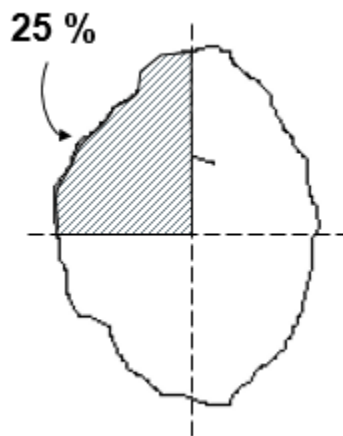


Figura 11.1 Vista de la sección transversal máxima de la partícula

- 11.4.3.4 Inspeccionar cada cara de cada partícula para determinar si cada cara cumple con el criterio de cada fracturada.
 - 11.4.3.5 Separar las partículas en tres categorías: partículas con dos o más caras fracturadas, partículas con una cara fracturada y partículas sin caras fracturadas.
 - 11.4.3.6 Determinar la masa de las partículas que tengan dos o más caras fracturadas (**F**).
 - 11.4.3.7 Determinar la masa de las partículas que tengan una cara fracturada (**U**).
 - 11.4.3.7 Determinar la masa de las partículas que no tengan caras fracturadas (**N**).
-

11.5 Cálculos

11.5.1 Cálculo del porcentaje de partículas fracturadas

$$P_2 = \frac{F}{F + U + N} * 100$$

$$P_1 = \frac{U}{F + U + N} * 100$$

Donde:

P₂ [%] = Porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas. Reportar este valor con aproximación de 1 % (entero).

P₁ [%] = Porcentaje de partículas con una cara fracturada. Reportar este valor con aproximación de 1 % (entero).

F [g] = Masa de las partículas con dos o más caras fracturadas, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

U [g] = Masa de las partículas con una cara fracturada, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

N [g] = Masa de las partículas sin caras fracturadas, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

11.6 Registro de resultados

Tabla 11.2 Registro de resultados de partículas fracturadas

Partículas fracturadas ASTM D5821	Identificación de la muestra:		
	Fecha de ensayo:		
	Tamaño nominal del agregado:		
Resultados		Réplica #1	Réplica #2
(A) Masa inicial de la muestra [g]			
(F) Masa de partículas con dos o más caras fracturadas [g]			
(U) Masa de partículas con una cara fracturada [g]			
(N) Masa de partículas sin caras fracturadas [g]			
(P ₂) Porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas [%]			
(P ₁) Porcentaje de partículas con una cara fracturada [%]			
(P₂) Porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas promedio [%]			
(P₁) Porcentaje de partículas con una cara fracturada promedio [%]			

11.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

Tabla 11.3 Criterio de r&R para el ensayo de partículas fracturadas

Parámetro	1 Operador		Multilaboratorio	
	1S	D2S	1S	D2S
% Partículas fracturadas	5.2	14.56	14.7	41.16

Ver Anexo A.3.

12 AG-XII. Método de prueba para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas del agregado grueso

12.1 Objetivo

Este método de prueba cubre la determinación por masa del porcentaje de partículas planas y alargadas del agregado grueso. La forma de la partícula es un parámetro que influencia las propiedades de desempeño de la mezcla asfáltica, por lo que, para un comportamiento adecuado, se busca contar con partículas esféricas y evitar las partículas planas y alargadas debido a que pudieran presentar tendencia a fracturarse durante la construcción y bajo la acción del tránsito.

12.2 Equipo y herramientas

- **Dispositivo proporcional calibrador** consiste en una placa base con dos postes fijos y un brazo libre montado entre ellos, de tal manera que, las aberturas entre los brazos y los postes mantengan una relación constante Figura 12.1. La posición del eje se puede ajustar para proporcionar la relación deseada de dimensiones de apertura Figura 12.2, y ajustar a relaciones de 1:2, 1:3 y 1:5.

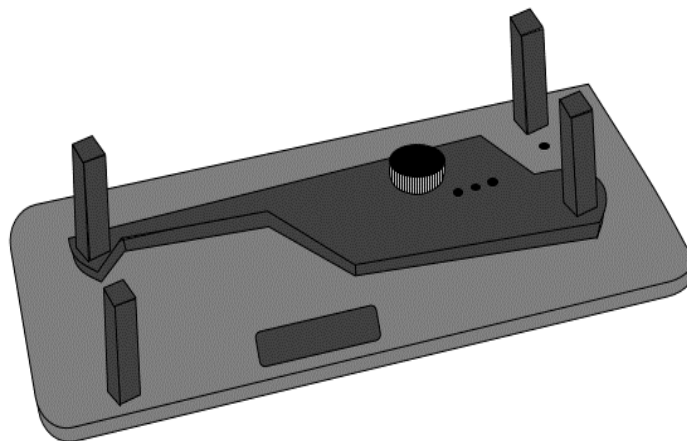


Figura 12.1 Dispositivo calibrador

- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una resolución mínima de 0.5 % respecto a la masa de ensayo (ver Anexo A.4).

Nota 12.1. Considerando la masa mínima de la muestra de 100 g, la resolución mínima de la balanza deberá ser de 0.5 g.

- **Tamices** con aberturas conforme a las especificaciones de la norma Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices (ASTM E11), de acuerdo con los siguientes tamaños: 37.5 mm [$1\frac{1}{2}$ "], 25.0 mm [1"], 19.0 mm [$\frac{3}{4}$ "], 12.5 mm [$\frac{1}{2}$ "], 9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "], 4.75 mm [No. 4].
- **Horno** capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

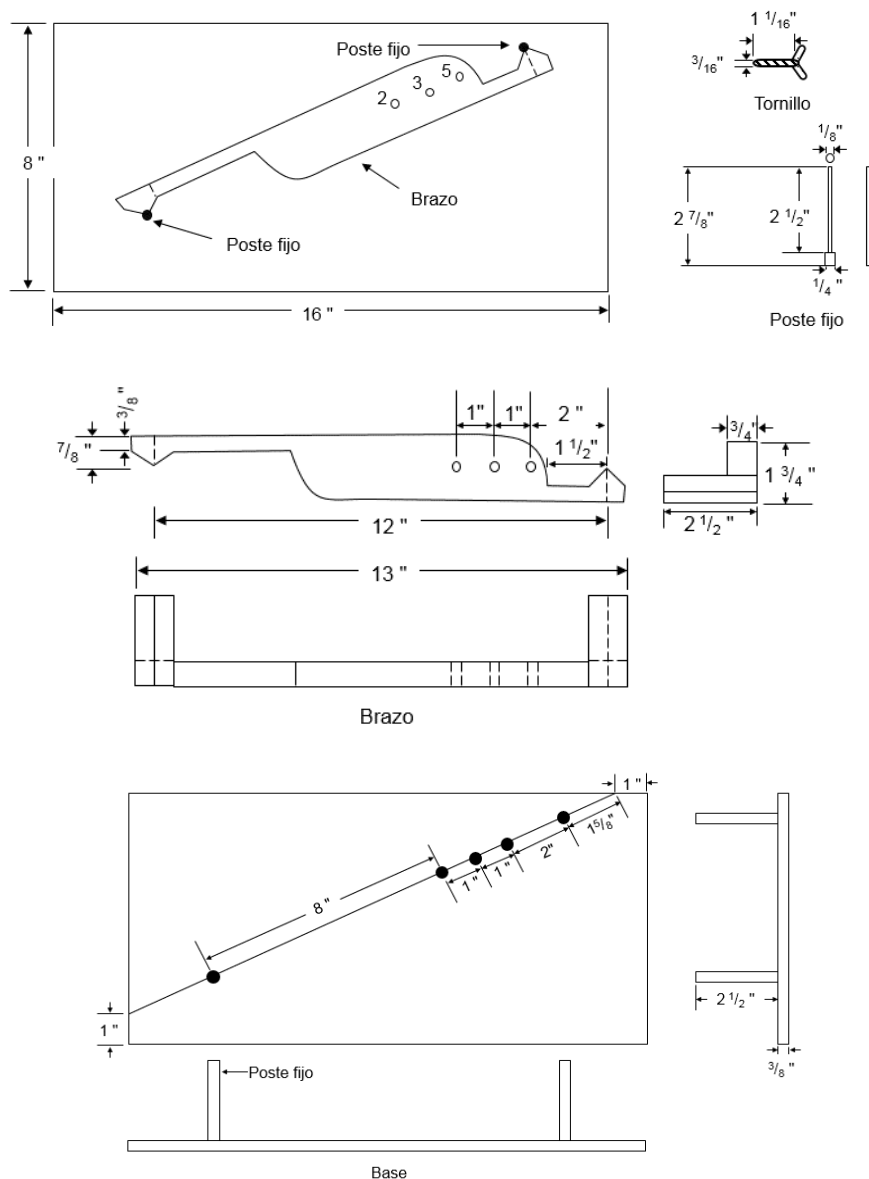


Figura 12.2 Especificaciones de dispositivo proporcional calibrador

12.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Dispositivo proporcional calibrador.** Verificar la relación de aberturas haciendo uso de un bloque patrón o un micrómetro calibrado. Se recomienda que la verificación sea al menos una vez cada 12 meses.
- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la verificación sea en, al menos, 9 puntos (100, 200, 500, 1000, 1500, 2000, 5000, 10 000, 15 000 g) considerando el rango de trabajo de la misma y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Tamices.** Calibrar o verificar con un instrumento de medición lineal (Vernier) calibrado, de acuerdo con las especificaciones de la norma Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices (ASTM E11) (ver Anexo A.1) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Horno.** Calibrar o verificar con una resolución de 1 °C o mayor en, al menos, un punto considerando el rango de trabajo (110 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

12.4 Método de prueba

Nota 12.2. El método ASTM D4791 involucra la determinación del porcentaje de partículas planas y alargadas por dos métodos: Método A y Método B. En el procedimiento descrito en el presente manual, únicamente se hace referencia al Método B, ya que es el especificado para los procedimientos de diseño Superpave. Si se desea realizar el Método A, dirigirse a la norma de referencia.

12.4.1 Preparación del equipo

- 12.4.1.1 Establecer la relación de abertura a 1:5 ^[Ref.1] en el dispositivo proporcional calibrador.

Nota 12.3 Se pueden utilizar otras relaciones de abertura (1:2, 1:3) de acuerdo con cada especificación particular.

12.4.2 Preparación de la muestra

- 12.4.2.1 Muestrear el agregado de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para el muestreo de los agregados* (ASTM D75).
- 12.4.2.2 Reducir el material de acuerdo con las especificaciones de la *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba* (AG-I).
- 12.4.2.3 La masa mínima de la muestra de ensayo deberá ser conforme al tamaño nominal del agregado como se indica en la Tabla 12.1.

Tabla 12.1 Masa de la muestra

Tamaño nominal	Masa mínima de ensayo [g]
9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]	1 000
12.5 mm [$\frac{1}{2}$ "]	2 000
19.0 mm [$\frac{3}{4}$ "]	5 000
25.0 mm [1"]	10 000
37.5 mm [1 $\frac{1}{2}$ "]	15 000

12.4.3 Ejecución de la prueba

- 12.4.3.1 Secar la muestra en el horno a una temperatura de **110 ± 5 °C** hasta masa constante. Verificar que se cumpla con la masa mínima de la muestra en la Tabla 12.1.
- 12.4.3.2 Registrar la masa de la muestra total (**A**) con aproximación de **0.1 g**.
- 12.4.3.3 Tamizar la muestra por los tamaños: **37.5 mm [1 $\frac{1}{2}$ "]**, **25.0 mm [1"]**, **19.0 mm [$\frac{3}{4}$ "]**, **12.5 mm [$\frac{1}{2}$ "]**, **9.5 mm [$\frac{3}{8}$ "]** de acuerdo con el *Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos* (AG-II). Utilizando únicamente el material retenido en el tamiz de **4.75 mm [No. 4]**.
- 12.4.3.4 Registrar la masa retenida en cada tamiz (**B**) con aproximación de **0.1 g**.
- 12.4.3.5 Calcular el porcentaje retenido parcial de cada fracción (**C**) con aproximación de **0.1 %**. Si el porcentaje retenido parcial de alguna fracción es menor al **10%**, ésta se puede descartar para ser ensayada.
- 12.4.3.6 Reducir cada fracción, si es posible, al **10 %** o más de la muestra original, de acuerdo con la *Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba* (AG-I), hasta obtener **100 partículas** aproximadamente para cada fracción. Registrar la nueva masa a ensayar de cada fracción, si aplicó reducción (**D**).

Procedimiento de evaluación (Método B)

- 12.4.3.7 Evaluar cada una de las partículas por fracción.
- 12.4.3.8 Identificar las dimensiones de cada partícula como: largo (la mayor dimensión de la partícula), ancho (la dimensión intermedia de la partícula), y espesor (la menor dimensión de la partícula).

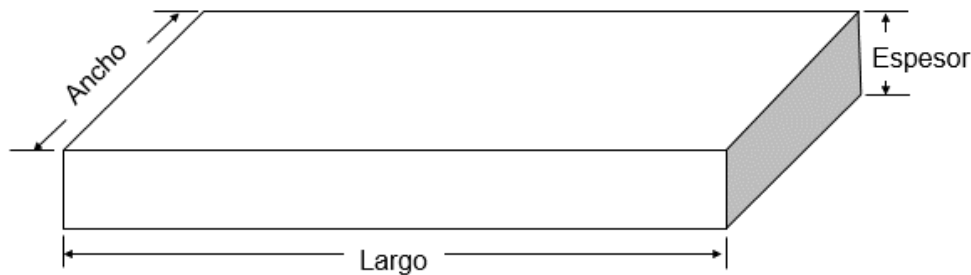


Figura 12.3 Consideraciones de una partícula

- 12.4.3.9 Colocar el largo de la partícula en la abertura más grande del dispositivo calibrador y ajustar el calibrador a dicha abertura. Después, hacer pasar el espesor de la misma partícula por la abertura más pequeña. La partícula se considera plana y alargada si el espesor pasa completamente a través de la abertura más pequeña del calibrador.

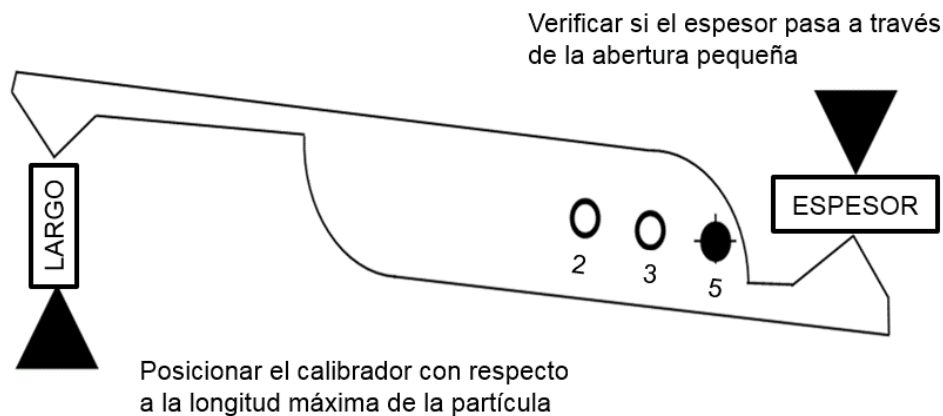


Figura 12.4 Relación de abertura

- 12.4.3.10 Separar las partículas por fracción en dos grupos: (1) planas y alargadas o (2) ni planas ni alargadas.
- 12.4.3.11 Después de que las partículas han sido clasificadas dentro de los grupos descritos como: (1) plana y alargada o (2) ni plana ni alargada, determinar la masa de cada grupo, por fracción.

12.5 Cálculos

12.5.1 Cálculo del porcentaje de agregado retenido por tamiz de la granulometría (%RT_{tg})

$$\% RT_{tg} [C] = \frac{\text{Masa total de cada fracción } [B]}{\text{Masa inicial } [A]} * 100$$

12.5.2 Cálculo del porcentaje de partículas planas y alargadas por tamiz de la muestra (%PyA_{tm})

$$\% PyA_{tm} [G] = \frac{\text{Masa de Partículas Planas y Alargadas } [E]}{\text{Masa de cada fracción } [D]} * 100$$

12.5.3 Cálculo del porcentaje de partículas planas y alargadas por tamiz ponderado a la granulometría (%PyA_{tg})

$$\% PyA_{tg} [H] = \frac{PyA_{tm} [G] * RT_{tg} [C]}{100}$$

12.5.4 Cálculo de la sumatoria del porcentaje retenido (%RT_{total})

$$\% RT_{total} [Total C] = \sum_1^n \% RT_{tg} [C]$$

n = tamiz utilizado en la determinación de partículas PyA. Si un tamiz es descartado de la evaluación de acuerdo con el punto 8.4.3.5, no se deberá considerar su masa en esta sumatoria.

12.5.5 Cálculo de la sumatoria del porcentaje de partículas planas y alargadas (%PyA_{total})

$$\% PyA_{total} [Total H] = \sum_1^n \% PyA_{tg}$$

n = tamiz utilizado en la determinación de partículas PyA.

Reportar todos los cálculos anteriores con aproximación de 0.1% (1 decimal).

12.5.6 Cálculo del porcentaje de partículas planas y alargadas de la granulometría (%PyA)

$$\% PyA = \frac{PyA_{total} [Total H]}{RT_{total} [Total C]} * 100$$

Reportar el porcentaje de partículas planas y alargadas de la granulometría con aproximación de 1% (valor entero).

12.6 Registro de resultados

Tabla 12.2 Registro de resultados de partículas planas y alargadas

Partículas planas y alargadas <i>ASTM D4791</i>		Identificación de la muestra:							
		Fecha de ensayo:							
		Método utilizado:							
		Relación:							
Resultados		Réplica #1				Réplica #2			
(A) Masa inicial de la muestra [g]									
Tamiz [mm]									
(B) Masa total de cada fracción [g]									
(C) Retenido parcial [%]									
(D) Masa a ensayar de cada fracción [g] (si aplica reducción)									
Masas individuales [g]	(E) Planas y alargadas								
	(F) Ni planas, ni alargadas								
Planas y alargadas por tamiz [%]	(G) = (E/D) * 100								
	(H) = G*C / 100								
Σ de retenido parcial (Total C) [%]									
Σ de planas y alargadas (Total H) [%]									
Partículas planas y alargadas [%] (Total H/Total C * 100)									
Partículas planas y alargadas promedio									

12.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

Tabla 12.3 Criterio r&R para el ensayo de partículas planas y alargadas

Parámetro	1 Operador		Multilaboratorio	
	1S	D2S	1S	D2S
Partículas planas y alargadas de 19 a 12.5 [mm]	51.2	144.8	88.5	250.3
Partículas planas y alargadas de 12.5 a 9.5 [mm]	22.9	64.7	43.0	121.8

Ver Anexo A.3.

13 AG-XIII. Práctica estándar para determinar el efecto de agua en ebullición en el agregado cubierto con asfalto

13.1 Objetivo

Determinar visualmente la pérdida de adherencia en mezclas asfalto-agregado sin compactar, debido a la acción del agua en ebullición.

13.2 Equipo y herramientas

- **Dispositivo para calentamiento de agua** adecuado para distribuir el calor uniformemente en toda la muestra: parrilla eléctrica, quemador de gas con anillo y malla de alambre, etc.
- **Vaso de precipitado** de vidrio, resistente al calor, con una capacidad de 1000 a 2000 ml.
- **Cucharón** o cualquier otra herramienta con la que se pueda obtener una muestra representativa de una masa grande de mezcla asfalto-agregado.
- **Pirómetro** con un rango de medición suficiente para evaluar la temperatura de la mezcla de 20 a 100 °C y con una resolución mínima de 0.2 °C.
- **Balanza** con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y con una resolución de 1 g (ver Anexo A.4).
- **Termómetro** con un rango de medición suficiente para evaluar la temperatura del agua de 2 a 200 °C y con una graduación mínima de 1.0 °C.

Nota 13.1. Se recomienda el termómetro de inmersión ASTM 2C (rango: -5 a +300 °C, resolución: 1 °C).

- **Misceláneos.** Agua destilada, hojas de papel blanco.

13.3 Calibraciones y/o verificaciones

- **Pirómetro.** Calibrar con una resolución de 0.1 °C o mayor. Se recomienda que la verificación sea en, al menos, 5 puntos (20, 40, 60, 80, 100 °C) considerando el rango de trabajo y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

- **Balanza.** Calibrar o verificar con una resolución de 0.1 g o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 1 punto (250 g) considerando el rango de trabajo de la misma y, por lo menos, una vez cada 12 meses.
- **Termómetro.** Calibrar o verificar con una precisión de 0.1 °C o mayor. Se recomienda que la calibración sea en, al menos, 5 puntos considerando el rango de trabajo (20, 50, 100, 150, 200 °C) y, por lo menos, una vez cada 12 meses.

13.4 Método de prueba

13.4.1 Preparación del equipo

- 13.4.1.1 Acondicionar el dispositivo para calentamiento de agua a una temperatura que permita mantener el agua en ebullición.
- 13.4.1.2 Verter agua destilada en el vaso de precipitado de forma que el contenedor quede medianamente lleno y calentar hasta que el agua hierva.

13.4.2 Preparación de la muestra

- 13.4.2.1 Preparar la mezcla asfáltica sin compactar de acuerdo con el *Método estándar para la preparación y compactación de especímenes de mezcla asfáltica en caliente por medio del compactador giratorio (MAC-I)* u obtener una muestra producida en planta de acuerdo con *Práctica estándar para el muestreo de mezclas asfálticas (ASTM D979)*.
- 13.4.2.2 El contenido de asfalto será el indicado por la especificación particular.
- 13.4.2.3 La temperatura de la mezcla asfáltica en caliente deberá estar por debajo de la temperatura de ebullición del agua, pero a no menos de **85 °C**, antes de colocarla en el agua hirviendo. Para mezclas frías, la temperatura de la mezcla deberá estar a la temperatura ambiente o por encima de esta, previo a colocar la muestra en el agua hirviendo.

13.4.3 Ejecución de la prueba

- 13.4.3.1 Vaciar con el cucharón aproximadamente **250 g** de la mezcla asfáltica en el agua hirviendo mientras el contenedor se expone a la fuente de calor.
- 13.4.3.2 Mantener el agua hirviendo con la muestra por **10 minutos ± 15 segundos**.

Nota 13.2. Evitar la manipulación excesiva de la muestra asfáltica.

- 13.4.3.3 Retirar el contenedor de la fuente de calor y retirar cualquier resto de asfalto en la superficie del agua para prevenir que se vuelva a adherir al agregado.
- 13.4.3.4 Permitir que la muestra se enfríe dentro del agua a temperatura ambiente.
- 13.4.3.5 Decantar el agua y vaciar la muestra húmeda en un papel blanco.
- 13.4.3.6 Inspeccionar visualmente el cubrimiento del agregado con el asfalto. Cualquier color marrón o áreas traslucidas se considerarán totalmente recubiertas. La observación visual deberá realizarse inmediatamente después de que la muestra fue colocada en el papel blanco. La inspección bajo una luz y con aumento, puede ayudar en la observación del recubrimiento retenido.

Nota 9.3. Se puede obtener información adicional repitiendo la observación visual 24 horas después de la prueba cuando la muestra se haya secado y los efectos de la humedad sobre la apariencia del recubrimiento se hayan eliminado.

13.5 Cálculos

13.5.1 Cálculo del porcentaje de recubrimiento

Determinar visualmente el porcentaje de recubrimiento por el efecto de agua en ebullición respecto a la muestra total.

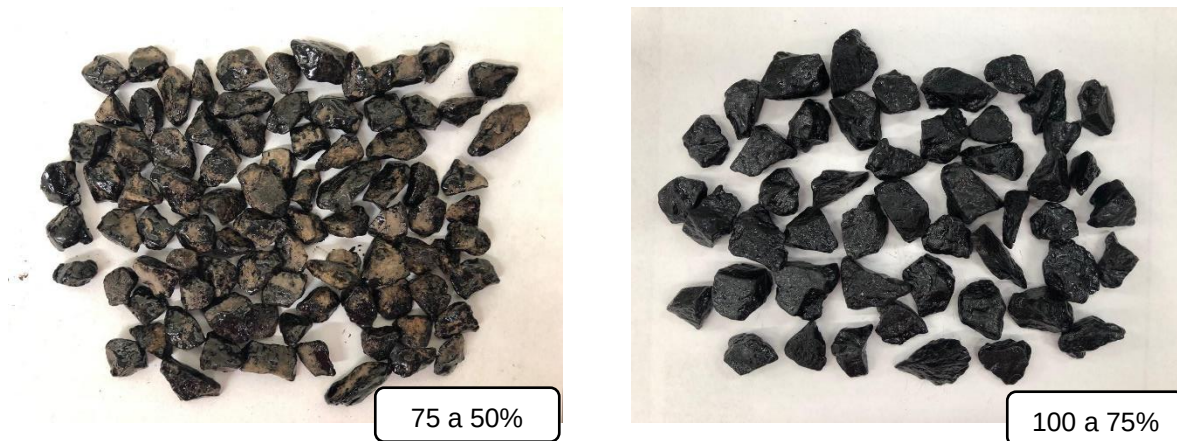
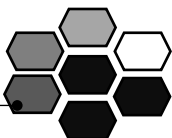
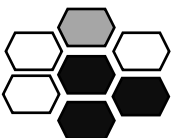
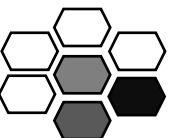
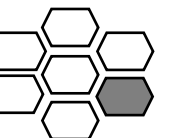
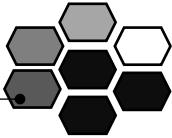
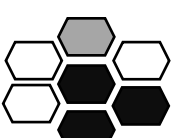
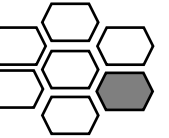


Figura 13.1 Ejemplos para determinación de porcentaje de recubrimiento

13.6 Registro de resultados

Tabla 13.1 Registro de resultados del efecto de agua en ebullición

Adherencia por ebullición ASTM D3625		Identificación de la muestra:				
		Fecha de ensayo:				
Resultados						
Réplica #1						
Papel blanco						
Mezcla asfáltica						
	100 a 75%	75 a 50%	50 a 25%	25 a 0%		
Réplica #2						
Papel blanco						
Mezcla asfáltica						
	100 a 75%	75 a 50%	50 a 25%	25 a 0%		

13.7 Criterios para evaluar Repetibilidad y Reproducibilidad en los resultados

No se cuenta con datos para realizar una declaración sobre estos criterios.

Bibliografía

1. Asphalt Institute (2001). Superpave Mix Design Series No. 2 (SP-2). Third edition: USA.
2. ASTM C29 (2007). Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/C29.htm>.
3. ASTM C88 (2013). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/C88.htm>.
4. ASTM C127 (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/C127.htm>.
5. ASTM C128 (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/C128.htm>.
6. ASTM C131 (2014). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/C131.htm>.
7. ASTM C136 (2014). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/C136.htm>.
8. ASTM C702 (2018). Standard Practice Sampling Aggregates. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/C702.htm>.
9. ASTM C1252 (2017). Standard Test Methods for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particles Shape, Surface Texture, and Grading). Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/C1252.htm>.
10. ASTM D75 (2014). Standard Practice for Sampling Aggregates. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/D75.htm>.
11. ASTM D979 (2015). Standard Practice for Sampling Bituminous Paving Mixtures. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/D979.htm>.

12. ASTM D5821-13 (2017). Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/D5821-13.htm>.
13. ASTM D2419 (2014). Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/D2419.htm>.
14. ASTM D3625 (2012). Standard Practice for Effect of Water on Bituminous-Coated Aggregate Using Boiling Water. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/D3625.htm>.
15. ASTM D4791 (2010). Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/D4791.htm>.
16. ASTM D6928 (2017). Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/D6928.htm>.
17. ASTM E11 (2018). Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves. Recuperado de ASTM International: <http://www.astm.org/Standards/E11.htm>.
18. Ayala, Y., Delgado, H., Guzmán, D.V., & Salazar, A.Z. (2018). Manual de Ensayos para Laboratorio: Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC), Parte 1. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 516. Recuperado de IMT: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt516.pdf>
19. International Slurry Surfacing Association (2013). Test Method for Determining of Methylene Blue Value (MBV) of Mineral Aggregate Fines. Technical Bulletin No. 145. Recuperado de ISSA: <http://www.slurry.org/page/TechnicalBulletins>
20. M-MMP-4-04-008 (2003). Intemperismo Acelerado de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Recuperado de: <http://normas.imt.mx/>.
21. Mallick, R.B. & El-Korchi, T. (2013). Pavement Engineering: Principles and Practice. Second Edition. Boca Raton: CRC Press.

Anexos

A.1. Verificación de tamices

Toda abertura de tamiz deberá tener la misma probabilidad de ser inspeccionada de acuerdo con la *Especificación estándar para la malla de alambre metálico y tamices* (ASTM E11). Se recomienda continuar el siguiente procedimiento:

A.1.1 Inspeccionar visualmente el tamiz, observando la uniformidad de la malla contra un fondo iluminado y uniforme. Si se detectan irregularidades (arrugas, ondulaciones, defectos, etc.) el tamiz es inaceptable para ser utilizado en ensayos.

A.1.2 Determinar el número mínimo de aberturas (n) a evaluar del tamiz conforme a la Tabla A.1.2. En la columna [9] se indican los valores para inspección o verificación, mientras que en la columna [11] se indican los valores para calibración.

Para tamices de más de 8 pulgadas de diámetro, se deberán ajustar los valores de la Tabla A.1.2 proporcionalmente en función del área de tamizado. Para tamices de más de 8 pulg de diámetro con designaciones del tamiz de 25 mm o mayores, se evaluará un máximo de 25 aberturas para tamices de inspección y 50 aberturas para tamices de calibración. Para tamices con 15 aberturas o menos, se deberán inspeccionar todas las aberturas completas (Figura A.1.1).

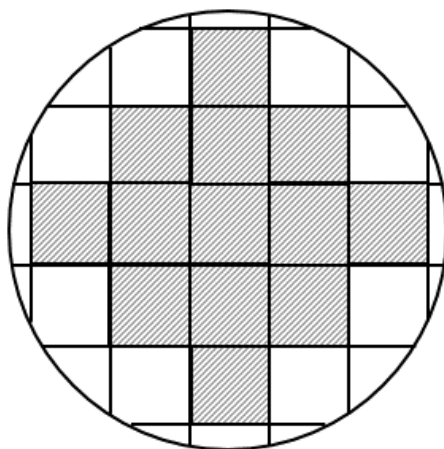


Figura A.1.1 Ejemplo de verificación completa

A.1.3 Determinar el valor del tamaño de abertura media realizando mediciones en las aberturas del tamiz en dirección vertical y horizontal (Figuras A.1.2 y A.1.3).

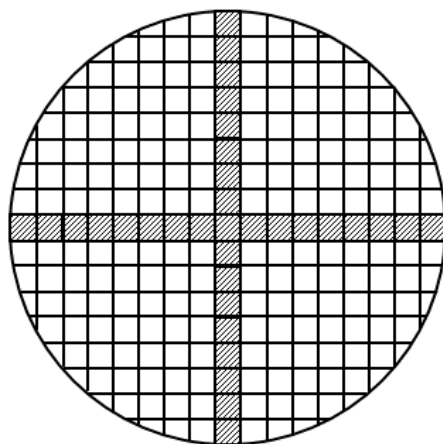


Figura A.1.2 Ejemplo de medición cruzada

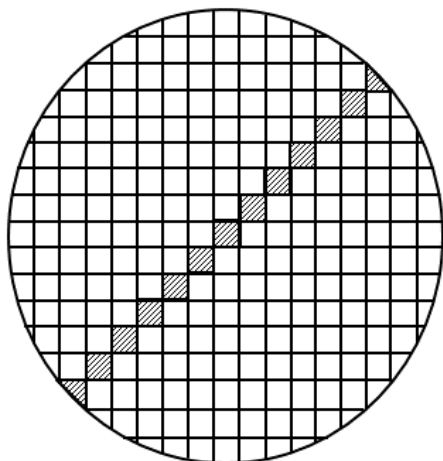


Figura A.1.3 Ejemplo de medición diagonal

A.1.4 Determinar el tamaño de cada abertura a inspeccionar (w_i) y el diámetro del alambre (d_i) en los puntos medios, como se ilustra en la Figura A.1.4. Dichas dimensiones se deberán determinar en milímetros, excepto para tamices con aberturas de malla menores a 1 mm, se deberán determinar en micrómetros. La determinación de las aberturas a inspeccionar deberá realizarse aleatoriamente, siendo que todas las aberturas deberán tener la misma oportunidad de ser elegidas.

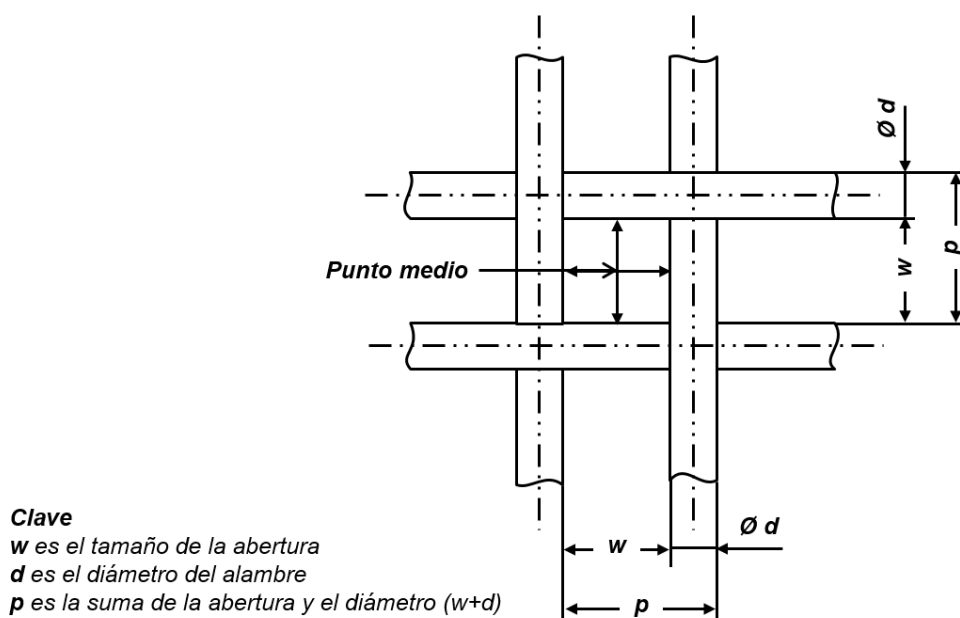


Figura A.1.4 Tamaño de la abertura

A.1.5 Inspeccionar las aberturas para detectar algún sobredimensionamiento de las mismas. Se recomienda utilizar una lupa, especialmente en tamices finos.

A.1.6 Evaluar las cuatro tolerancias establecidas: variación de la abertura media (Y), variación máxima de la abertura (X), variación máxima de la desviación estándar y variación permitida en el diámetro medio del alambre, y comparar con las dimensiones del tamiz.

- Variación de la abertura media permitida ($\pm Y$):

Verificar que el tamaño de abertura media (punto 4.1.3) del tamiz se encuentre dentro del rango indicado en la Tabla A.1.2, columna [4].

- Variación máxima permitida de la abertura (X):

Verificar que el tamaño de cada abertura inspeccionada (punto 4.1.4) sea menor a la variación máxima permitida en la Tabla A.1.2, columna [5].

- Variación máxima permitida de la desviación estándar de la muestra (s):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2}$$

Dónde:

s : Desviación estándar de la muestra, expresada en mm o μm

n : Número de aberturas inspeccionadas

w_i : Tamaño de la abertura inspeccionada, expresada en mm o μm

$\bar{w}$: Tamaño promedio de las aberturas inspeccionadas, expresada en mm o μm

Calcular la desviación estándar de las aberturas inspeccionadas, y verificar que dicho valor sea menor al permitido en la Tabla A.1.2, columna [12].

Nota: Si el número de aberturas a inspeccionar es menor a 15, el valor de la desviación estándar no será evaluado.

- Variación permitida en el diámetro del alambre

Verificar que el diámetro del alambre de cada abertura inspeccionada (punto 4.1.4) se encuentre dentro de los límites establecidos en la Tabla A.1.2, columnas [14 y 15].

A.1.7 Medir el marco del tamiz y verificar que cumpla con las tolerancias de dimensiones de acuerdo con la Tabla A.1.1.

Tabla A.1.1 Dimensiones estándar de marcos

Diámetro nominal [pulg]	Tolerancia del Diámetro pulg [mm]	Marco Típico ^A
	Sección interna de la parte superior ^B	Altura Nominal pulg [mm]
3	3.00 + 0.030 / - 0.000 [76.2+ 0.76 / - 0.00]	1 1/4 [31.8] FH ^C
		5/8 [15.9] HH
6	6.00 + 0.030 / - 0.000 [152.4+ 0.76 / - 0.00]	1 3/4 [44.5] FH
		1 [25.4] HH
8	8.00 + 0.030 / - 0.000 [203.2+ 0.76 / - 0.00]	2 [50.8] FH
		1 [25.4] HH
10	10.00 + 0.030 / - 0.000 [254+ 0.76 / - 0.00]	3 [76.2] FH
		1 1/2 [38.1] HH
12	12.00 + 0.030 / - 0.000 [304.8+ 0.76 / - 0.00]	3 1/4 [82.6] FH
		2 [50.8] IH
		1 5/8 [41.3] HH

^A Altura del marco medida desde la parte superior del marco hasta la parte superior de la malla.

^B Medido 0.2 pulg (5 mm) por debajo de la parte superior del marco.

^C FH = altura total; HH = media altura; IH = altura intermedia.

Tabla A.1.2 Dimensiones nominales y variaciones permitidas para la tela de tamiz y tamices de prueba de cumplimiento, inspección y calibración

[1]	[2a]	[3] ^A	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9] ^{B, C}	[10]	[11] ^{B, C}	[12]	[13]	[14]	[15]
Designación del tamiz		Abertura nominal del tamiz	± Y Variación de la apertura media	± X Variación máxima de la apertura	Abertura individual máxima resultante	Cumplimiento de tamices		Inspección de tamices		Calibración de tamices		Diámetro típico del alambre	Diámetro del alambre promedio permisible	
Abertura Estándar (w)	Alternativa EE. UU					Muestreo de aberturas por cada 100 ft ²	Desviación estándar máxima	Muestreo de aberturas por tamiz	Desviación estándar máxima	Muestreo de aberturas por tamiz	Desviación estándar máxima		Mín.	Máx.
[mm]	[pulg]	[pulg]	[mm]	[mm]	[mm]							[mm]		
63.0	2 1/2"	2.5	1.69	2.44	65.44	20	-	todas	-	todas	-	5.6	4.8	6.4
50.0	2 "	2	1.34	2.06	52.06	20	-	todas	-	todas	-	5	4.3	5.8
37.5	1 1/2"	1.5	1.01	1.67	39.17	20	1.103	todas	-	todas	-	4.5	3.8	5.2
31.5	1 1/4"	1.25	0.855	1.47	32.97	20	0.907	todas	-	todas	-	4	3.4	4.6
25.0	1 "	1	0.682	1.24	26.24	20	0.715	todas	-	todas	-	3.55	3	4.1
19.0	3/4"	0.75	0.522	1.01	20.01	150	0.548	15	0.368	30	0.393	3.15	2.7	3.6
16.0	5/8"	0.625	0.441	0.89	16.89	150	0.467	15	0.314	30	0.335	3.15	2.7	3.6
12.5	1/2"	0.5	0.346	0.75	13.25	150	0.374	15	0.251	30	0.268	2.5	2.1	2.9
9.50	3/8"	0.375	0.265	0.61	10.11	150	0.294	15	0.198	30	0.211	2.24	1.9	2.6
6.30	1/4"	0.25	0.178	0.46	6.76	150	0.208	15	0.14	30	0.149	1.8	1.5	2.1
4.75	No. 4	0.187	0.135	0.37	5.12	150	0.165	15	0.111	30	0.118	1.6	1.3	1.9
2.36	No. 8	0.0937	0.069	0.23	2.59	200	0.095	20	0.067	40	0.071	1	0.85	1.15
1.70	No. 12	0.0661	0.05	0.18	1.88	250	0.074	25	0.054	50	0.057	0.8	0.68	0.92
1.18	No. 16	0.0469	0.036	0.14	1.32	400	0.056	40	0.043	80	0.045	0.63	0.54	0.72
[μm]		[pulg]	[μm]	[μm]	[μm]							[mm]		
600	No. 30	0.0234	19.0	91.0	691	500	34.04	50	27.0	100	28.06	0.4	0.34	0.46
300	No. 50	0.0117	10.4	58.0	358	800	21.2	80	17.59	160	18.15	0.2	0.17	0.23
150	No. 100	0.0059	6.0	38.0	188	1000	13.65	100	11.53	200	11.86	0.1	0.085	0.115
75	No. 200	0.0029	3.7	26.0	101	1000	9.12	100	7.7	250	8.04	0.05	0.043	0.058

^A Columna 3 - Estos números son sólo aproximados, pero se utilizan como referencia; el tamiz se identificará por la designación normalizada en milímetros o micrómetros.

^B Columnas 9 y 11 - Ver anexo A1, en el que se especifica que se inspeccionarán todas las aberturas para los tamices de ensayo que tengan 15 aberturas o menos.

^C Columnas 9 y 11 - Este número de aberturas de muestra se basan en un tamiz de prueba de 8 pulgadas de diámetro.

Nota A.1: La Tabla ha sido ajustada a las mallas utilizadas en el presente manual. Para verificación de otros tamaños, referirse a la norma ASTM E11

A.2. Ejemplo de muestreo, Equivalente de Arena - Método A

A.2.1 Como lo indica el método de prueba, la masa requerida para evaluar una muestra (1 probeta) se obtiene como el promedio de cuatro muestreos con el medidor cilíndrico. En el caso del ejemplo en la Figura A.2.1, la masa requerida sería de 164 g.

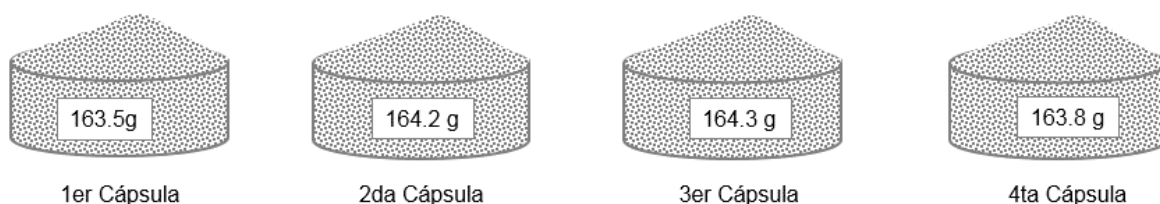


Figura A.2.1 Ejemplo de cálculo de masa para muestra

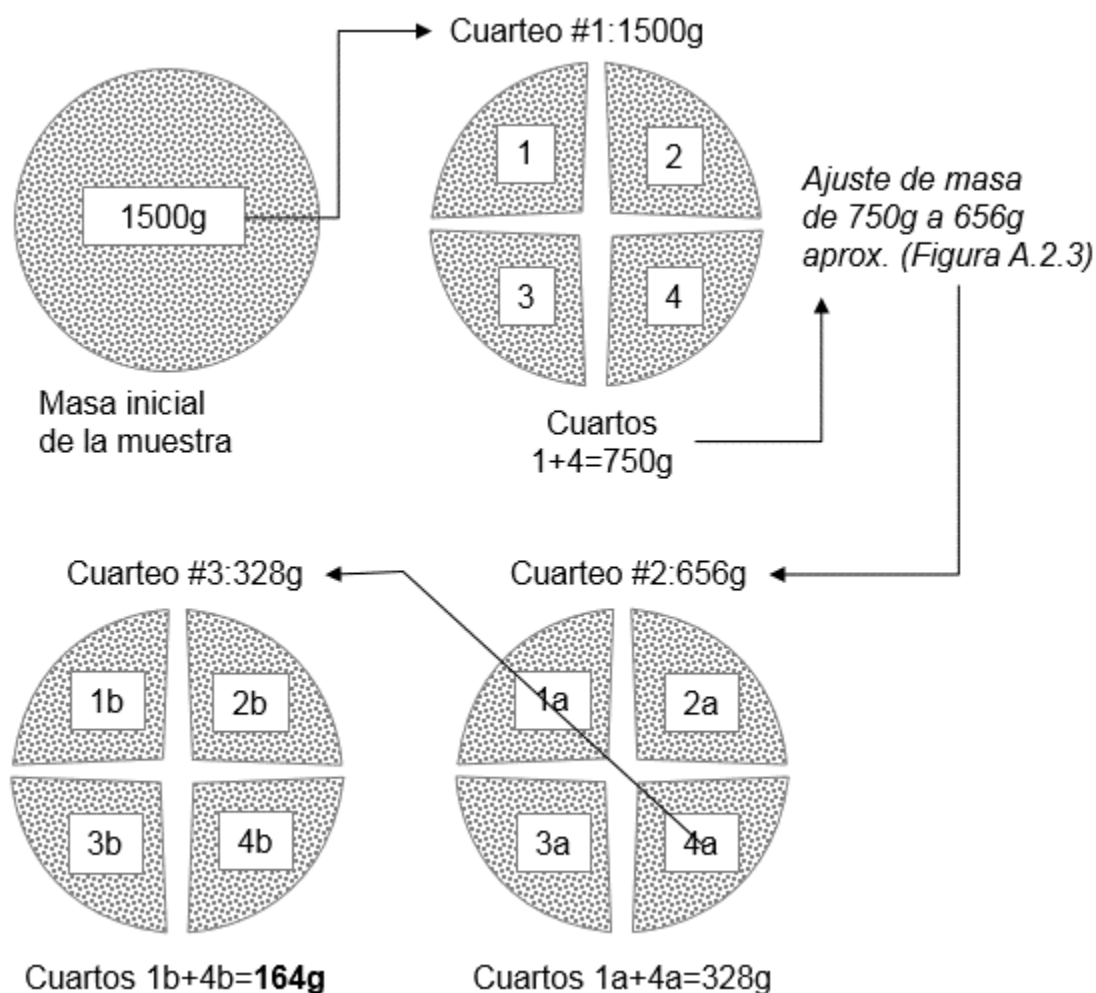


Figura A.2.2 Ejemplo de cuarteo (reducción)

El método A indica que la muestra se debe obtener después de 2 cuarteos sucesivos sin ajuste. En la Figura A.2.2 se puede observar un ejemplo de cuarteo

donde se obtiene la masa de 164 g (aproximadamente) después de dos cuarteos sucesivos.

El ajuste de masa requerido para continuar al Cuarteo #2 se puede realizar como se ejemplifica en la Figura A.2.3. En el caso que se vaya a evaluar más de 1 probeta por ensayo, las muestras adicionales de 164 g se pueden obtener de los cuarteos 2b+3b y un cuarteo sucesivo del material 2a+3a.

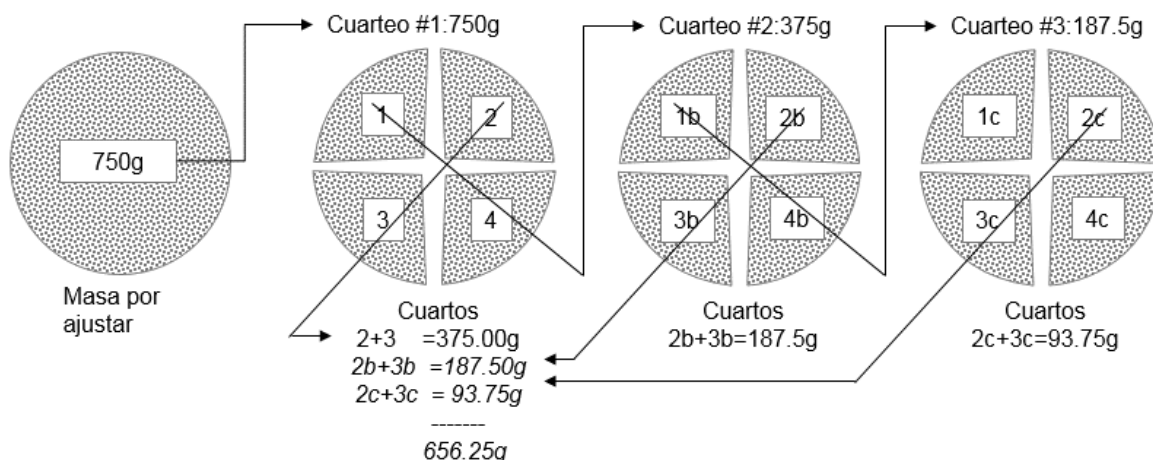


Figura A.2.3 Ejemplo de ajuste de masa

Es importante destacar que los cuarteos no son exactos, por lo que las figuras presentadas son únicamente un indicativo de cómo debe realizarse el proceso.

A.3. Repetibilidad y Reproducibilidad (r&R)

La mayoría de los métodos de ensayo presentan un apartado sobre precisión, en el cual se identifica la desviación estándar del ensayo realizado por un operador y la desviación estándar multilaboratorio.

La desviación estándar (1S) de un operador se refiere a la desviación del método de prueba cuando es realizado por el mismo operador, en el mismo equipo y bajo condiciones similares. La desviación estándar multilaboratorio es la desviación del método de prueba cuando alguno de los factores ha cambiado, pudiendo ser cambio de operador, equipo, lugar, etc. La repetibilidad hace referencia a la desviación estándar de un operador, mientras que la reproducibilidad hace referencia a la desviación estándar multilaboratorio.

Existe otro parámetro conocido como la diferencia entre dos resultados (D2S) el cual se obtiene de la siguiente manera: $D2S = 1S(1.96\sqrt{2}) \approx 1S * 2.8$. En algunos casos cuando el ensayo no indica directamente el valor D2S, este se puede obtener como se indicó anteriormente, siendo un parámetro rápido para determinar si un ensayo cumple con la repetibilidad o reproducibilidad del mismo.

En algunos métodos de prueba, la desviación estándar de los resultados varía dependiendo del resultado. Esto da lugar a que se indique la desviación estándar en términos del coeficiente de variación (1S%). Cuando se observe dicho caso, se deberá calcular el valor de la desviación estándar o diferencia entre dos resultados como el producto del coeficiente de variación por la media de los resultados a evaluar ($1S = 1S\% \cdot \bar{x}$), ($D2S = D2S\% \cdot \bar{x}$). En los criterios r&R de cada método de prueba del presente documento, se indica cuando los valores están dados en términos del coeficiente de variación (CV).

Ejemplo: Verificación de la repetibilidad de la degradación en la Máquina de Los Angeles

Resultado 1 = 18.3 % Resultado 2 = 20.4 %

Diferencia entre dos resultados del ensayo = $|18.3\% - 20.4\%| = 2.1\%$

Media de los dos resultados del ensayo = $\frac{18.3\% + 20.4\%}{2} = 19.35\%$

Diferencia permitida entre dos resultados: $D2S = (0.057 \cdot 19.35\%) = 1.103\%$

Verificación: $2.1\% > 1.103\%$, por lo tanto, los resultados no cumplen con el criterio de repetibilidad.

A.4. Balanzas recomendadas

Los ensayos para agregados implican el uso de balanzas con distintas resoluciones y capacidades. Por lo anterior, realizando una compilación de la resolución mínima especificada por cada método de prueba, así como el rango de masas requerido, se recomienda que un laboratorio adquiera por lo menos dos balanzas para la evaluación de los ensayos de agregados para mezclas asfálticas, contenidos en este manual.

A.4.1 Balanza con capacidad mínima de 16,000 g y resolución de 0.1 g.

Esta balanza se utilizaría en la mayoría de los ensayos, cubriendo las necesidades mínimas de cada uno de ellos: granulometría de finos y gruesos, densidad del fino, equivalente de arena, y contenido de vacíos no compactados del fino, densidad del grueso, desgaste de Los Ángeles, desgaste Micro-Deval, intemperismo acelerado de finos y gruesos, partículas planas y alargadas, partículas fracturadas, y ebullición. Se recomienda entonces, la calibración de la balanza en todos los puntos o masas en los que se utilizará en los ensayos. Siendo estos principalmente 29 puntos: 17, 44, 57, 72, 190, 100, 200, 250, 300, 330, 375, 500, 670, 700, 750, 1000, 1250, 1500, 2000, 2500, 3000, 3300, 4000, 4584, 5000, 6000, 7500, 10 000, y 15 000 g.

Es importante destacar que una balanza con estas características cumple con los requerimientos para realizar también los ensayos recomendados en el Protocolo de Diseño AMAAC PA-MA-01/2013 para mezclas asfálticas hasta nivel II.

A.4.2 Balanza con capacidad mínima de 500 g y resolución de 0.01 g.

Esta balanza se utilizaría únicamente para el ensayo de azul de metileno, por lo que se recomienda la calibración únicamente en los puntos en los que se utilizará.



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado-Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México
CP 76703
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>

Esta publicación fue desarrollada en el marco de un sistema de gestión de calidad
certificada bajo la norma ISO 9001:2015