



COMPARACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS

Aldo Zayd Salazar Rivera¹, Horacio Delgado Alamilla², José Eduardo García Servín³

¹ Terminal de Almacenamiento y Distribución de Asfalto, Guanajuato, México, aldo.salazar@tada.com.mx

² Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, hdelgado@imt.mx

³ Terminal de Almacenamiento y Distribución de Asfalto, Guanajuato, México, eduardo.garcia@tada.com.mx

Resumen

La forma de la partícula es un parámetro que influye las propiedades de desempeño en una mezcla asfáltica, por lo cual se busca contar con partículas que presenten formas equidimensionales y evitar en su mayoría partículas planas y alargadas debido a que pudieran presentar una tendencia a fracturarse durante la construcción de la estructura de un pavimento. Por lo cual, es importante contar con un porcentaje bajo durante la evaluación de los materiales pétreos en este tipo de ensayos. Actualmente la normativa de la SICT utiliza un calibrador proporcional en donde la relación es variable y la longitud máxima de la partícula está limitada a una dimensión máxima. Por lo que se considera que el uso de este tipo de calibrador no es el más adecuado para la evaluación de las partículas alargadas. En la presente investigación se realizaron ensayos bajo distintas condiciones y relaciones que permite el equipo calibrador proporcional de la ASTM. Este dispositivo 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 mantienen una relación constante. La posición del eje se puede ajustar para proporcionar la relación deseada, siendo las dimensiones de apertura 2:1, 3:1 y 5:1. Como resultado se encontró que se puede hacer una propuesta de modificación en la normativa mexicana para evaluar las partículas planas, partículas alargadas y particular planas y alargadas haciendo uso del calibrador de la ASTM con una relación 2:1, de tal manera que se encuentren resultados más confiables y contundentes de dicha característica en los pétreos.

Palabras Clave: Partículas Planas, Partículas Alargadas, Partículas Planas y Alargadas.

1 Introducción

En la actualidad se están presentando continuos incumplimientos en los resultados de laboratorio del ensayo de partículas alargadas y lajeadas. Por lo tanto, es de suma importancia realizar un análisis a los procedimientos de prueba y especificaciones de la normativa vigente en nuestro país para determinar si es necesario actualizar o proponer una modificación al criterio de evaluación.

Una de las soluciones más factibles para resolver esta problemática es realizar cambios directamente en el banco de suministro registrando modificaciones al proceso de trituración, sin embargo, esta actividad presenta un costo elevado y no siempre las empresas dedicadas a este giro cuentan con la maquinaria y equipos necesarios para desarrollar los ajustes pertinentes.

Por lo anterior, se considera de suma importancia revisar cada uno de los procedimientos y especificaciones que rigen la normativa mexicana de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT) M·MMP·4·04·005/08 y M·MMP·4·01·016/20, además de la normativa de la American Society for Testing and Materials (ASTM) en su sección D 4791-10, aplicable para la construcción de capas de base hidráulica, base negra y carpetas asfálticas.

El objetivo de esta investigación es desarrollar una comparativa de las especificaciones, equipos de prueba y procedimientos de cálculo para definir una adecuada evaluación de los agregados pétreos y de esta manera determinar si es factible su uso para la construcción de vías terrestres.



2 Procedimientos y especificaciones

En la normativa actual mexicana se exige la evaluación de 3 procedimientos para determinar la forma de la partícula, es decir, si el agregado pétreo cuenta con un número mayor de partículas alargadas, partículas planas o lajeadas y partículas alargadas y planas. Debemos recordar que estas evaluaciones se realizan conforme a la capa de la estructura del pavimento. Si el agregado pétreo se utilizara para capas de base y subbase se hace referencia al método de prueba M·MMP·4·01·016/20 “*Partículas Alargadas y Lajeadas*”, si el material pétreo será utilizado en la carpeta asfáltica haremos referencia al método de prueba M·MMP·4·04·005/08 “*Partículas Alargadas y Lajeadas de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*” y ASTM D4791-10 “*Partículas Planas, Partículas Alargadas y Partículas Planas y Alargadas*”. La Tabla 1 hace referencia a los métodos especificados y su uso para las capas del pavimento.

El método ASTM D4791-10 involucra la determinación del porcentaje de partículas planas y alargadas por dos métodos: *Método A* y *Método B*. Para este proyecto se abarcaron los dos métodos para evaluar las diferencias que se perciben con el calibrador utilizado en la metodología de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT). A continuación se explican a detalle cada uno de los procedimientos descritos.

Tabla 1. Métodos de prueba especificados en la normativa mexicana

Ensayo	Uso	Método de prueba	Especificación
Partículas alargadas y lajeadas	Carpeta Asfáltica	M·MMP·4·04·005/08	N·CMT·4·04/17
Partículas planas y alargadas Método A. Relación 3:1	Carpeta Asfáltica	ASTM D4791-10	PA-MA 02/2008*
Partículas planas y alargadas Método B. Relación 5:1	Carpeta Asfáltica	ASTM D4791-10	PA-MA 01/2013
Partículas alargadas y lajeadas	Base Hidráulica	M·MMP·4·01·016/20	N·CMT·4·02·002/22

* A partir de la actualización del PA-MA 01/2013 se utilizó el método B con relación 5:1

2.1 Determinación de partículas alargadas y lajeadas M·MMP·4·04·005/08

El ensayo de partículas alargadas y lajeadas determina el porcentaje de partículas con forma alargada y lajeada presentes en los agregados gruesos utilizando un calibrador de espesor y longitud. La Figura 1 presenta la imagen del calibrador para partículas alargadas y calibrador para partículas lajeadas.

Para la ejecución del ensayo se toma una muestra representativa de al menos 200 partículas y se registra su masa inicial. Para las partículas con forma alargada se verifica que cada pieza pase por la ranura correspondiente del calibrador de longitudes, buscando la posición tal que su dimensión sea paralela al eje del calibrador. Se reúnen todas las partículas que no hayan pasado por el calibrador de longitudes y se determina su masa.

Para las partículas con forma aplanada se verifica que cada pieza pase por la ranura correspondiente del calibrador de espesores, buscando la posición más adecuada. Se reúnen todas las partículas que hayan pasado por el calibrador de espesores y se determina su masa.

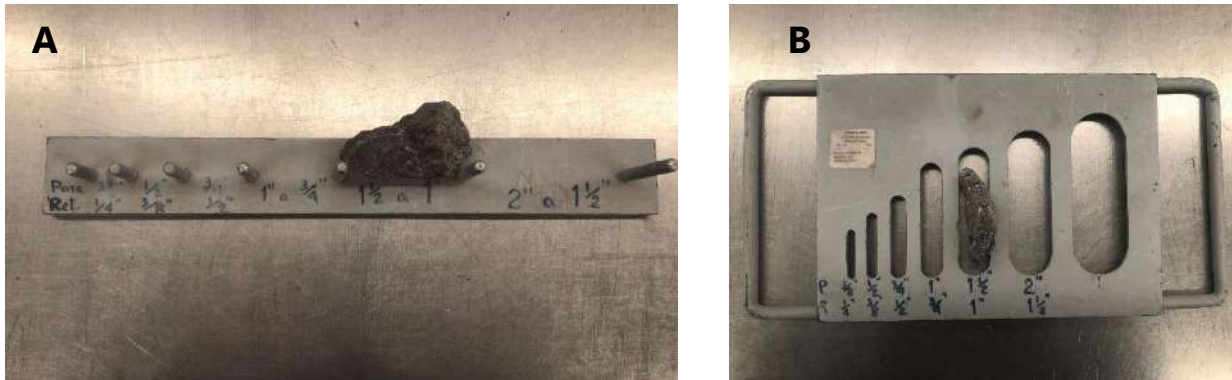


Figura 1. A) Calibrador de longitudes, B) Calibrador de espesores

2.2 Partículas Planas y Partículas Alargadas. Método A. ASTM D4791-10

El ensayo de partículas planas y alargadas determina el porcentaje de partículas planas, partículas alargadas, partículas que cumplan con el criterio de ser planas y al mismo tiempo de ser alargadas y partículas que no son ni planas ni alargadas.

Se ensaya cada una de las partículas de cada una de las fracciones y se colocan en uno de los cuatro grupos. A cada partícula se le realiza el ensayo de partícula plana y de partícula alargada.

Para que una partícula sea plana. Se coloca la abertura más grande igual al ancho máximo de la partícula. La partícula es plana si el espesor puede pasar a través de la abertura más pequeña.

Para que una partícula sea alargada. Se coloca la abertura más grande igual al largo máximo de la partícula. La partícula es alargada si el ancho puede pasar a través de la abertura más pequeña.

- Si la partícula se determina que es plana pero no alargada, la partícula se coloca en el grupo de las “planas”.
- Si se determina que la partícula no es plana pero es alargada se coloca en el grupo de “alargadas”.
- En algunos casos puede ser posible que la partícula cumpla ambos criterios, que sea una partícula plana y también alargada. En este caso la partícula se coloca en el grupo de “partículas que cumplan con el criterio de ser planas y al mismo tiempo de ser alargadas”.
- Si la partícula no es plana ni alargada, se coloca en el grupo de “ni planas ni alargadas”.

2.3 Partículas Planas y Alargadas. Método B. ASTM D4791-10

El ensayo de partículas planas y alargadas determina el porcentaje de partículas planas y alargadas.

Se ensaya cada una de las partículas de cada una de las fracciones y se colocan en uno de los dos grupos. Partículas planas y alargadas, y partículas que no son ni planas ni alargadas. A cada partícula se le realiza el ensayo de partícula plana y alargada.

Se coloca la abertura más grande igual a la longitud máxima de la partícula. La partícula es plana y alargada si el espesor puede pasar a través de la abertura más pequeña del calibrador.

- Si la partícula se determina que es plana y alargada, la partícula se coloca en el grupo de las “planas y alargadas”.
- Si la partícula no es plana ni alargada, se coloca en el grupo de “ni planas ni alargadas”.

La Figura 2 presenta el calibrador para partículas planas, partículas alargadas y partículas planas y alargadas para los 2 métodos especificados en el método de prueba ASTM D4791.

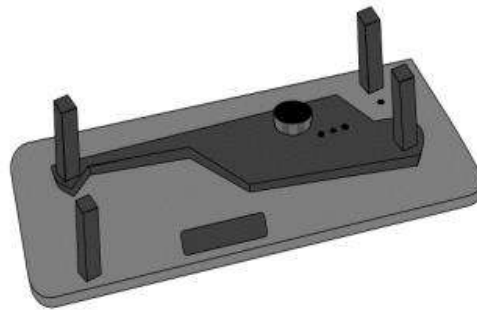


Figura 2 Calibrador proporcional para partículas planas y alargadas

2.2 Comparación de especificaciones

2.2.1 Equipo

Respecto al análisis del equipo utilizado para la normativa mexicana y normativa americana existen diferencias significativas entre los calibradores utilizados. El dispositivo calibrador proporcional que se especifica en la normativa ASTM, 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. La posición del eje se puede ajustar para proporcionar la relación deseada de dimensiones de apertura como 2:1, 3:1 y 5:1. Estas relaciones de aberturas se pueden utilizar para cualquiera de los dos métodos establecidos, sin embargo, no todas las relaciones se encuentran especificadas de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2. Valor de aceptación para las partículas planas, partículas alargadas y partículas planas y alargadas

Ensayo	Uso	Especificación	Valor
Partículas alargadas y lajeadas	Carpeta Asfáltica	N-CMT-4-04-04/17	35% máximo
Partículas planas y alargadas Método A. Relación 3:1	Carpeta Asfáltica	PA-MA 02/2008*	10% máximo
Partículas planas y alargadas Método B. Relación 5:1	Carpeta Asfáltica	PA-MA 01/2013	10% máximo
Partículas alargadas y lajeadas	Base Hidráulica	N-CMT-4-02-002/22	35% máximo

Para el caso del calibrador de partículas alargadas especificado en la normativa SICT, este equipo consta de postes fijos que limitan a las partículas a cumplir con una longitud máxima. Estas aberturas que presenta el calibrador de partículas alargadas definen una relación que va desde 1.5 a 2.2 para cada una de las dimensiones establecidas en el ensayo como lo muestra la Figura 3 y Tabla 3.

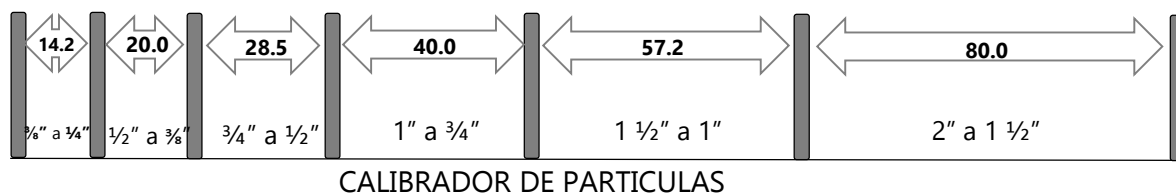


Figura 3. Dimensiones del calibrador proporcional de partículas alargadas



Tabla 3. Relación de aberturas del calibrador de partículas alargadas

Calibrador		Abertura Calibrador		Relación		
Inicial		Final		[mm]	Inicial	Final
Malla	Abertura [mm]	Malla	Abertura [mm]			
2 in	50.8	1 ½ in	38.1	80.00	1.6	2.1
1 ½ in	38.1	1 in	25.4	57.20	1.5	2.3
1 in	25.4	¾ in	19.0	40.00	1.6	2.1
¾ in	19.0	½ in	12.5	28.50	1.5	2.3
½ in	12.5	⅜ in	9.5	20.00	1.6	2.1
⅜ in	9.5	¼ in	6.3	14.20	1.5	2.3
Relación Promedio					1.5	2.2

Para este tipo de ensayo la relación del calibrador proporcional debería ser fija y la longitud máxima de la partícula no debería estar limitada a una dimensión máxima. Por cual el uso de este tipo de calibrador no es el más adecuado para la evaluación de las partículas alargadas, ya que la evaluación se realiza a relaciones variables.

3 Evaluación

Se evaluó un material pétreo con un tamaño nominal de 50.8 mm. Se caracterizó el agregado para conocer el porcentaje de partículas planas, porcentaje de partículas alargadas y porcentaje de partículas planas y alargadas con la normativa de la ASTM y SICT. Como primera evaluación se realizó el ensayo de Análisis Granulométrico para conocer la distribución de tamaños en el material. La Figura 4 y Tabla 4 presentan los resultados obtenidos de la curva granulométrica.

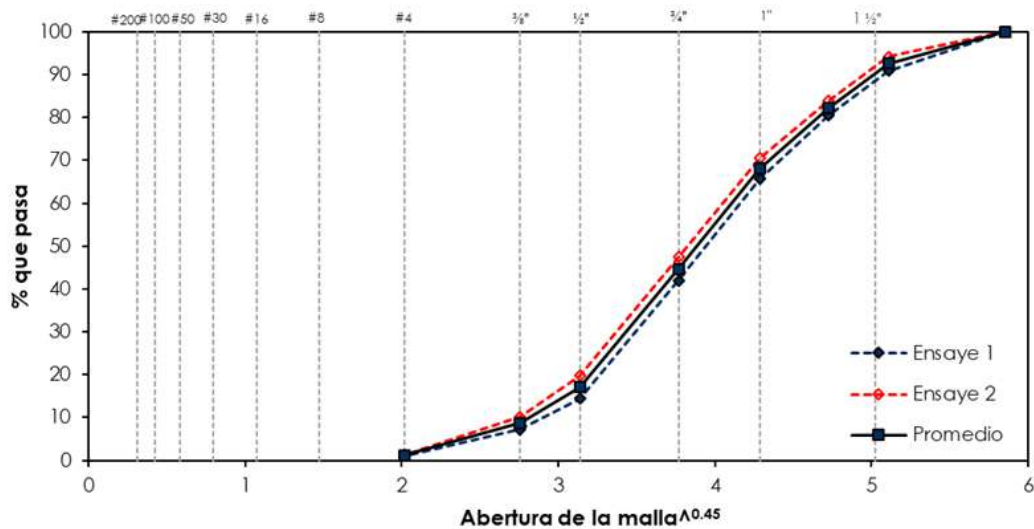


Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso



Tabla 4. Análisis granulométrico del agregado grueso

Masa inicial de la muestra [g]		Ensayo 1			Ensayo 2			Promedio
		21279.6			20359.5			
No. Malla	Abertura [mm]	Masa Retenida [g]	Retenido parcial [%]	% que pasa [%]	Masa Retenida [g]	Retenido parcial [%]	% que pasa [%]	% que pasa [%]
2 in	50.8	0	0	100	0	0	100	100
1 ½ in	37.5	1921.1	9.0	91	1193.4	5.9	94	93
1 ¼ in	31.5	2240.2	10.5	80	2089.0	10.3	84	82
1 in	25.4	3145.7	14.8	66	2712.2	13.3	71	68
¾ in	19.05	5043.5	23.7	42	4706.3	23.1	47	45
½ in	12.7	5847.3	27.5	14	5631.7	27.7	20	17
⅜ in	9.52	1539.3	7.2	7	1946.1	9.6	10	9
No. 4	4.75	1304.5	6.1	1	1821.5	8.9	1	1
No.8	2.36	237.8	1.1		256.5	1.3		

3.1 Evaluación SICT

Para la evaluación del material pétreo se utilizó el método de prueba M·MMP·4·01·016/20 “Partículas alargadas y lajeadas”, M·MMP·4·04·005/08 “Partículas alargadas y lajeadas de materiales pétreos para mezclas asfálticas” en la normativa de la SICT y ASTM D4791-10 “Partículas planas, partículas alargadas y partículas planas y alargadas en el agregado grueso”. La Tabla 5 y Tabla 6 presentan los resultados del ensayo de partículas alargadas y partículas lajeadas de acuerdo a los procedimientos M·MMP·4·01·016/20 y M·MMP·4·04·005/08.

Tabla 5. Resultados del ensayo No. 1 de partículas alargadas

Resultados		Réplica #1						
(A) Masa inicial de la muestra [g]		3120.9						
Tamiz [mm]		37.5	31.5	25.4	19.0	12.5	9.5	6.3
(B) Masa total de cada fracción [g]		114.9	299.3	371.2	922.5	947.7	285.1	180.2
(C) Retenido parcial [%]		3.7	9.6	11.9	29.6	30.4	9.1	5.8
Masas individuales [g]	(D) Alargadas	0	117.7	0	512.9	357.3	99.9	103.2
	(E) No Alargadas	114.9	181.6	371.2	409.6	590.4	185.2	77
Σ de retenido parcial (Total C) [100]		100.0						
Σ de alargadas (Total D) [g]		1191.0						
Partículas alargadas (Total D/Total A) [%]		38%						



Tabla 6. Resultados del ensayo No. 1 de partículas lajeadas

Resultados		Réplica #1						
(A) Masa inicial de la muestra [g]		3120.9						
Tamiz [mm]		37.5	31.5	25.4	19.0	12.5	9.5	6.3
(B) Masa total de cada fracción [g]		114.9	299.3	371.2	922.5	947.7	285.1	180.2
(C) Retenido parcial [%]		3.7	9.6	11.9	29.6	30.4	9.1	5.8
Masas individuales [g]	(D) Lajeadas	0	47.6	65.2	97.7	132.4	55.5	47.3
	(E) No Lajeadas	114.9	251.7	306	824.8	815.3	229.6	132.9
∑ de retenido parcial (Total C) [100]		100.0						
∑ de alargadas (Total D) [g]		445.7						
Partículas lajeadas (Total D/Total A) [%]		14%						

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 5 se obtuvo un valor de 38% para partículas alargadas el cual no cumple con los valores de la especificación que se estipula en la especificación N·CMT·4·04·04/17 y N·CMT·4·02·002/22 ya que establece un valor máximo de 35%. Para el caso de los resultados obtenidos en la Tabla 6 para las partículas lajeadas, este resultado si cumple con los valores de la especificación al obtener un 14%. Los resultados del ensayo No.2 para partículas alargadas se obtuvo un valor de 36% el cual no cumple con la especificación y para el caso de las partículas lajeadas se obtuvo un valor de 18%.

De acuerdo a los resultados mostrados en el ensayo, el procedimiento indica que si no existe una variación igual al 20% mayor entre una muestra y otra, se considere el valor mayor que resulte, para este caso el porcentaje de partículas alargadas es de 38%, y el porcentaje de partículas lajeadas es de 18% sin embargo, el valor especificado de aceptación o rechazo para partículas alargadas no cumple al obtener un valor de 38%.

Adicionalmente, se realizaron ensayos siguiendo la Norma ASTM en el cual se utiliza un calibrador proporcional que fija la relación del ensayo y no limita una longitud máxima de la partícula. Se utilizó el método A, con una relación 3:1 y 2:1, también se realizaron ensayos utilizando la relación 5:1 con el método B del mismo método de prueba.

3.2 Evaluación ASTM –Método A Relación 3:1

Para desarrollar la evaluación del material pétreo se utilizó el método de prueba ASTM D4791-10 “Partículas Alargadas, Partículas Planas y Partículas Planas y Alargadas”, utilizando el método A establecido en dicho estándar. La Tabla 7 presenta los resultados con una relación 3:1. El realizar este ensayo es debido a que esta relación corresponde a la metodología SUPERPAVE.



Tabla 7. Resultados del ensaye con una relación 3:1 con el Método A

Resultados		Réplica #1						
(A) Masa inicial de la muestra [g]		22152.7						
Tamiz [mm]		37.5	31.5	25	19	12.5	9.5	4.75
(B) Masa total de cada fracción [g]		1533.9	2599.6	3109.1	5326	6364.4	1929.1	1290.6
(C) Retenido parcial [%]		6.9	11.7	14.0	24.0	28.7	8.7	5.8
(D) Masa a ensayar de cada fracción [g] (si aplica reducción)		-	2599.6	3109.1	2651.5	779.1	229.8	-
Masas individuales [g]	(E) Planas		209.4	114.4	42.4	34.1	24	
	(F) Alargadas		0	0	0	6.3	3.4	
	(G) Planas y Alargadas		0	0	0	0	0	
	(H) Ni planas, ni alargadas		2390.2	2994.7	2609.1	751.3	209.2	
Planas y alargadas por tamiz [%]	(I) Planas $((E/D)*100)*C$		0.9	0.5	0.4	1.3	0.9	
	(J) Alargadas $((F/D)*100)*C$		0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	
	(K) Planas y Alargadas $((G/D)*100)*C$		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
(L) Σ de retenido parcial [%]		87.2						
(M) Σ de planas [%]		4.0						
(N) Σ de alargadas [%]		0.4						
(O) Σ de planas y alargadas [%]		0.0						
Partículas Planas (M/L) [%]		5%						
Partículas Alargadas (N/L) [%]		0%						
Partículas Planas y Alargadas (O/L) [%]		0%						

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 7 el porcentaje de partículas planas es de 5%, el porcentaje de partículas alargadas es de 0%, y el porcentaje de partículas planas y alargadas es de 0%, por lo cual el porcentaje final de partículas planas y alargadas es de 5%. Por lo cual el material cumple con los requisitos de calidad pavimentos asfálticos debido a que la Norma N.CMT.4.02.002/16 establece un valor de 35% y también de acuerdo a los valores establecidos en la especificación PA-MA 02/2008 para mezclas asfálticas, el cual establece un valor de 15% máximo.

3.3 Evaluación ASTM –Método B

En este apartado se realizaron ensayes con una relación 5:1, debido a que esta relación y método corresponden a las especificaciones de diseño de SUPERPAVE.

En la Tabla 8 se presentan los resultados del ensaye de partículas planas y alargadas del Método B con una relación 5:1.



Tabla 8 Resultados del ensaye con una relación 5:1 con el Método B

Resultados		Réplica #1						
(A) Masa inicial de la muestra [g]		21338.3						
Tamiz [mm]		37.5	31.5	25	19	12.5	9.5	4.75
(B) Masa total de cada fracción [g]		1077.7	2014.5	3266	5410.2	6544.8	1819.8	1205.3
(C) Retenido parcial [%]		5.1	9.4	15.3	25.4	30.7	8.5	5.6
(D) Masa a ensayar de cada fracción [g]		-	2014.5	3266	5410.2	3062.9	907.1	-
(si aplica reducción)								
Masas individuales [g]	(E) Planas y alargadas	0	151.3	112.8	109	59.7		
	(F) Ni planas, ni alargadas	2014.5	3114.7	5297.4	2953.9	847.4		
Planas y alargadas por tamiz [%]	(G) = (E/D)*100	0.00	4.63	2.08	3.56	6.58		
	(H) = G*C / 100	0	0.7	0.5	1.1	0.6		
Σ de retenido parcial (Total C) [%]		89.3						
Σ de planas y alargadas (Total H) [%]		2.9						
Partículas planas y alargadas (Total H/Total C) [%]		3.2%						

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 8 el porcentaje de partículas planas y alargadas es de 3.2%. Por lo cual el material cumple con los requisitos de calidad para bases de pavimentos asfálticos debido a que la especificación PA-MA 01/2013 establece un valor de 10% máximo.

De estas evaluaciones se observó que el material no cumple cuando es evaluado bajo la normativa M·MMP·4·04·005/08. Sin embargo, bajo los dos criterios y relaciones establecidas para la norma ASTM el material presenta un buen desempeño. Estas diferencias pueden deberse a dos parámetros, el primero puede ser la relación utilizada, siendo 2:1 para la normativa de la SICT, la cual es más estricta que las dos relaciones utilizadas en la norma ASTM. La segunda razón es el tipo de calibrador, y que las diferencias encontradas se deben a que el calibrador utilizado en la normativa de la SICT evalúa el material pétreo con relaciones variables.

3.4 Evaluación ASTM –Método A Relación 2:1

Se analizó el material utilizando el método A de la norma ASTM 4791-10 con una relación 2:1. Se utilizó esta reacción para identificar si las diferencias entre las metodologías se deben a la relación utilizada en la evaluación y poder comparar resultados utilizando una misma relación pero utilizando un calibrador diferente. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 9 donde se obtuvo un valor de porcentaje de partículas planas de 23%, el porcentaje de partículas alargadas es de 0%, y el porcentaje de partículas planas y alargadas es de 0%, por lo cual el porcentaje final de partículas planas y alargadas es de 5%. Por lo cual el material cumple con los requisitos de calidad para pavimentos asfálticos debido a que la Norma N.CMT.4.02.002/16 establece un valor de 35% máximo y también de acuerdo a los valores establecidos en la especificación PA-MA 02/2008 para mezclas asfálticas, el cual establece un valor de 15% máximo.



Tabla 9 Resultados del ensayo con una relación 3:1 con el Método A

Resultados		Réplica #1						
(A) Masa inicial de la muestra [g]		22152.7						
Tamiz [mm]		37.5	31.5	25	19	12.5	9.5	4.75
(B) Masa total de cada fracción [g]		1533.9	2599.6	3109.1	5326	6364.4	1929.1	1290.6
(C) Retenido parcial [%]		6.9	11.7	14.0	24.0	28.7	8.7	5.8
(D) Masa a ensayar de cada fracción [g] (si aplica reducción)		-	2599.6	3109.1	2651.5	779.1	229.8	-
Masas individuales [g]	(E) Planas		417.5	1043	484.4	176.9	70.2	
	(F) Alargadas		101	0	166.6	39.2	29.8	
	(G) Planas y Alargadas		69.4	0	0	11.6	0	
	(H) Ni planas, ni alargadas		2352.5	2066.1	2333.7	653	189.4	
Planas y alargadas por tamiz [%]	(I) Planas $\left(\frac{E}{D} \cdot 100\right) \cdot C$		1.9	4.7	4.4	6.5	2.7	
	(J) Alargadas $\left(\frac{F}{D} \cdot 100\right) \cdot C$		0.5	0.0	1.5	1.4	1.1	
	(K) Planas y Alargadas $\left(\frac{G}{D} \cdot 100\right) \cdot C$		0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	
(L) Σ de retenido parcial [%]		87.2						
(M) Σ de planas [%]		20.2						
(N) Σ de alargadas [%]		4.5						
(O) Σ de planas y alargadas [%]		0.7						
Partículas Planas (M/L) [%]		23%						
Partículas Alargadas (N/L) [%]		5%						
Partículas Planas y Alargadas (O/L) [%]		1%						

La Tabla 10 presenta el resumen de resultados para la evaluación de la forma de la partícula con las normativas y métodos distintos analizados.

Tabla 10 Resumen de resultados de la forma de la partícula

Ensayo	Valor	Especificación	Norma	Evaluación
Partículas alargadas	38%	35% máx	N.CMT.4.02.002/16	No Cumple
Partículas alargadas	38%	35% máx	N.CMT.4.02.002/16	No Cumple
Partículas planas y alargadas Método A. Relación 3:1	5 %	15% máx	PA-MA 02/2008	Cumple
Partículas planas y alargadas Método A. Relación 2:1	23%	35% máx	N.CMT.4.02.002/16	Cumple
Partículas planas y alargadas Método B. Relación 5:1	4%	10% máx	PA-MA 01/2013	Cumple

Con esta evaluación se descarta que utilizar una relación más estricta (2:1) ocasiona los incumplimientos del material. Dado que se utilizaron procedimientos de evaluación y cálculos similares, por lo cual se concluye que las diferencias se deben al tipo de calibrador. Siendo la influencia de las relaciones variables que se presentan con el calibrador que utiliza la normativa SICT la que ocasiona las diferencias observadas.



4 Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que el material no cumple con los requisitos establecidos en la norma *N-CMT-4-04/17* y *N-CMT-4-02-002/22*, particularmente el ensayo de partículas alargadas, en el cual se obtuvo un porcentaje de 38%, siendo el 35% el porcentaje máximo permitido en el ensayo.

Con el objetivo de hacer un análisis más profundo de las características del material, se realizaron diversos ensayos con diferentes condiciones, de los cuales se observó que el material cumple con los requisitos establecidos en la metodología Superpave para este ensayo. Sin embargo, estas evaluaciones utilizan otra relación y parámetros de evaluación.

Efectuando un procedimiento de ensayo más apegado a las condiciones establecidas en la norma *N-CMT-4-04/17*, se realizó el ensayo con el Método A y relación 2:1 de la norma *ASTM D4791*. Bajo estas condiciones se observó que el material cumple. Las discrepancias con respecto a los resultados se asocian al tipo de calibrador utilizado para hacer la evaluación, ya que el calibrador de la norma *M-MMP-4.04.005/08* y *M-MMP-4-01-016/20*, *tiene aberturas fijas, y dado a que las dimensiones de las partículas de agregado grueso son variables en el rango de evaluación, la relación 2:1 no se mantiene constante, y puede oscilar entre 1.5:1 y 2.2:1. Bajo este criterio el material no tiene problemas de partículas alargadas y lajeadas, por lo cual podría ser utilizado para una base granular.*

Con los resultados obtenidos se puede utilizar un criterio estricto con relación 2:1 pero utilizando el calibrador ASTM debido a que las aberturas del calibrador proporcional deberían ser fijas y la longitud máxima de la partícula no debería ser limitada a una dimensión máxima.

Por cual se considera que el uso de este tipo de calibrador establecido en la norma *N-CMT-4-04/17* no es el más apropiado para realizar la evaluación de las partículas alargadas. Con estos resultados se pretende realizar una propuesta de modificación en la normativa de la SICT para la evaluación de partículas alargadas y planas en materiales pétreos.