

TÍTULO: “COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PULIMENTO ACELERADO DE AGREGADO”

AUTORES:

Dr. Salvador Luna Blanco
Director del Laboratorio
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Oriental
Ministerio de Fomento
Cruz 47 29620 Torremolinos - Málaga - España
Teléfono: (9)52 381300 Fax: (9)52 381301
Email: slunabl@eresmas.com

Dr. Francisco Díaz Molina
Catedrático de Física y Química
Instituto Politécnico “Jesús Marín”
Consejería de Educación. Junta de Andalucía
Del Politécnico nº 1 29007 Málaga - España
Teléfono (9)52 305558 Fax: (9)52 613396

Ing. Laura Ramírez Castro
Investigadora
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
Teléfono: (506)207-4994 Fax: (506)207-4442
Email: lr Ramirez@lanamme.ucr.ac.cr

Ing. Fabián Elizondo Arrieta
Jefe Laboratorio ensayos dinámicos
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
Teléfono: (506)207-4994 Fax: (506)207-4442
Email: lr Ramirez@lanamme.ucr.ac.cr

CURRICULUM RESUMIDO DE LOS AUTORES:**Dr. SALVADOR LUNA BLANCO**

Título: Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Málaga, graduado en 1995.

Actividad: Dirección del Laboratorio de Materiales para la Ingeniería Civil. Autor de trabajos de investigación sobre cementos, hormigones, aceros, áridos y mezclas bituminosas. Participante en ensayos interlaboratorios europeos. Miembro del subcomité de normalización UNE sobre ensayos de áridos. Ha presentado ponencias en diversos Congresos y Jornadas Técnicas, tanto nacionales como internacionales.

Dr. FRANCISCO DÍAZ MOLINA

Título: Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Málaga, graduado en 1996.

Actividad: Su actividad principal está relacionada con la enseñanza propia de la cátedra que ostenta. Autor de trabajos de investigación sobre cementos, mezclas bituminosas y áridos. Ha presentado ponencias en diversos Congresos y Jornadas Técnicas.

Ing. Laura Ramírez Castro

Título: Licenciada en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, graduada en el 2001.

Actividad: Integrante del Comité de Investigación del Laboratorio de Materiales de la Universidad de Costa Rica. Investigadora principal en proyectos de Ingeniería de pavimentos, tales como la adaptación de nuevas tecnologías de mezclas asfálticas y estudios de diversos materiales para la construcción de pavimentos. Ha presentado ponencias en Congresos y Jornadas Técnicas, tanto nacionales como internacionales.

Ing. Fabián Elizondo Arrieta

Título: Licenciado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, graduado en el 2001.

Actividad: Integrante del Programa de Investigación del Laboratorio de Materiales de la Universidad de Costa Rica. Jefe del Laboratorio de ensayos dinámicos para pavimentos. Investigador en proyectos enfocados en el análisis del desempeño de mezclas asfálticas.

“COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PULIMENTO ACELERADO DE AGREGADO”

Dr. Salvador Luna Blanco. Director Laboratorio Demarcación Carreteras del Estado en Andalucía Oriental - España

Dr. Francisco Díaz Molina. Catedrático de Física y Química del Instituto Politécnico “Jesús Marín”. España

Ing. Laura Ramírez Castro. Investigadora Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

Ing. Fabián Elizondo Arrieta. Jefe del Laboratorio de ensayos dinámicos del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

1. RESUMEN

El Laboratorio de la Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Oriental del Ministerio de Fomento, España, y el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica han realizado ensayos cruzados sobre agregados pétreos, determinando ambos laboratorios el coeficiente de pulido acelerado. En este informe se publican los resultados de estos ensayos cruzados.

A partir de un programa de trabajo previo, acordado entre ambas instituciones, se intercambiaron muestras de los agregados a ensayar en los dos Laboratorios. Se ensayaron por duplicado siete muestras de agregados.

Se ha utilizado como método de ensayo el descrito en la norma española NLT 174/93, aceptando leves diferencias en el procedimiento operatorio. El trabajo experimental ha supuesto una profunda revisión del protocolo de ensayo.

Entre las conclusiones obtenidas destacan: la escasa influencia sobre los resultados de las leves diferencias operatorias aceptadas inicialmente, la equivalencia de los resultados obtenidos por los dos Laboratorios y la importancia del agregado patrón para la determinación del coeficiente de pulido acelerado de los agregados.

2. INTRODUCCIÓN

La determinación experimental del coeficiente de pulido acelerado de los áridos (CPA), empleados en capas de rodadura, es de gran trascendencia debido a la influencia de la resistencia al deslizamiento tanto en la seguridad vial como por sus implicaciones técnicas y económicas.

En los últimos años, los avances de la técnica en construcción de carreteras han permitido alcanzar, de forma sucesiva, mejoras en la seguridad y comodidad del usuario de la vía. Entre estos avances cabe destacar la utilización de áridos no pulimentables y con alta microtextura; cualidades que hacen aptos a los áridos para su utilización en capas de rodadura.

La forma más generalizada que tiene el técnico para valorar de forma cuantitativa la permanencia, bajo la acción del tráfico, de una microtextura aceptable del árido, es el empleo del ensayo que mide el coeficiente de pulido acelerado (CPA) de los áridos, mediante la máquina de pulimento y el péndulo TRRL (Transport and Road Research Laboratory), (1).



Figura 1. Equipo de ensayo CPA



Figura 2. Medición con Péndulo

Durante la celebración del 12º CILA. (Quito, Ecuador, 2003) surgió la idea de la colaboración entre laboratorios de dos instituciones de dos países diferentes. Así nace la realización de ensayos cruzados sobre agregados pétreos entre el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) y el Laboratorio de la Demarcación.

En esta ponencia se dan los resultados, análisis y conclusiones de los ensayos cruzados sobre el coeficiente de pulido acelerado de los agregados. Consideramos de la mayor importancia llegar a la equivalencia de los resultados obtenidos en dos países, sobre muestras idénticas y con el mismo método de ensayo. Dicha equivalencia favorece el intercambio de información y establecimiento de criterios comunes así como el perfeccionamiento de la técnica operativa común.

3. PROGRAMA DE TRABAJO

3.1. Objetivo del trabajo

Comprobar la equivalencia de los resultados obtenidos por ambos laboratorios, al trabajar sobre muestras idénticas y utilizando una misma norma de ensayo.

3.2. Norma de ensayo

Se utilizó la norma NLT 174/93. En ella las muestras de agregados pétreos son sometidas a pulimento con material abrasivo durante seis horas en un equipo como el que se muestra en la Figura 1, y luego es valorado el estado final de rozamiento del mismo mediante el péndulo TRRL (Figura 2).

Este método de ensayo consta entonces de dos fases claramente diferenciadas:

- Pulido del árido mediante la máquina que simula el efecto real del tráfico.
- Medida del rozamiento del árido pulido empleando el péndulo, especialmente diseñado para ello, provisto de una zapata de caucho (péndulo TRRL).

En la primera fase se utilizan dos ruedas de caucho macizo y dos tipos de material abrasivo de distinta granulometría. La rueda es usada repetidamente hasta que diversos criterios aconsejan

su cambio por otra nueva (cambios importantes en la dureza del caucho, deterioro manifiesto, etc). Los demás aspectos del ensayo, tales como fabricación de las probetas, tamaño de granos, número de granos por probeta, esmeriles, etc, están descritos en la norma. En cada pulimento, se intercalan dos probetas de árido patrón cuyo valor de CPA viene preestablecido en la norma de ensayo.

La segunda fase, medición del rozamiento con una zapata de caucho, consta de tres operaciones:

- Acondicionamiento de la zapata.
- Comprobación del estado del péndulo.
- Medición del rozamiento del árido pulido, con el péndulo.

El CPA del agregado se obtiene corrigiendo la medición del rozamiento en el péndulo TRRL, según el valor obtenido para el árido patrón.

Para estos ensayos cruzados se aceptaron las siguientes diferencias de procedimiento:

- El Laboratorio de la Demarcación utilizó abrasivo grueso de naturaleza silíceo, con la granulometría de la norma. El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales utilizó corindón como abrasivo grueso con la misma granulometría.
- Cada laboratorio inició los trabajos con dos zapatas nuevas, enviando simultáneamente otras dos zapatas nuevas al otro laboratorio.
- Para el acondicionamiento de las zapatas de caucho ambos laboratorios utilizaron probetas ensayadas de árido control español. Igualmente ocurrió con la operación de comprobación (apartado 3.10 de la norma). La diferencia está en el CPA inicial de estas probetas y el número de veces que han sido utilizadas para acondicionar o comprobar.

3.3 Muestras ensayadas

Los áridos ensayados han sido:

- Roca ígnea, de tipo andesita, de la cantera de Tordelloso en la provincia de Guadalajara, España. Árido empleado como control para establecer las correcciones de las mediciones de rozamiento obtenidas.

- Seis muestras de agregados pétreos costarricenses; las muestras 644-04 a 650-04 son agregados provenientes de depósitos aluviales de origen ígneo de las Regiones Norte y Sur de Costa Rica y el árido 654-04 es de origen sedimentario, procedente de una cantera ubicada en la Provincia de Guanacaste. Los mismos pertenecen a canteras en explotación comercial, con áridos utilizados en carpetas de rodamiento asfálticas.

De cada una de las canteras, o acopios de árido, se tomaron muestras con objeto de ensayar por duplicado el CPA, en ambos laboratorios. Las muestras recibidas como iguales por los laboratorios procedieron de la misma subdivisión de una toma de muestra realizada en la cantera o acopio correspondiente.

Todo el proceso de toma de muestras y preparación de las porciones de ensayo siguió procedimientos normalizados.

3.4. Realización de los ensayos y recopilación de resultados

En cada ensayo se determinaron los CPA de siete muestras, una por cantera. En ningún caso las dos submuestras de una misma cantera entraron a formar parte del mismo ensayo. Ambos laboratorios al terminar el trabajo experimental se dieron a conocer sus resultados, comenzando entonces el análisis de resultados y extracción de conclusiones oportunas.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

En las tablas de las Figuras 3 y 4 se resumen todos los resultados experimentales obtenidos en este trabajo, expresados en valores de CPA. Se clasificaron dichos resultados en tres grupos:

- Resultados obtenidos por cada Laboratorio con sus zapatas. Figura 3.
- Resultados alcanzados al medir con las zapatas intercambiadas con el otro Laboratorio. Figura 4.

Para los cálculos del resultado final se han respetado los criterios utilizados por cada Laboratorio, en aquello que la norma no especifica nada concreto. El Laboratorio de la Demarcación ejecutó todos los cálculos intermedios (incluida la ecuación de correcciones por el valor de árido patrón obtenido) con una cifra decimal. Sólo se redondeó este resultado de la

ecuación de correcciones. En cuanto a los resultados del Laboratorio LANAMME se han respetado los obtenidos por la planilla de cálculo usada por este laboratorio.

La norma NLT 174/93 expresa los resultados en fracción decimal, con aproximación a la centésima. En este informe se han seguido las orientaciones de la norma británica BS 812 part 114 – 1989 y de la norma europea EN 1097-8, en cuanto a expresar los resultados en números enteros, con aproximación a la unidad.

En cada una de las Figuras 3 y 4, donde se muestran los resultados, se encuentran también los intervalos de repetibilidad “r” y reproducibilidad “R” para cada uno de los grupos planteados. Interpretándose como repetibilidad la diferencia obtenida entre resultados de un mismo laboratorio, y como reproducibilidad la diferencia que se encuentra entre los resultados de ensayo de los dos laboratorios en conjunto.

En la Figura 5 se encuentran graficados los resultados obtenidos para los seis agregados analizados.

Muestra de árido	Laboratorio Demarcación			Laboratorio LANAMME			“R”
	Ensayo n° 1	Ensayo n° 2	“r”	Ensayo n° 1	Ensayo n° 2	“r”	
Patrón	56	52	4	56	55	1	--
614-04	49	49	0	51	53	2	4
615-04	48	48	0	52	53	1	5
628-04	49	48	1	51	53	2	5
629-04	44	43	1	44	47	3	4
650-04	44	46	2	49	50	1	6
654-04	29	26	3	39	44	5	18

Figura 3. Resultados de CPA obtenidos por cada laboratorio operando con sus zapatas

Muestra de árido	Laboratorio Demarcación			Laboratorio LANAMME			"R"
	Ensayo nº 1	Ensayo nº 2	"r"	Ensayo nº 1	Ensayo nº 2	"r"	
Patrón	53	52	1	57	56	1	
614-04	51	49	2	51	53	2	4
615-04	49	47	2	51	52	1	5
628-04	50	48	2	49	50	1	2
629-04	45	43	2	44	44	0	1
650-04	46	46	0	47	49	2	3
654-04	32	30	2	36	43	7	13

Figura 4. Resultados de CPA alcanzados al medir con las zapatas del otro laboratorio

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir del informe "Results of the 1995/96 Cross – Testing Experiment" perteneciente al Programa de Ensayos y Medidas, financiado por la Comisión Europea, (2), la norma europea EN 1097-8 de diciembre de 1999 adoptó como intervalos de repetibilidad (r) y reproducibilidad (R) los siguientes: $r = 2$ ó 3 y $R = 5$ ó 6 en función del nivel del resultado. El experimento fue realizado con la participación de 20 laboratorios, de 9 países europeos.

Como la norma NLT 174/93 no establece criterio alguno para la precisión de los resultados, se analizaron los mismos comparándolos con los intervalos de la norma europea. Esta norma prácticamente igual a la norma NLT mencionada, excepto que emplea un árido de control diferente.

Los dos laboratorios arrojan resultados dentro del intervalo de repetibilidad en todos los casos, excepto en lo siguientes:

- El Laboratorio de la Demarcación para el agregado de control ($r=4$), operando con sus zapatas.
- El LANAMME con el árido calizo (654-04), tanto operando con sus zapatas ($r=5$) como con las zapatas españolas ($r=7$).

A efectos de reproducibilidad, hay que tener en cuenta que no se deben comparar los resultados obtenidos, en ambos laboratorios, para el árido patrón. Dichos resultados son función de las peculiaridades actuales de cada equipo de ensayo, (3), y se utilizan sólo a efectos de la obtención del CPA del árido correspondiente, según la ecuación prevista en la norma.

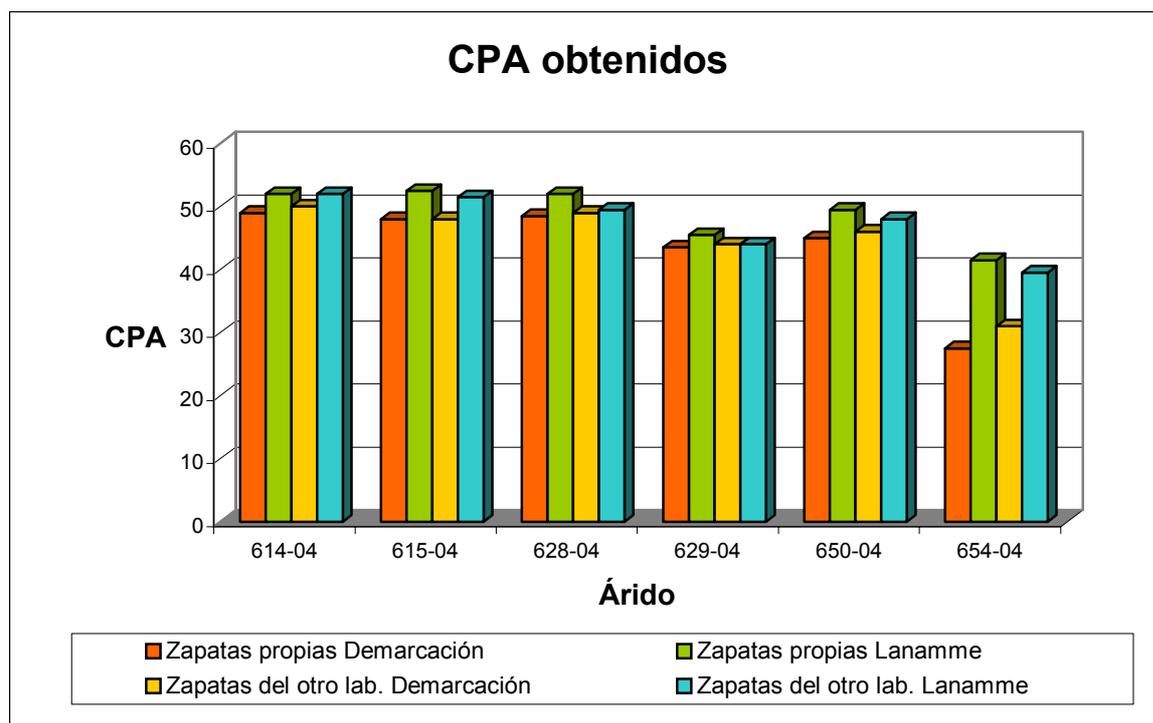


Figura 5. Resultados obtenidos para los seis agregados analizados.

Conforme a los resultados recogidos en las tablas de las Figuras 3 y 4, se puede comentar lo siguiente:

- Es llamativo el caso del árido calizo. Ambos laboratorios, trabajando con sus zapatas o con las zapatas intercambiadas, obtienen una reproducibilidad manifiestamente fuera del intervalo permitido. Habría que proceder a una revisión en profundidad de la ejecución del pulido y medición del rozamiento con el péndulo. Es evidente que no se pueden comparar los resultados obtenidos para este agregado.

6. CONCLUSIONES

- En las condiciones del programa de trabajo, ambos laboratorios cumplen aceptablemente las condiciones de repetibilidad, salvo algún caso puntual.
- Los resultados de ambos laboratorios, en general, son equivalentes dado el alto grado de reproducibilidad alcanzada en las condiciones citadas.
- Se hace necesario una profunda revisión de la mala reproducibilidad alcanzada para un árido de naturaleza caliza.
- Es interesante destacar la importancia de utilizar un árido patrón dentro del método de ensayo.
- Las diferencias operativas previstas en el programa de trabajo no han influido en los resultados de ensayo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Norma española NLT 174/93 "Pulimento acelerado de los áridos".
2. "The proposed CEN Method for the polished value test: Results of the 1995/6 Cross Testing experiment". Comisión Europea de Normalización. 1997.
3. "Coeficiente de pulido acelerado. Intento de actualización del ensayo". Manuel López Jimenez y Salvador Luna Blanco. Revista Rutas Española, marzo 1993.

4. "El coeficiente de pulido acelerado de los áridos, importancia, evolución y limitaciones del método de medida". Salvador Luna Blanco y Francisco Díaz Molina. 10º Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Sevilla, España, 1999.