

El ensayo Micro Deval. Sus características y ámbitos de aplicación [1,2]

SANDRA X. CAMPAGNOLI MARTÍNEZ

Ingeniera civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Especialista en Mecánica de suelos y cimentaciones de la Universidad Politécnica de Madrid, España. Especialista en Geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia. Directora del Centro de estudios geotécnicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería. scampa@escuelaing.edu.co

CLAUDIA PATRICIA LÓPEZ P.

Estudiante de último semestre de ingeniería civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Estudiante proyecto dirigido sobre el Ensayo Micro Deval. claudi_lo@hotmail.com

Artículo recibido: 15/08/2007
Evaluación par interno: 26/02/2008
Aprobado: 13/03/2008

Resumen

En este documento se presentan los aspectos más relevantes del proceso de implementación del ensayo Micro Deval, contemplado por la Norma ASTM D 6928, "Standard test method for resistance of coarse aggregate to degradation by abrasion in the Micro-Deval apparatus", en los laboratorios de Suelos y Pavimentos del Centro de Estudios Geotécnicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería. En el proceso de implementación se evaluaron las principales características, ventajas y limitaciones del ensayo, los factores que afectan sus resultados, las correlaciones con otros ensayos relacionados con la dureza y con la durabilidad de los agregados, en especial con el ensayo de Desgaste Los Ángeles, y las correlaciones del ensayo con el comportamiento en servicio de los pavimentos, obtenidas en diferentes ambientes por diversos autores. Estos aspectos se tratan en este documento y se dejan para otro documento los resultados encontrados, al aplicar el ensayo Micro Deval, sobre agregados provenientes principalmente de fuentes de la ciudad de Bogotá.

Se concluye en general que el Ensayo Micro Deval tiene gran aceptación, es simple, consume poco tiempo, tiene buena repetibilidad, reproducibilidad y comprobada correlación con el comportamiento en servicio de los agregados, ya se usen para la conformación de capas granulares o para la elaboración de mezclas asfálticas.

Palabras clave: Agregados, pavimentos, resistencia al desgaste, dureza, durabilidad.

Abstract

This report shows the most relevant aspects of the implementation of the Micro Deval test, according to ASTM D 6928, "Standard test method for resistance of coarse aggregate to degradation by abrasion in the Micro-Deval apparatus", at the Escuela Colombiana de Ingeniería Soils and Pavements Laboratory.

During the implementation process the main characteristics, advantages, weaknesses, limiting factors of the test were evaluated, as well as correlations with other tests related to hardness and durability of aggregates, particularly the Los Angeles test and correlations with pavements in-service performance in different environments according to different authors.

It is concluded that the Micro-Deval test is a widely accepted test, simple, no time consuming, has good repeatability, reproducibility and shows good correlation with aggregates in-service performance, either for granular bases or asphalt mixes. As other studies have shown, the Micro-Deval results had no correlation with the Los Angeles and aggregates absorption results.

EL ENSAYO MICRO DEVAL

Los ensayos corrientes para evaluar la dureza de los agregados, como el Desgaste Los Ángeles, el valor de impacto y el valor de trituración, se realizan en condición seca de la muestra. Teniendo en cuenta que la degradación de los materiales puede variar en presencia de agua y que en general los agregados son más susceptibles cuando están húmedos que cuando están secos, en los años sesenta, en Francia, se desarrolló el ensayo Micro Deval con el que se pretende caracterizar

el agregado de acuerdo con el comportamiento que presente en medio húmedo, es decir, en presencia de agua. El ensayo corresponde a una variación del ensayo de rozamiento Deval desarrollado en 1870 y usado principalmente para la caracterización del balasto para vías férreas.

El ensayo Micro Deval fue estandarizado por la Unión Europea y se encuentra contemplado en la Norma UNE EN 1097-1 “Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos.

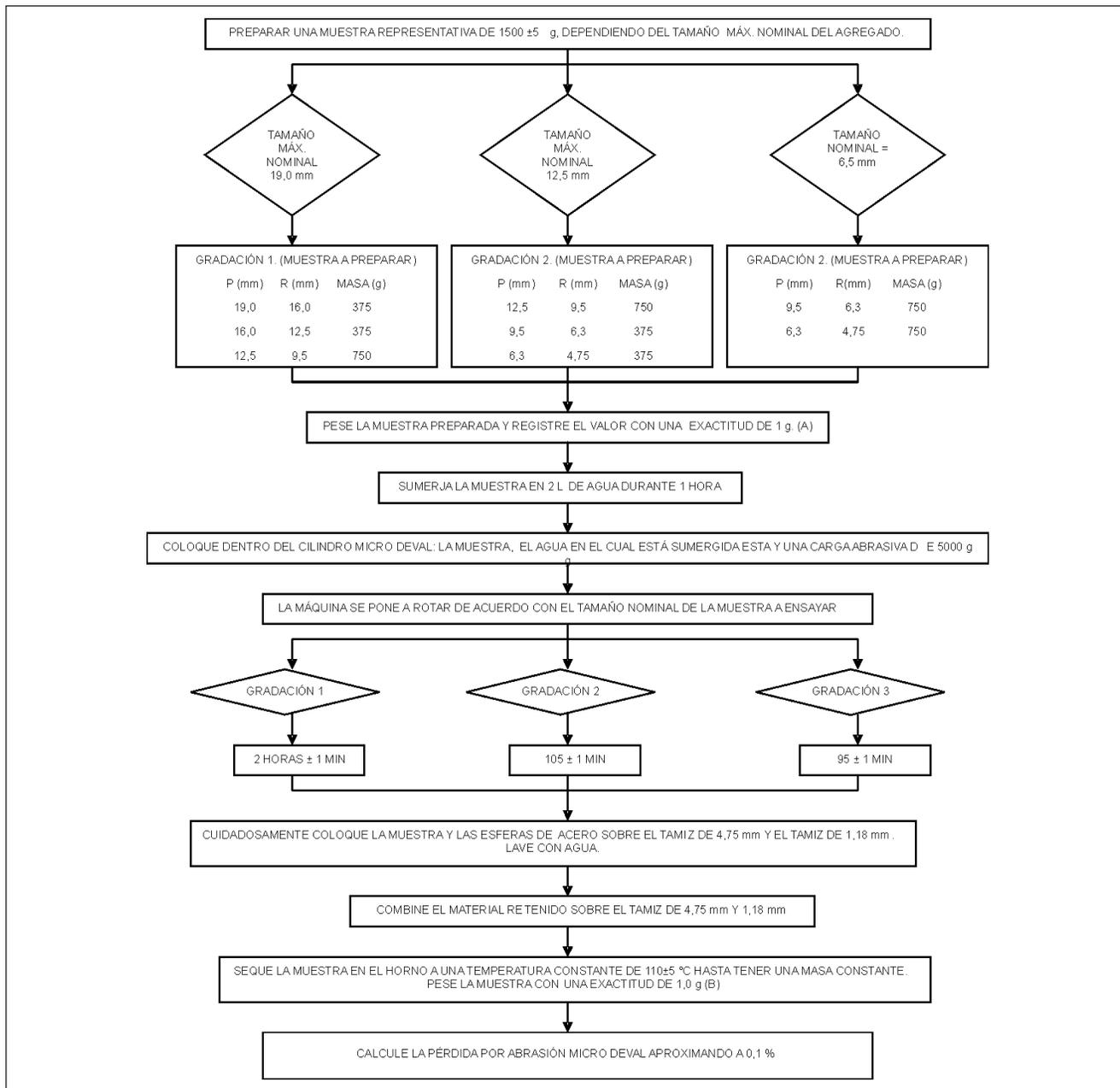


Figura 1. Diagrama de flujo del ensayo Micro Deval de acuerdo con la Norma ASTM D 6928.

Parte 1: Determinación de la resistencia al desgaste (Micro-Deval)”. Su uso en Norteamérica se inició en Canadá, donde fue modificado por el Ministerio de Transportes de Ontario con el propósito de evaluar la calidad tanto del agregado grueso como la del agregado fino y contemplar el ensayo como un complemento y posiblemente un sustituto de las pruebas de Desgaste Los Ángeles y de solidez en Sulfato de Magnesio [3].

En Estados Unidos, el ensayo Micro Deval está contemplado bajo la norma ASTM D 6928-03 “Standard test method for resistance of coarse aggregate to degradation by abrasion in the Micro-Deval apparatus”. Esta norma corresponde a la establecida como estándar de ensayo en las especificaciones IDU ET-2005 y, como se comentará mas adelante, difiere del estándar europeo. De acuerdo con esta norma, el ensayo Micro Deval es una medida de la durabilidad y de la resistencia a la abrasión de los agregados minerales como resultado de la combinación de acciones que incluyen abrasión y desgaste con esferas de acero en presencia de agua.

El procedimiento general del ensayo consiste en tomar una muestra de agregado con una gradación estándar, sumergirla en agua por no menos de una hora y colocarla en el cilindro del aparato Deval junto con 2,0 litros de agua y 5.000 g de una carga abrasiva, consistente en esferas de acero inoxidable de 9,5 mm de diámetro. El cilindro con la muestra, la carga y el agua se pone en rotación a una tasa de 100 rpm por un período no mayor de 2 horas, dependiendo del tamaño de las partículas. Al cabo de este tiempo, la muestra se recupera, se lava sobre el tamiz de 1,18 mm (No. 16) y el material retenido se seca en un horno. La pérdida se define como la cantidad de material que pasa el tamiz de 1,18 mm (No. 16), expresada como porcentaje de la masa de la muestra original.

En la figura 1 se muestra de manera detallada el diagrama de flujo del ensayo siguiendo el procedimiento propuesto en la norma ASTM D 6928-03. Como se aprecia en este diagrama, el procedimiento es relativamente simple y no consume mucho tiempo, por lo que se considera apropiado para especificarse como un ensayo de empleo rutinario en los laboratorios para la evaluación y el control de calidad de los agregados usados para la conformación de capas de estructuras de pavimento.

Según se ha demostrado en varios estudios, entre ellos uno realizado en la Universidad de Texas A&M

sobre 59 muestras de agregados, el ensayo Micro Deval presenta una muy baja variabilidad o, mejor, una alta reproducibilidad. Es decir, se obtienen en esencia resultados iguales cuando se realizan los ensayos en laboratorios diferentes sobre muestras idénticas. Estos resultados se pueden apreciar en la figura 2.

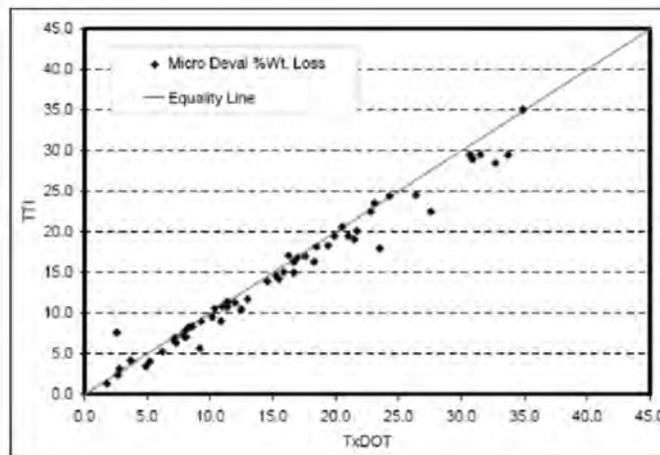


Figura 2. Análisis de la variabilidad del ensayo Micro Deval: resultados expresados como pérdida de peso (Mahmoud [4]).

En este mismo estudio [4] se desarrolló un método experimental para evaluar la resistencia al pulimento, a la abrasión y a la fractura de los agregados, basado en el ensayo Micro Deval y en un sistema de proyección de imagen de agregados (AIMS –Aggregate Imaging System). Se concluyó que el método para medir la degradación de los agregados es capaz de distinguir entre la fractura y la abrasión, definida esta última como la reducción en la angularidad del agregado, mientras que la fractura es equivalente a la rotura de las partículas. El aparato Micro Deval fue usado como mecanismo para el pulimento de los agregados. En la figura 3 se puede apreciar el efecto del ensayo sobre la textura de las partículas.

EL ESTÁNDAR DE ENSAYO AMERICANO Y EL ESTÁNDAR EUROPEO

Como se mencionó en el apartado anterior, el ensayo Micro Deval fue normalizado por la Unión Europea bajo el estándar UNE-EN 1097-1. A primera vista parece que esta normativa es igual al estándar americano

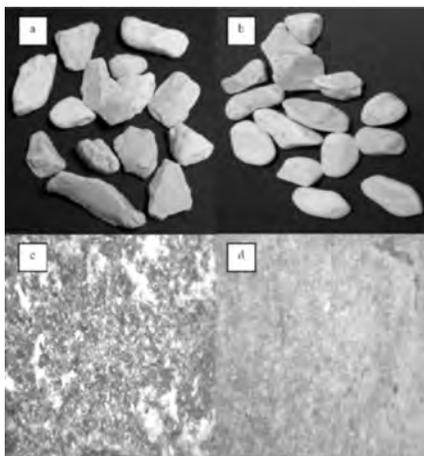


Figura 3. Imágenes de los agregados: a) partículas de agregado antes del Micro Deval, b) partículas de agregado después del Micro Deval, c) textura superficial del agregado antes del Micro Deval, d) textura superficial del agregado después del Micro Deval [4].

definido en la ASTM D 6928-03. Sin embargo, las dos normas presentan diferencias en los equipos y en sus procedimientos, las cuales pueden dar lugar a la obtención de resultados no comparables, así se apliquen sobre un mismo agregado.

Frente a la norma ASTM, el estándar europeo presenta las siguientes diferencias en los equipos y procedimientos:

1. El cilindro de ensayo se especifica de menor altura (154 mm contra 170 a 177 mm).
2. Las esferas usadas como carga abrasiva, aun cuando deben pesar igual en conjunto (5.000 g), tienen mayor diámetro ($10 \pm 0,5$ mm frente a $9,5 \pm 0,5$ mm).
3. Se ensaya solo la fracción de agregado comprendida entre 10 mm y 14 mm (según la Norma ASTM se especifican 3 granulometrías: 19 mm a 9,5 mm, 12,5 mm a 4,8 mm y 9,5 mm a 4,8 mm).
4. Se toman masas de material por separado de 500 \pm 2 g (de acuerdo con la ASTM se toma una sola masa de material de 1500 g).
5. El ensayo se realiza durante 2 horas independientemente de la gradación de la muestra (en la ASTM varía dependiendo de la gradación entre 2 horas y 95 ± 1 min).
6. Mediante tamizado con lavado, se rechaza el material más fino de 1,6 mm; este se considera pérdida

(según la ASTM, se rechaza el material más fino de 1,18 mm).

Este último aspecto es la diferencia más relevante, porque se esperaría que fuera mayor la masa de material ensayado que pase el tamiz de 1,6 mm frente a la que pase el de 1,18 mm. Esto daría lugar a mayores porcentajes de pérdida al seguir el procedimiento de la norma europea. En otras palabras, sobre un mismo material los resultados no serán comparables.

Se considera que las diferencias en los valores del porcentaje de pérdidas, medidos siguiendo estos dos procedimientos, pueden llegar a ser significativas; por tanto, cuando se realicen estudios comparativos del comportamiento de materiales, se recomienda tener especial cuidado al evaluar los resultados del ensayo Micro Deval obtenidos en diferentes ambientes y establecer claramente la norma de ensayo de la cual se derivaron.

Este documento resalta la diferencia entre estos dos procedimientos, ya que se está probando en nuestro medio un nuevo método de ensayo, para el cual se sigue el procedimiento estandarizado en las normas americanas ASTM, cuyos resultados se están especificando. En consecuencia, se sugiere que los valores que se fijen o establezcan como límites de la especificación, mientras no se tengan valores de referencia propios, se basen en la experiencia americana y no en la europea.

MICRO DEVAL Y EL DESGASTE LOS ÁNGELES

Entre los ensayos más usados de manera tradicional para medir la dureza y la resistencia a la abrasión de los agregados se encuentra el Desgaste Los Ángeles. Para tener una idea de su empleo, baste con mencionar que en Estados Unidos el 94% de los estados lo especifican, usando criterios que varían en función de las condiciones de exposición y de la carga. Es claro que las especificaciones son más restrictivas para los materiales que conforman las capas de rodadura que para los usados en capas de base o inferiores [3].

Independientemente de las investigaciones que muestran que el ensayo de Desgaste Los Ángeles es un indicador pobre del comportamiento de los agregados en campo, desde su creación ha sido usado casi que universalmente para evaluar la calidad de los agregados empleados en la construcción.

En cuanto al ensayo Micro Deval, una encuesta realizada durante un estudio llevado a cabo por el International Center for Aggregates Research –ICAR [5], cuyos resultados fueron publicados en 2006, indica que de 35 agencias de transporte de Estados Unidos, solamente 7 usan el ensayo y 4 más lo estaban considerando para uso futuro. Las razones que sustentan esta situación son que muchas agencias no consideran que el ensayo Micro Deval tenga ventajas sobre otros ensayos corrientemente en uso, como el de Desgaste Los Ángeles, o que no han tenido problemas en la cualificación de los agregados o simplemente que no tienen el tiempo o los recursos para investigar el ensayo Micro Deval y establecer los respectivos límites o especificaciones [5].

El ensayo de Desgaste Los Ángeles es una medida de la degradación de los agregados minerales con gradaciones estándar, que resulta de una combinación de acciones que incluyen abrasión, atrición, impacto y molienda en un tambor de acero que rota y contiene un número especificado de esferas de acero. Después de un número especificado de revoluciones, el contenido es retirado del tambor tamizándolo por la malla de 1,70 mm (No. 12) con el propósito de medir la degradación como un porcentaje de pérdida.

Varios investigadores sugieren que el Desgaste Los Ángeles no es un buen indicador de la calidad de los agregados usados en mezclas asfálticas, debido principalmente al tamaño y a la distancia de caída de las esferas de acero usadas como carga abrasiva, que generan elevadas fuerzas de impacto, las cuales en algunos materiales, como los granitos, tienden a producir altas pérdidas, aun cuando estos se comporten típicamente bien en el campo. Lo contrario sucede en materiales blandos de baja calidad, como las pizarras [7].

Estudios realizados por Cooley y otros [8] sobre 72 muestras de agregados con diferentes composiciones mineralógicas, procedentes de 8 estados del sureste de Estados Unidos, concluyen que no hay una relación general entre los resultados de los ensayos Micro Deval y de Desgaste Los Ángeles. Estos resultados se muestran en la figura 4, donde es posible apreciar que a mayores pérdidas en el ensayo de Desgaste Los Ángeles se presentan mayores pérdidas en el Micro Deval. Algunos autores atribuyen esta ausencia de correlación a la diferencia propia en los métodos de ensayo; mientras que en el ensayo Los Ángeles se

producen acciones de impacto y fragmentación sobre los agregados, en el ensayo Micro Deval se produce principalmente abrasión.

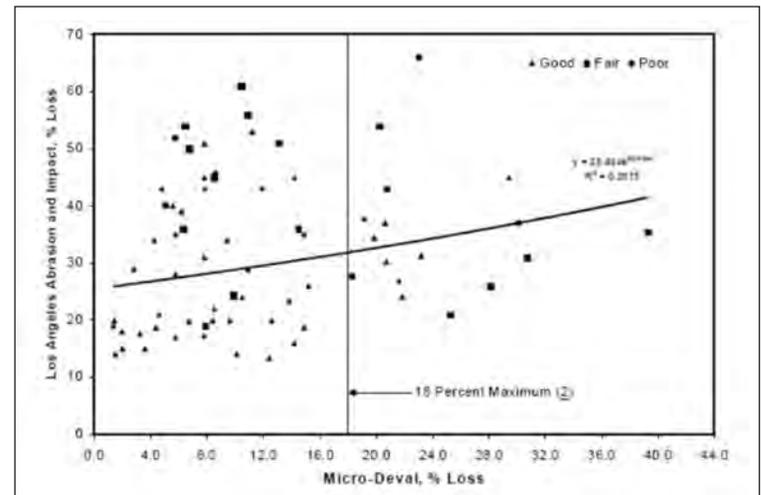


Figura 4. Comparación de los resultados de los ensayos Micro Deval y Desgaste Los Ángeles (8).

Quizás uno de los estudios más completos y más recientes sobre los ensayos Micro Deval, Desgaste Los Ángeles y Solidez en sulfato de sodio realizado con el propósito de evaluar la calidad de los agregados usados en capas de rodadura, fue desarrollado por Cuelho y otros [9] para el Departamento de Transportes del estado de Montana. En este proyecto se revisaron 16 estudios relacionados con la durabilidad de los agregados y se ensayaron 27 materiales diferentes siguiendo los procedimientos establecidos en cada uno de estos 3 métodos de ensayo. Los autores tuvieron en cuenta que cada procedimiento, debido a su misma naturaleza, da lugar a resultados únicos de pérdidas que permiten diferenciar entre agregados durables y no durables. En el estudio se fijaron los siguientes criterios para reconocer los agregados que clasifican como durables:

- Porcentaje de pérdida en el ensayo Micro Deval = 18%.
- Porcentaje de pérdida en el ensayo de Desgaste Los Ángeles = 40%.
- Porcentaje de pérdida en el ensayo de Solidez con sulfato de sodio = 12%.

Para facilitar la comparación directa de los métodos de ensayo, se normalizaron sus resultados dividiendo el valor de porcentaje de pérdida encontrado en el método entre su respectivo criterio. De esta forma, valores normalizados < 1,0 indican que el material clasifica como durable, mientras que si superan la unidad, el material es considerado no durable. En la figura 5 se observa una representación más clara de este análisis. Se aprecia que cuando los datos se encuentran en las zonas de texto gris, la concordancia entre los ensayos es pobre.

Siguiendo esta metodología, en la figura 6 se presentan los resultados encontrados en el estudio de Cuelho, comparando los ensayos Micro Deval y Desgaste Los Ángeles. De manera general, se aprecia una correlación pobre ($R^2 = 0,456$) entre los dos ensayos. Sin embargo, solo un número reducido de muestras (4 de 27) no cumple el criterio del Micro Deval, pero sí cumple el criterio establecido para el Desgaste Los Ángeles, aun cuando para este último se encuentran muy próximos al límite. Igualmente, se puede ver una gran dispersión de los datos, alrededor de una línea a 45° o línea de mejor correlación, en el cuadrante en que ambos ensayos cumplen los criterios. Finalmente, de la observación de esta figura se puede concluir que el ensayo Micro Deval tiende a dar resultados más conservadores que el ensayo de Desgaste Los Ángeles, es decir, se rechazan más materiales, pues clasifican como no durables, usando los criterios establecidos para el Micro Deval.

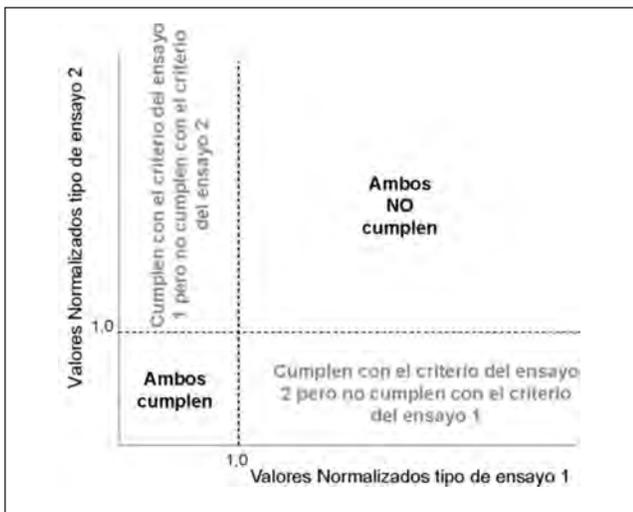


Figura 5. Resultados normalizados para propósitos de análisis comparativos entre ensayos.

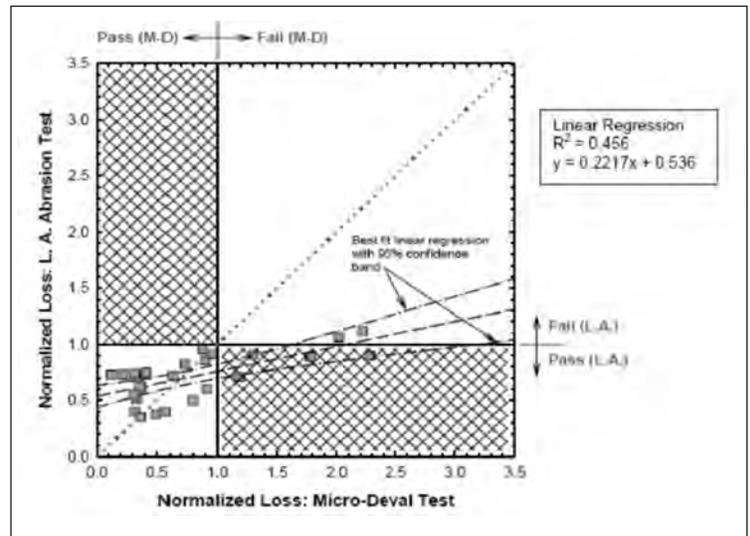


Figura 6. Comparación normalizada entre los ensayos Micro Deval y Desgaste Los Ángeles [9].

EL MICRO DEVAL PARA PREDECIR EL COMPORTAMIENTO EN SERVICIO

La mayoría de los métodos de ensayo en uso para caracterizar los agregados y evaluar su calidad relacionada con la dureza y la durabilidad fueron desarrollados en las décadas de 1930 y 1940. Debido a que estos ensayos fueron ideados de manera empírica, no se estableció claramente su relación con el comportamiento del agregado en el pavimento en servicio. Los ensayos permanecen hoy en día vigentes gracias a la experiencia recogida por los ingenieros, quienes han desarrollado criterios, con cierto nivel de confianza, acerca de cómo se correlacionan sus resultados con el comportamiento de los materiales en servicio. Aun así, su uso ha contribuido a seleccionar agregados de manera inconsistente, lo que en muchas ocasiones ha dado lugar a que el pavimento se comporte por debajo de lo esperado.

Varias agencias de transporte de Estados Unidos han evaluado el ensayo Micro Deval y, en general, han concluido que es un buen indicador del comportamiento del agregado en campo, particularmente si este se emplea en la conformación de capas de base, o subbase, y mezclas asfálticas en caliente.

En el *Nacional Cooperative Highway Research Program – NCHRP* [10], se desarrollaron estudios conducentes a evaluar los ensayos relacionados con el comportamiento de los agregados empleados en capas granulares en los

Tabla 1
Clasificación de los métodos potenciales de ensayo. Propiedad medida: Dureza [10]

| Ensayo | Predicción del comportamiento | Exactitud | Practicidad | Complejidad | Precisión | Costo |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------|
| Los Ángeles | R | R | A | S | R | L |
| Valor de impacto | R | B | A | S | B | L |
| Valor de trituración | B | B | A | S | R | L |
| Valor de abrasión | R | R | A | MS | R | L |
| Micro Deval | B | R | A | M | R | L |
| Molino de durabilidad | R | B | A | MS | R | L |
| Ensayo giratorio | R | B | A | MS | R | M |

B: Buena R: Regular A: Alta S: Simple MS: Medianamente simple M: Media L: Bajo

pavimentos, cuyos resultados se encuentran consignados en el reporte 453. En dicho estudio, inicialmente se identificaron los diferentes ensayos usados en la práctica, cuyos resultados son indicativos de las propiedades de los agregados, entre ellas la dureza. El grupo de investigadores los clasificó de manera cualitativa, según su juicio y experiencia, en función de la correlación del ensayo con el comportamiento en servicio y de la exactitud, practicidad, complejidad, precisión y costo general del ensayo. Los resultados de esta evaluación se muestran en la tabla 1.

Aun cuando en este estudio el Micro Deval no fue catalogado inicialmente bien en todos los aspectos considerados, durante la investigación se encontró que el ensayo se correlaciona significativamente con el comportamiento del agregado en capas granulares de pavimentos; por tanto, se recomendó emplearlo para evaluar la dureza y la resistencia a la abrasión.

El International Center for Aggregates Research-ICAR [5], evaluó sobre 117 fuentes de materiales la efectividad del ensayo Micro Deval, entre varios ensayos, para calificar exitosamente el comportamiento futuro de un agregado en campo. Concluyó que los resultados del ensayo son uno de los mejores indicadores usados para este propósito.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS VALORES DEL MICRO DEVAL

Existen varios factores que pueden influir en los resultados del ensayo Micro Deval. Entre los más significativos están las propiedades físicas, en donde se resalta la absorción, y las propiedades mineralógicas y petrográficas de los agregados.

En general se ha encontrado que las gravas y rocas ígneas presentan menores porcentajes de pérdidas en el Micro Deval que las areniscas y las calizas, y que a medida que aumenta la absorción en el agregado, aumentan las pérdidas en el Micro Deval. Por ejemplo, en algunos estudios se han reportado valores de pérdidas de 6,5% para las gravas, de 15% para las areniscas, entre 11 y 15% para calizas con absorciones menores que 1% y de 20% en calizas con absorciones superiores a 1% [8, 11].

El efecto de la inmersión previa, en agua, de los agregados sobre los resultados del ensayo Micro Deval se ha reportado contradictorio. Mientras que algunas investigaciones realizadas en Canadá han encontrado que la inmersión del agregado en agua por más de 1 hora, antes de la realización del ensayo, tiene un efecto despreciable sobre los resultados y que este efecto es notorio si el agregado se sumerge por menos de 1 hora. Otros estudios reportan que no se aprecia efecto alguno de la inmersión previa de los agregados en las pérdidas del ensayo Micro Deval.

El Ministerio de Transportes de Ontario investigó el efecto del tamaño de la muestra sobre las pérdidas en el Micro Deval y halló que son independientes del tamaño de la muestra hasta pesos inferiores a 2000 gramos.

En las figuras 7 y 8 se observan los resultados del Micro Deval, de acuerdo con el tipo de agregado y la magnitud de la absorción, obtenidos sobre 52 fuentes diferentes de materiales, en el estudio desarrollado por Jayawickrama y otros [11]. En la figura 8 se puede apreciar que no existe gran correlación entre las pérdidas y la absorción, pero se observa una clara tendencia de estas al aumento con el incremento en la absorción del agregado.

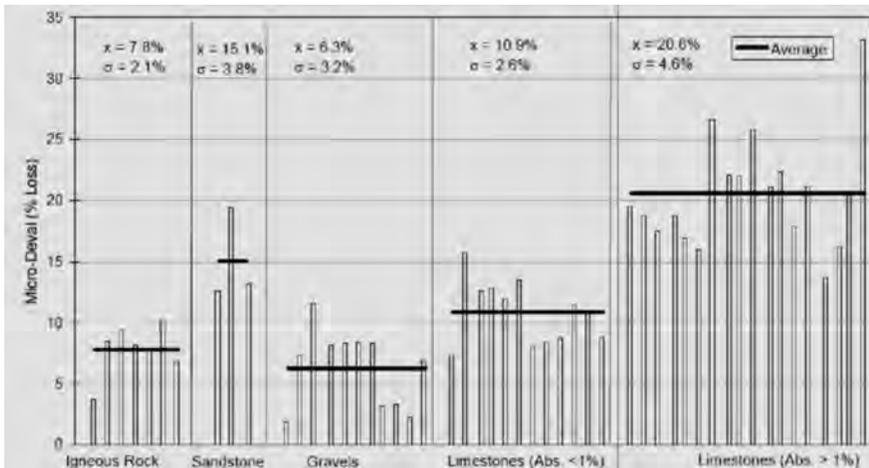


Figura 7. Porcentaje de pérdida en el ensayo Micro Deval según el tipo de agregado [11].

VALORES ESPECIFICADOS

En Norteamérica, es quizás el Ministerio de Transportes de Ontario el que haya realizado un número mayor de investigaciones involucrando el ensayo Micro Deval. La experiencia recopilada le ha permitido establecer, con un adecuado nivel de confianza, los valores máximos permisibles de las pérdidas en el ensayo, dependiendo del tipo de aplicación del agregado en el pavimento y de la magnitud de las solicitaciones a que va a ser sometido.

Por ejemplo, para agregados en mezclas asfálticas aplicadas como capas de rodadura en vías consideradas de bajos volúmenes de tránsito (TPD < 2500), el Ministerio recomienda una pérdida máxima de 17%, mientras que para tránsitos superiores, la magnitud de las pérdidas se sugiere entre 5 y 15%, dependiendo de la composición mineralógica del agregado: 5% para gravas

ígneas y metamórficas, 10% para diabasas y andesitas, y 15% para areniscas y gneis.

En la tabla 2 se presentan las especificaciones del Ministerio de Transportes de Ontario para diferentes aplicaciones de los agregados en el pavimento y para los agregados usados en capas granulares. El NCHRP recomienda los valores de porcentaje de pérdidas mostrados en la tabla 3, para la aplicación en zonas donde no se presente congelamiento y teniendo en cuenta el tránsito y las condiciones de humedad que prevalezcan.

Tabla 2

Especificaciones de dureza en Micro Deval para los agregados de acuerdo con su aplicación (Ministerio de Transportes de Ontario)

| Aplicación | Micro Deval Pérdida máxima (%) |
|--|-----------------------------------|
| Subbase granular | 30 |
| Base granular | 25 |
| Capa de base de gradación abierta | 17 |
| Concretos asfálticos para capas de base | 21 |
| Concretos asfálticos para capas de rodadura (TPD < 2500) | 17 |

Tabla 3

Recomendaciones de porcentaje de pérdidas en Micro Deval para agregados de capas granulares (NCHRP Report 453)

| Tránsito | Alto | | Medio | | Bajo | |
|------------------------|------|------|-------|------|------|------|
| | Alta | Baja | Alta | Baja | Alta | Baja |
| % Pérdidas Micro Deval | ≤ 15 | | ≤ 30 | | ≤ 45 | |

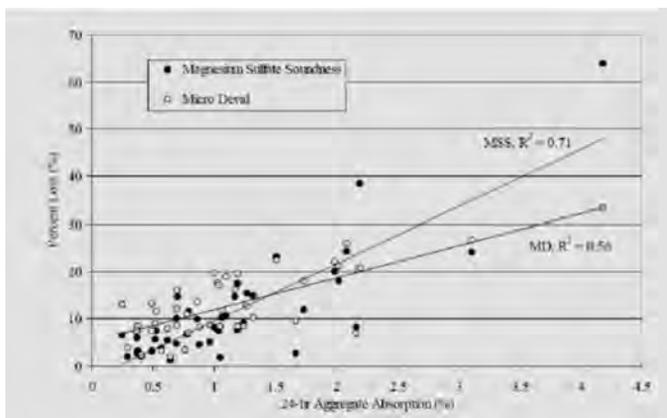


Figura 8. Influencia de la absorción en el porcentaje de pérdidas [11].

Comparando las anteriores especificaciones con las establecidas por el IDU en las ET-2005, y que de manera general se muestran resumidas en la tabla 4, se puede apreciar que estas últimas guardan un adecuado orden de magnitud, en especial con las establecidas por el Ministerio de Transportes de Ontario.

Tabla 4
Especificaciones sobre el Micro Deval en el IDU ET, 2005

| Material | Micro Deval, % máximo (en función del tránsito) |
|---|---|
| Subbase granular | 30 – 35 |
| Base granular | 20 – 30 |
| Capas de base e intermedias (Excepto mezclas de alto módulo) | 25 – 30 |
| Capas de rodadura | 20 – 25 |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La calidad de los agregados empleados en el pavimento constituye un factor importante que determina su comportamiento. Los agregados deben ser duros y resistentes a la abrasión para prevenir la trituración, la degradación y la desintegración que pueden presentarse cuando se encuentran almacenados, se transportan, se extienden, compactan y se someten a las cargas del tránsito. Igualmente, los agregados deben ser durables; resistentes a la rotura y a la desintegración cuando se someten a ciclos de humedecimiento y secado, calentamiento-enfriamiento o congelamiento-deshielo.
- Los ensayos que especifiquen o propongan las agencias viales para evaluar y controlar la calidad de los agregados deben ser confiables, reproducibles y repetibles, simples y suficientemente rápidos para usarse de manera rutinaria en los laboratorios. Los ensayos también deben ser capaces de discriminar agregados satisfactorios de los que no los son, con exactitud y de manera consistente.
- El Micro Deval es un ensayo que ha mostrado ser un buen indicador tanto de la dureza como de la durabilidad de los agregados. Estudios realizados en diferentes ambientes han probado que satisface o cumple los requerimientos enunciados en el apartado

anterior y que tiene la capacidad de determinar con éxito el comportamiento potencial en servicio de los agregados.

- El ensayo Micro Deval ha probado ser un procedimiento que sirve como mecanismo para el pulimento de los agregados y, si se acompaña de un sistema de proyección de imagen de agregados (AIMS – *Aggregate Imaging System*), es posible establecer la degradación de los mismos, distinguiendo entre la fractura y la abrasión de las partículas.
- Investigaciones realizadas en Estados Unidos y Canadá han concluido que el Micro Deval arroja mejores correlaciones entre la durabilidad de los agregados y el comportamiento del pavimento en servicio que cualquier otro ensayo corrientemente en uso, empleado para este mismo propósito, como los ensayos de solidez en sulfatos. Los estudios recomiendan evaluar los resultados de más de un ensayo, en este caso Micro Deval y Solidez en sulfato de magnesio, para tener una valoración más confiable de la durabilidad del agregado.
- Al comparar el estándar de ensayo americano (ASTM D6928) con el europeo (UNE- EN 1097-1), se aprecian discrepancias que pueden dar lugar a valores de porcentaje de pérdidas diferentes, al seguir estos dos procedimientos sobre un mismo agregado. Se recomienda que cuando se realicen estudios comparativos del comportamiento de materiales, se tenga especial cuidado al evaluar los resultados del ensayo Micro Deval obtenidos en diferentes ambientes y establecer claramente la norma de ensayo de la cual se derivaron.
- En este documento se resalta la diferencia entre los procedimientos fijados por la ASTM D6928 y por la UNE EN 1097-1, porque se está probando en nuestro medio un método de ensayo novedoso cuyos resultados se comienzan a especificar; por tanto, los valores que se fijen o establezcan como límites de la especificación, mientras no se tengan valores de referencia propios, se recomienda basarse en la experiencia americana y no en la europea.

REFERENCIAS

- [1] López, C.P., Campagnoli, S.X. *Caracterización de agregados. Comparación de los ensayos Micro Deval y Desgaste en la Máquina de los Ángeles*. Trabajo Dirigido. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2007.

- [2] Campagnoli, S.X., López, C.P. *Micro Deval –una prueba que complementa la evaluación de la calidad de los agregados usados en pavimentos*. XI Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, Manizales, 2007.
- [3] Wu, Y., Parker, F. & Kandhal, K. *Aggregate toughness/abrasion resistance and durability/soudness tests related to asphalt concrete performance in pavements*. NCAT Report No. 98-4. 1998.
- [4] Mahmoud, Enad M. *Development of experimental methods for the evaluation of aggregate resistance to polishing, abrasion, and breakage*. Thesis submitted to the Office of Graduate studies of Texas A&M University, 2005.
- [5] Fowler, D. W., Allen, J. J., Lange, A. & Range, P. *The prediction of coarse aggregate performance by Micro-Deval and Soudness relates aggregate tests*. Research Report ICAR 507-1F. International Center for Aggregates research. The University of Texas at Austin, 2006.
- [6] Hunt, E. A. *Micro-Deval Coarse aggregates Test Evaluation*. Final Report SR 547. Oregon Department of Transportation. May 2001.
- [7] Senior, S.A., Rogers, C.A. *Laboratory tests for predicting Coarse aggregate performance in Ontario*. Transportation research record 1301. Transportation research board, National Academy of Sciences, 1991.
- [8] Cooley, L. A., Huner, M. S. & James, R.H. *Micro-Deval testing of aggregates in the Southeast*. National Center for Asphalt Technology- NCAT Report 02-09. Auburn University, 2002.
- [9] Cuelho, P. E., Mokwa, R. L., *Comparative analysis of coarse surfacing aggregates using the Micro-Deval, L.A. Abrasion and Sulfate Soudness Tests*. Montana Department of Transportation, 2006.
- [10] National Cooperative Highway research program-NCHRP, *Performance-related tests of Aggregates for Use in unbound Pavements Layers*. NCHRP Report 453. Transportation Research board. National research Council, 2001.
- [11] Jayawickrama, P. W., Hossain, M. S., Phillips, F. *Evaluation of aggregate durability using Micro-Deval Test*. Transportation Research Board TRB 85th Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM, 2006.