

# Fricción y desgaste de baldosas cerámicas de gres de monococcion y de gres porcelánico

J. MA. RINCÓN<sup>1</sup>, M. ROMERO<sup>1</sup> Y M.B. ALMENDRO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lab/ Grupo de Materiales Vítreos y Cerámicos, Inst<sup>o</sup>. E. Torroja de Ciencias de la Construcción, CSIC, c/ Serrano Galvache s/n,

<sup>2</sup> Depto. de Agroquímica y Medioambiente, Universidad Miguel Hernández, Elche, Alicante,

Se ha sometido una amplia gama de pavimentos cerámicos comercializados de gres porcelánico y de monococción porosa a ensayos de fricción/ abrasión usando un equipo de "pin-on-disk". Los resultados del coeficiente de fricción se discuten en función de la perfilometría de la huella final resultante y de resultados previos realizados con el método PEI de resistencia a la abrasión profunda. Se obtienen valores de coeficiente de fricción dinámico ( $\mu$ ) entre 0.6- 1.00 para todas las plaquetas investigadas sin que se haya encontrado una correlación directa entre este coeficiente y los valores de la clasificación PEI o incluso de los ensayos de indentación expresados con el índice de fragilidad como la relación  $B = H_v / K_{IC}$ . Aun así, las curvas de variación de  $\mu$  en función de los ciclos de giro, permiten comprobar que existe un fenómeno de abrasión simultánea cuando se usan puntas de alúmina, mostrando un comportamiento diferente según el tipo de plaqueta ensayada. Para sistematizar estos resultados en función del tipo de material considerado, se ha definido un parámetro de abrasión a partir de las curvas:  $\mu$  - ciclos (expresados en rpm), lo que puede permitir una mejor clasificación de dichos materiales.

*Palabras clave: tribología, fricción, fragilidad, gres porcelánico, gres de monococción.*

## Friction and wear of monofired ceramics and porcelainized stoneware tiles

A wide range of ceramic tiles used as pavements of porcelainized stoneware and monofired tiles have been submitted to abrasion tests by using a pin-on-disk tribometer, determining the friction coefficient and being discussed with profilometry of the circular imprints and the previous results of PEI abrasion resistance. The values of the friction coefficient ( $\mu$ ) are in the 0.6- 1.00 range for all samples here tested without any direct correlation with this coefficient and the PEI classification and/ or the indentation tests which allow also to obtain the fragility index as the ratio:  $B = H_v / K_{IC}$ , which also have been considered for interpretation of these tribology results. However, the variation of  $\mu$  versus the rotation cycles allow us to probe that exists an abrasion phenomenon simultaneously to the pin-on-disk testing after determined cycles and according to the different behaviour of tiles. For evaluation of this abrasion it has been defined an abrasion parameter from the curves:  $\mu$ - rpm, which could gives rise to a best classification for such type of construction materials..

*Keywords: tribology, friction, fragility, porcelainized stoneware, monofired tiles*

## 1. INTRODUCCIÓN

La resistencia a la abrasión superficial de pavimentos y revestimientos cerámicos, cuya producción alcanza en nuestro país un valor de liderazgo a nivel mundial, en metros cuadrados totales de superficie producida y en nuevos productos, es la propiedad más crítica que se exige a los pavimentos de tipo cerámico de todo tipo: gres rústico, gres vidriado, gres porcelánico (mate o pulido), gres porcelánico vidriado o no vidriado y, por último, a los recubrimientos de tipo vitrocerámico (1). Generalmente, los fabricantes de este tipo de materiales aceptan como control la resistencia a la abrasión por el método PEI (Product Enameler Institute), que consiste en determinar la pérdida del brillo de la superficie en función de las revoluciones que soporta la misma, sometida a desgaste en húmedo por una distribución uniforme de bolas de acero y polvo de alúmina (2). Este procedimiento presenta innumerables dificultades para permitir una evaluación científica y realmente comparativa entre los diversos tipos de plaquetas cerámicas. Tiene además el inconveniente de la dificultad de permitir distinguir entre piezas con niveles de PEI intermedios. Desde hace unos años se vienen realizando numerosos intentos por encontrar métodos alternativos o más

completos para evaluar la resistencia a la abrasión y la textura superficial (rugosidad)(3). En este sentido se han utilizado previamente equipos de tribología pin-on-disk para determinar la resistencia al rayado lineal de plaquetas cerámicas (3) como método más preciso que la simple determinación por el, bien conocido y tradicional en años anteriores, método Mohs (4).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados para esta investigación han sido plaquetas de tipo cerámico tanto de gres de monococción vidriadas y con diferentes coloraciones, así como plaquetas de gres porcelánico, que fueron cortadas en probetas de 10 x 10 mm<sup>2</sup> aproximadamente para poder introducir las en el equipo de ensayo de "pin-on-disk". Dado que la dispersión de densidad en plaquetas comerciales no es suficientemente significativa para este tipo de ensayos, se cortaron varias probetas al azar de cada plaqueta comercial. La Figura 1 muestra el aspecto y color de los materiales ensayados (puede solicitarse el envío de la correspondiente foto mostrando el

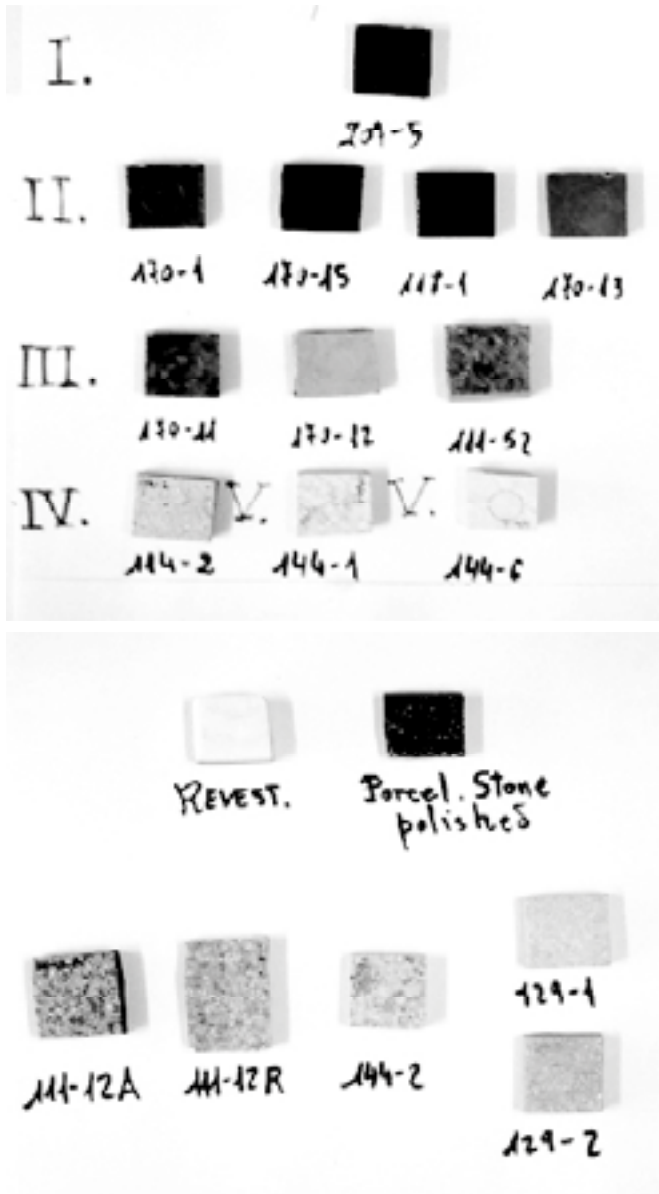


Fig. 1.- Aspecto del grupo de plaquetas ensayadas en el equipo de pin-on-disk ordenadas según su resultado de resistencia a la abrasión (determinada por el método PEI) y grupo de plaquetas también de tipo cerámico en las que no se ha determinado su resistencia a la abrasión por el método PEI

aspecto y color de los materiales ensayados a: jrincon@ietcc.csic.es)

Los ensayos de determinación del coeficiente de fricción se han realizado con un equipo "pin-on-disk" (de CSEM instruments) con puntas ( ó "pins") de alúmina y en algunos casos de acero, bajo una carga normal de 1N. La muestra se mueve rotando sobre un disco plano a velocidades ente 0.03 y 500 rpm, habiéndose utilizado en este caso 150 rpm para todos los ensayos. Los radios de giro han sido de 8 mm en todos los casos, aunque para ver el efecto de esta variable sobre la curva de fricción, se ha utilizado un radio de 9.5 mm en algunos casos. Las fuerzas resultantes friccionales que actúan sobre el pin y la muestra son medidas por las pequeñas deflexiones que sufre una palanca que sostiene el pin. Este método, en principio tan simple, permite el estudio controlado de la fricción fijando otras condiciones tales como: presión de

contacto, velocidad de giro y temperatura. En nuestro caso se han usado las mismas condiciones de temperatura, humedad y revoluciones, así como de presión de carga. Se ha usado un pin de  $Al_2O_3$  ya que en el caso del ensayo a la abrasión por el método PEI se añade polvo de alúmina a la carga de bolas abrasivas de acero (2). En algunos casos se ha utilizado además un puntero de acero inoxidable tipo: 1.4301. Los ensayos se realizaron en todos los casos en seco sin ningún tipo de lubricante. Las muestras se rayan más o menos después del ensayo dejando una huella circular más o menos visible según el tipo de muestra ensayada. Los perfiles de la huella se han registrado transversalmente para detectar las diferencias de profundidad y forma de huella en cada caso, por lo que se ha medido con un rugosímetro (Taylor Hobson Talysurf 10). El coeficiente de fricción es una propiedad que depende de la interfase de los materiales que contactan y se define como la relación entre el "esfuerzo" y el "peso" que soporta una superficie cuando es recorrida por un material manteniendo el contacto entre ambos; es decir:  $\mu = F_t / F_n$  que, de hecho, está constituido por dos componentes: uno de adhesión y otro de deformación. En nuestro caso debido a la abrasión que ejercen los pins de alúmina (dureza Mohs = 9) sobre las superficies de las plaquetas que tienen una menor dureza, se produce un efecto de desgaste sobre la superficie, que hace que la deformación aumente. Por otro lado, y en nuestro caso, dado que en todos los ensayos la  $F_n = 1\text{ N}$ , el coeficiente de fricción prácticamente da la Fuerza Tangencial, que a su vez depende de la rugosidad del material.

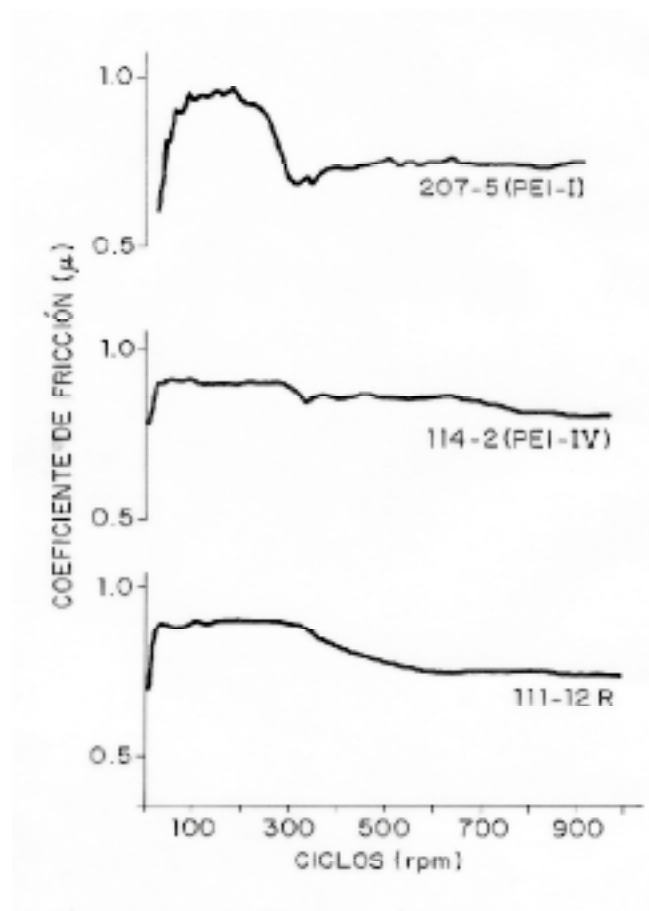


Fig. 2.- Variación del coeficiente de fricción en función de los ciclos de giro del puntero de alúmina en el caso de las plaquetas cerámicas : a) 207-5, b)114-2 y c) 111-12R.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos de fricción realizados sobre plaquetas comerciales permiten representar el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) en función de las revoluciones por minuto o ciclos que realiza el pin contactando sobre la superficie de la muestra. Así, la Figura 2 a-c muestra los hábitos más representativos de la variación de dicho coeficiente en función de los ciclos. Se observa que el valor de  $\mu$  se incrementa al comienzo por efecto del contacto sobre la muestra en el caso de muestras con superficies más blandas, manteniendo un cierto coeficiente de fricción hasta que por efecto de desgaste producido por el rozamiento dicho coeficiente disminuye a partir de ciertas revoluciones. Esta bajada producida por el desgaste es muy brusca en unos casos (Fig. 1 a), mientras que en otro tipo de plaquetas la bajada de  $\mu$  por efecto del desgaste es muy lenta al aumentar el número de ciclos (Fig. 1b). En otros casos como el que se muestra en la Fig. 1c la bajada del coeficiente de fricción tiene lugar con una pendiente intermedia.

La Tabla I recoge todos los resultados obtenidos incluyendo el coeficiente de fricción máximo  $\mu_{\max}$  con el número de revoluciones en el que se obtiene dicho valor (dadas entre paréntesis). De la misma manera se han incluido los valores de  $\mu_e$  que corresponden al valor estabilizado por el desgaste después de ciertas revoluciones que también se dan entre paréntesis junto con el valor de dicho coeficiente de fricción. Se incluye además el "índice de fragilidad" que ya se definió y determinó para los mismos materiales previamente (5) como el cociente entre la microdureza (Vickers en nuestro caso) y la tenacidad de fractura ( $K_{Ic}$ ) y que ha permitido una mejor diferenciación entre series de materiales y que también se ha demostrado muy útil para diferenciar recubrimientos muy finos realizados por el proceso sol-gel sobre soportes de vidrio

que trae como consecuencia un cierto desgaste de la superficie a las bajas revoluciones aquí utilizadas. Recíprocamente, los valores menores de  $\mu$  indican un mayor deslizamiento y un menor desgaste por rozamiento del pin sobre la superficie. De hecho, se produce un efecto secundario de "autolubricación" por las finas partículas de la superficie que se arrancan y arrastran durante el experimento debido a la mayor dureza de los pins de alúmina.

La Figura 3 muestra la variación del hábito de las curvas de fricción en función del pin utilizado para el caso de los de alúmina y acero. Así, puede verse que con el pin de alúmina en el caso de la plaqueta 144-6 se obtiene un coeficiente de fricción con un valor de 0.65 hasta las 450 revs que disminuye por efecto del desgaste que produce este tipo de pin, que como es bien conocido presenta una dureza de 9 en la escala Mohs. De la misma manera, en un material con menor valor de PEI, como el 118-1, se produce una bajada adicional del coeficiente a 400 revs que se recupera cerca de las 500 revs. Sin embargo, cuando se utiliza un pin de acero inoxidable el valor del coeficiente de fricción sube progresivamente al aumentar la duración del ensayo debido a que el desgaste del metal, usado en este caso como pin, es superior al del material cerámico.

En la Figura 4 se han representado los valores de coeficiente de fricción en función de la microdureza Vickers obtenida por el método de indentación previamente en (5) para los materiales ensayados que corresponden a la Tabla I. Se puede ver que no se ha detectado una variación significativa entre ambos parámetros. En tal caso y únicamente una ligera disminución del coeficiente de fricción para mayores valores de esta microdureza. Se ha realizado la misma representación en función de la tenacidad de fractura o del índice de fragilidad, no observándose en cada caso variaciones significativas.

En la Figura 5 se da un esquema resumido de las tipologías

TABLA I. VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN CARACTERÍSTICO A UN NÚMERO DE REVOLUCIONES DETERMINADO EN PLAQUETAS CERÁMICAS DE GRES DE MONOCOCCIÓN (GM) Y DE GRES PORCELÁNICO (GP) Y QUE PREVIAMENTE FUERON CARACTERIZADAS POR EL MÉTODO PEI DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN. (SE INCLUYE ADEMÁS EL VALORE DE ÍNDICE DE FRAGILIDAD DETERMINADO POR ENSAYOS DE INDENTACIÓN SEGÚN LA REFERENCIA 5)

Tipo de material	muestra	PEI (rpm)	$\mu_{\max}$ (revs.)*	$\mu_e$ (revs)	Índice B de fragilidad (5)
GM blanco, vidriado negro	207-5	I (159)	0.95 (219)	0.75 (310)	5.1
GM rojo, vidriado marrón	170-1	II (300)	0.96 (150)	0.72 (350)	3.5
GM rojo, vidriado azul marino	170-15	II (450)	0.96 (250)	0.79 (469)	3.4
GM rojo, vidriado verde oscuro	118-1	II (450)	0.92 (300)	0.76 (530)	3.5
GM rojo, vidriado granate	170-13	II (600)	0.97 (300)	0.78 (606)	3.5
GM rojo, vidriado verde claro	170-11	III (750)	0.96 (300)	0.77 (550)	3.3
GM rojo, Vidriado amarillo- crema	170-12	III (750)	0.95 (200)	0.74 (406)	2.8
GM blanco, vidriado gris	111-52	III (900)	0.96 (280)	0.76 (625)	3.1
GP gris	114-2	IV (6000)	1.10 (500)	0.94 (1000)	2.7
GP blanco	144-1	V (12000)	0.97 (650)	0.74 (850)	2.3
GP blanco	144-6	V (12000)	0.96 (370)	0.74 (469)	2.3

\* revs: se refiere al valor de rpm hasta donde se mantiene el valor indicado de coeficiente de fricción

(6).

En todos los casos los valores obtenidos de  $\mu$  dinámica son del orden de magnitud de pavimentos similares ensayados en seco por otros autores, que dan valores en el intervalo 0.55- 1.00 (7). Un coeficiente mayor implica un menor deslizamiento lo

de los perfiles de las huellas obtenidos para los materiales de gres de monococción y de gres porcelánico aquí ensayados.

Básicamente estos perfiles son de cuatro tipos, correspondiendo a comportamientos muy definidos de estos materiales en función de sus características composicionales

TABLA II. VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN CARACTERÍSTICO PARA UN NÚMERO DE REVOLUCIONES DETERMINADO EN LA SEGUNDA SERIE DE PLAQUETAS CERÁMICAS

Tipo de material	muestra	$\mu_{max}$ (revs.)*	$\mu_e$ (revs)
GM rojo, vidriado marrón punteado	111-12 R	0.92 (300)	0.80 (6900)
GM rojo, vidriado marrón punteado	111-12A	0.98 (400)	0.72 (600)
GP blanco punteado marrón	144-2	0.99 (300)	0.77 (670)
GP blanco crema	129-1	1.00 (300)	0.80 (1500)
GP pardo oscuro	129-2	1.00 (350)	0.78 (800)
Revestimiento MP	vidriado	0.86 (75)	0.66 (180)
Pavimento GP	pulido	0.90 (200)	0.80 (250)

\* revs: se refiere al valor de rpm hasta donde se mantiene el valor indicado de coeficiente de fricción

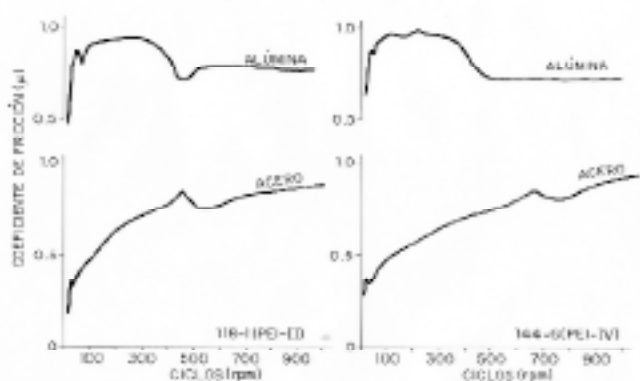


Fig. 3.- Variación del coeficiente de fricción en función de los ciclos de giro del pin-on-disk para las plaquetas cerámicas 118-1 y la 144-6, en función del uso de puntero de alúmina o de un puntero de acero.

y microestructurales. Así, al comparar el perfil de la huella de una plaqueta con PEI III (muestra 170-12) con otra de PEI IV (muestra 144-1) se ha comprobado que el perfil es más simétrico en el primer caso de la muestra con menor resistencia a la abrasión según el método PEI. De la misma manera, cuando se compara el perfil de dos muestras con superficie de poco relieve, como es el caso de una vidriada con una fritas convencional y otra de gres porcelánico pulido (Tabla II), se obtienen dos perfiles muy simétricos y con bordes muy nítidos a diferencia del resto de las plaquetas aquí investigadas por el método de "pin-on-disk". Se han ensayado además varios radios de giro en algunas muestras, como es el caso de la 129-1 de la Tabla II, obteniéndose, como era de esperar, una huella de mayor tamaño y profundidad cuando se usa un radio de giro de 9.5 mm frente a uno de 8 mm, ya que el recorrido del pin es mayor.

Dado que se han observado distintos hábitos en las curvas de fricción en función de los ciclos o vueltas aplicadas, consecuentemente debido a la falta de correlación entre el coeficiente de fricción y otras propiedades de desgaste, se han calculado otros tipos de índices, que permitiesen aplicar

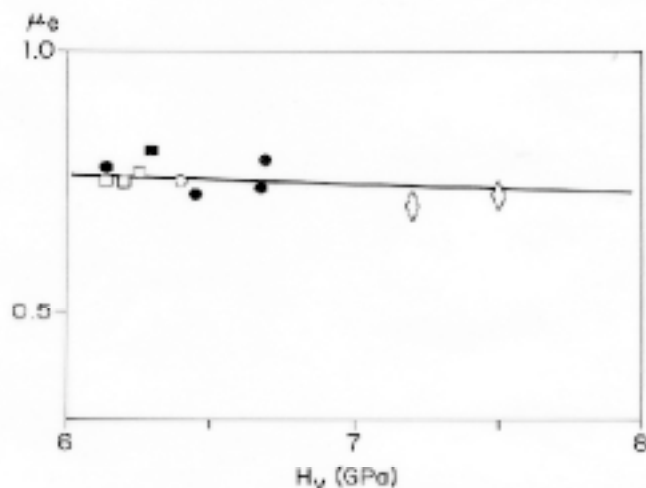


Fig. 4.- Representación de los valores de coeficiente de fricción frente a los valores de microdureza obtenidos en (5) para los mismos materiales de la Tabla I.

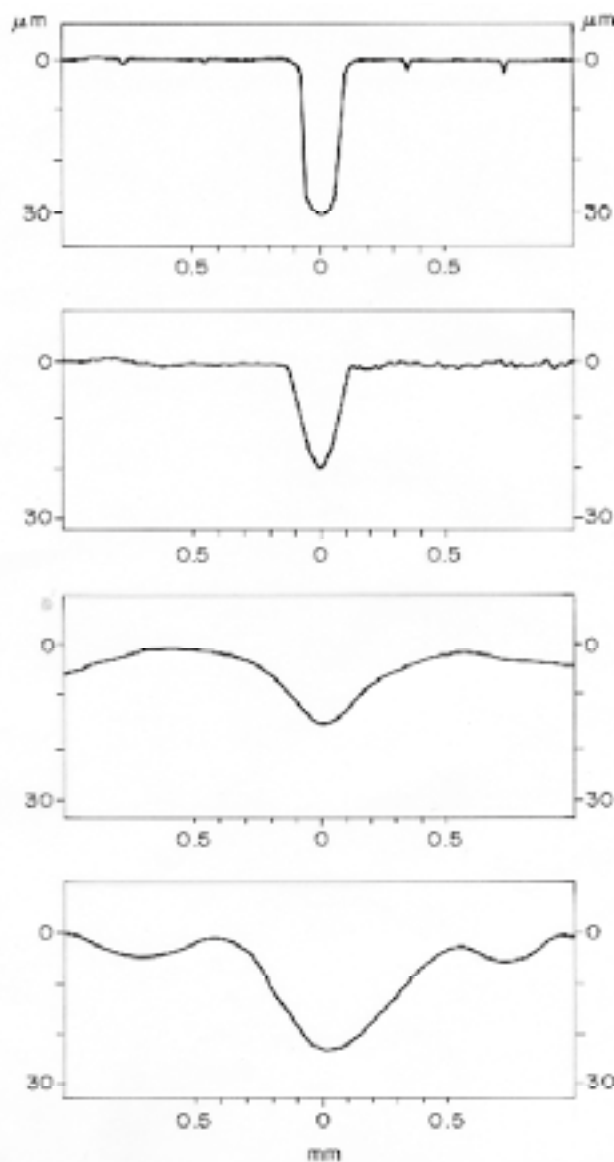


Fig. 5.- Representación esquemática de los cuatro tipos de perfiles de huella obtenidos con un equipo de "pin-on-disk" en plaquetas cerámicas de monococión y de gres porcelánico

un "factor de desgaste" para este tipo de materiales. Así, se ha ensayado el denominado "wear index" como:  $WI = (\mu_{\max} - \mu_{\text{estabilizada}}) / \text{ciclos (revoluciones)}$ . Refiriéndose el parámetro : ciclos, a las revoluciones en el que los valores del índice de fricción alcanza su valor máximo o comienza a estabilizarse su valor debido al desgaste.

De la misma manera, se ha considerado un denominado "factor geométrico de desgaste":  $W_g = \text{profundidad de la huella} / \text{máximo } n^{\circ} \text{ de revoluciones aplicadas en el ensayo de "pin-on-disk", e incluso } W_g(S_L) = (\text{profundidad} \times L / 2) / n^{\circ} \text{ revoluciones}$ , en donde  $L$  representa la anchura en la profundidad media de la huella de desgaste. Hasta ahora en ningún caso, se han obtenido resultados significativos con la aplicación del cálculo de este tipo de parámetros, lo cual no implica que no exista este tipo de correlación, por lo que se continúan este tipo de investigaciones para encontrar el modo de cuantificar el comportamiento diferencial de estas plaquetas cerámicas que, de hecho, se ha observado de una manera cualitativa entre los diversos tipos de materiales ensayados en este caso.

#### 4. CONCLUSIÓN

Se ha comprobado que la aplicación de ensayos de "pin-on-disk", que se basa en realizar contactos dinámicos bajo una carga determinada con puntas de diversos materiales con diferente dureza sobre la superficie de plaquetas cerámicas, puede permitir comparar el comportamiento frente a la fricción de la superficie de este tipo de materiales de construcción. Aunque el problema de la cuantificación de los datos que se obtienen persiste; aún así, este método puede aportar valiosa información sobre el comportamiento frente al deslizamiento y a la abrasión de estos materiales. En cualquier caso, se han comprobado diferencias de comportamiento que están relacionados con la naturaleza de la superficie y el tipo de material ensayado.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa FRITTA SL por la selección de muestras de diversas firmas para esta investigación, así como al Convenio Bilateral entre la Universidad de Ilmenau, Alemania y el CSIC que ha hecho posible la financiación de esta investigación.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. T. Manfredini, M. Romagnoli, and J. Ma. Rincón, Porcelainized stoneware: architectural, processing and physico/ mechanical properties. *MATER CONSTRUCC* 46 (242-243) 107-118 (1996).
2. Normas EN 154 y ISO10545/7. Resistencia a la abrasión superficial. Baldosas esmaltadas.
3. A. Escardino, A. Moreno y M<sup>a</sup>. J. Ibáñez, Relación entre las propiedades mecánicas y su resistencia al desgaste, *Bol. Soc. Esp. Ceram.* V. 39 (2) 209-214 (2000).
4. UNE 67-101-85. (EN 101). Ceramic Tiles. Determination of scratch hardness of surface according to Mohs.
5. M. Romero, J. Ma. Rincón y A. Boccaccini. Coeficiente de fragilidad como medida más representativa de la resistencia a la abrasión de pavimentos cerámicos, *Bol. Soc. Esp. Ceram.* V. 42 (3) 163-167 (2003).
6. M<sup>a</sup>. A. Villegas, J. Ma. Rincón, M. García- Heras y M. Romero, Indentación y fragilidad de recubrimientos sol-gel parcialmente densificados, En: III Congreso Nac. de Props. Mecánicas de Sólidos, PMS 2002, Ed. V. Amigó, Univ. Politécnica de Valencia, Gandía, 2002, p. 715-719.
7. C. Lira, C. R. M. Nascimento, L. Pandini, A. P. Novaes de Oliveira, O. E. Alarcón, Análisis esclerométrico y caracterización microestructural de un vitrocerámico sinterizado del sistema  $\text{Li}_2\text{O-ZrO}_2\text{-SiO}_2$ , *Qualicer 2000*, Ed. Cámara de Comercio de Castellón, Castellón, Pos. 107-109.

Recibido: 09.01.05

Aceptado: 16.05.05

