
Proyecto SEG-LAB – E2.1 Informe sobre la evolución de las características de los pavimentos con los agentes presentes en los entornos propuestos. (RESUMEN)

IMDECA/2016/65

29 de diciembre de 2016

ÍNDICE

1. Objetivos específicos

2. Descripción de las tareas realizadas

2.1. Tarea 2.1. Estudio de los cambios producidos por el tránsito peatonal, agentes químicos presentes y tratamientos de limpieza mecánica

2.1.1. Descripción actividades realizadas

2.1.1.1. *Estudio de la evolución de las superficies y sus prestaciones en condiciones reales de uso*

2.1.1.1.1 Selección y caracterización de las superficies objeto de estudio

2.1.1.1.2 Instalación en condiciones reales de uso

2.1.1.1.3 Seguimiento y evaluación de los cambios producidos

2.1.1.2. *Evaluación de los cambios en las prestaciones y características de las superficies*

2.1.1.2.1 Evaluación visual

2.1.1.2.2 Caracterización de las prestaciones

2.1.1.2.3 Búsqueda de condiciones de agarre intermedio

2.1.1.3. *Estudio de la evolución de las superficies y sus prestaciones mediante dispositivo de desgaste acelerado de laboratorio Búsqueda experimental de condiciones de desgaste utilizando métodos de calzado*

2.1.2. Resultados obtenidos

2.1.2.1. *Estudio de la evolución de las superficies y sus prestaciones en condiciones reales de uso*

2.1.2.1.1 Medida de la resistencia al deslizamiento

2.1.2.1.2 Medida del brillo

2.1.2.1.3 Medida del color

2.1.2.1.4 Medida de la topografía

2.1.2.1.5 Búsqueda de condiciones de agarre intermedio

2.1.2.1.6 Estudio de la evolución de las superficies y sus prestaciones mediante dispositivo de desgaste acelerado de laboratorio

2.1.2.1.7 Búsqueda experimental de condiciones de desgaste utilizando métodos de calzado

2.1.2.2. *Estudio de la tendencia a la retención de suciedad y de la capacidad de limpieza*

2.1.3. Siguiendo tareas a realizar

2.2. Tarea 2.2. Estudio de la influencia de la geometría y composición del recubrimiento

2.2.1. Descripción actividades realizadas

2.2.1.1. *Análisis de los parámetros topográficos de los pavimentos*

2.2.1.2. *Desarrollo de superficies prototipo*

2.2.1.3. *Búsqueda de condiciones de contaminante - pavimento cerámico con agarre intermedio respecto a las condiciones normalizadas actualmente para calzado*

2.2.1.4. *Búsqueda experimental de condiciones de pavimento cerámico-contaminante representativos de los ambientes laborales en estudio*

2.2.1.5. *Estudio del efecto del desgaste de la baldosa en el agarre, para evaluar la influencia del tratamiento de desgaste en la resistencia al deslizamiento de pavimentos cerámicos*

2.2.2. Siguiendo tareas a realizar

2.3. Tarea 2.3. Definición de las variables óptimas de diseño de la superficie del pavimento

3. Conclusiones

1. Objetivos específicos

- Averiguar las propiedades técnicas asociadas a las prestaciones del material que se modifican de forma más acusada con el desgaste que sufren las superficies de los pavimentos cerámicos debido a las sollicitaciones a las que están sometidos en uso.
- Determinar la influencia de la superficie (rugosidad y topografía) sobre la resistencia al deslizamiento del pavimento cerámico. Conocer como varían las características estructurales y superficiales de las baldosas con el desgaste, y su influencia a las características técnicas del producto.
- Validar el método de desgaste acelerado empleado en el laboratorio frente a los usos analizados
- Seleccionar de entre todas las características evaluadas en pavimentos, las que se modifican en mayor grado con el desgaste con la finalidad de utilizar únicamente estas características en el resto de tareas del proyecto
- Obtener información de los datos experimentales para los nuevos criterios de diseño técnico de superficies de pavimentos, que permitan a los fabricantes, adecuar mejor sus diseños y desarrollos a las exigencias de seguridad y confort requeridas por el usuario final, todo ello dirigido a una mejora de la calidad en el pavimento cerámico para usos laborales

2. Descripción de las tareas realizadas

2.1. Tarea 2.1. Estudio de los cambios producidos por el tránsito peatonal, agentes químicos presentes y tratamientos de limpieza mecánica

2.1.1. Descripción actividades realizadas

2.1.1.1. Estudio de la evolución de las superficies y sus prestaciones en condiciones reales de uso

Se está efectuando un estudio en condiciones reales de alto tránsito peatonal para determinar los cambios generados en las distintas tipologías de superficies seleccionadas en la Tarea 1.2. Para ello, se utiliza un sistema de instalación sin adhesivos para permitir la evacuación y reposición de las piezas, con objeto de evaluar los cambios generados en la superficie mediante medidas instrumentales en el laboratorio. Paralelamente, se registra mediante contadores ópticos el número de personas que han transitado la superficie, al objeto de correlacionar los cambios observados con el volumen de tránsito real.

Dichas superficies van a estar sometidas durante el estudio a los procesos habituales de limpieza. Por ello, los cambios observados en las mismas serán debidos tanto a desgaste por tránsito peatonal como a fenómenos de retención de suciedad, limpieza con productos químicos, etc.

2.1.1.1.1 Selección y caracterización de las superficies objeto de estudio

Para el estudio de desgaste en condiciones reales de uso, se seleccionarán muestras de distintas tipologías de pavimentos utilizadas habitualmente en los diferentes ámbitos laborales. Este rango incluye combinaciones de superficies lisas y con relieve, de acabado brillante (exento de rugosidad) y con textura áspera (alta rugosidad).

En las muestras seleccionadas se realizaron medidas de resistencia al deslizamiento, brillo, color y rugosidad al objeto de caracterizarlas inicialmente.

En la tabla se muestran los valores obtenidos.

Tabla 1. Medidas iniciales de resistencia al deslizamiento Rd, brillo 60° y color (L, a, b)

Muestra	Rd	Brillo 60°	Color		
			L	a	b
Brillantes	7	53,7	83,39	-0,61	2,16
	9	82,6	88,13	-0,34	1,16
	10	23,5	84,71	0,10	3,68
Lisos no rugosos	12	24,4	34,59	-0,28	-1,48
	13	24,2	33,68	0,01	2,78
Lisos y relieves rugosos	25	4,8	48,41	8,03	16,43
	25	4,9	57,62	1,34	7,65
	53	2,5	63,17	-0,13	3,04
	55	3,7	66,97	1,29	4,37
	71	1,1	49,29	9,04	19,59

2.1.1.1.2 Instalación en condiciones reales de uso

Para la realización de dicho estudio, se instalaron las baldosas seleccionadas en el pavimento del pasillo del autoservicio de uno de los comedores de la Universitat Jaume I (local interior con acceso directo al exterior). Al ser un área de paso unidireccional, limitada por barandillas, se colocó un contador óptico en la salida junto a la caja registradora para cuantificar el número de personas que transitaban sobre las piezas en estudio, colocadas en la zona central del paño.



Figura 1 Zona de instalación de las muestras

Se utilizó un sistema de instalación sin adhesivos para permitir la retirada y reposición de las piezas, con objeto de medir periódicamente en el laboratorio los diferentes parámetros superficiales que nos ayudarán a evaluar los cambios que se están produciendo debido al tránsito peatonal.

2.1.1.1.3 Seguimiento y evaluación de los cambios producidos

Con una periodicidad aproximada de 2 meses, se procedía a la retirada de las baldosas objeto de estudio mediante la ayuda de una ventosa (Figura 2) y se anotaba el número de personas que había transitado sobre la superficie de las mismas indicado en el contador óptico (Figura 3).



Figura 3. Retirada de las muestras para ser caracterizadas en el laboratorio



Figura 4 Contador óptico

2.1.1.2. Evaluación de los cambios en las prestaciones y características de las superficies

Para cada tipología de superficie se utilizará como referencia las propiedades superficiales que presenten la variación más significativa (brillo, color, textura, etc.).

2.1.1.2.1 Evaluación visual

Una vez recibidas las muestras en el laboratorio, se realizó una limpieza superficial con agua bayeta y cepillo de púas blandas para las muestras con cierto relieve. Posteriormente se secaron con papel de laboratorio y etanol.

A continuación, se efectuó una inspección visual de las mismas comparándolas con una baldosa original de cada una de las muestras. Se anotó cualquier cambio visual observado (manchado de la superficie, pérdida de brillo, rayado, etc.)

2.1.1.2.2 Caracterización de las prestaciones

Se ha caracterizado la evolución de las siguientes prestaciones de las muestras, en distintos periodos de exposición al desgaste.

1. Resistencia al deslizamiento: Según norma UNE-ENV 12633:2003 “Método de la determinación del valor de la resistencia al deslizamiento/resbalamiento de los pavimentos pulidos y sin pulir”. Se ha seguido el procedimiento descrito en el anexo A de la citada norma para determinar el valor de resistencia al deslizamiento sin pulir (USRV).
2. Brillo especular: Esta determinación se realizó utilizando un reflectómetro estándar de ángulo 60°.
3. Color: Las medidas de color se han efectuado utilizando un espectrofotómetro portátil.
4. Caracterización de topografía superficial: Se ha utilizado un rugosímetro HOMMELWERKE modelo T8000, utilizando un palpador de punta de diamante de curvatura 90° y radio 5 µm.

Las medidas se han realizado utilizando sendos cut-off de 2,5 mm para evaluar el microrelieve y de 0,15 mm para la microrugosidad.



Figura 5. Reflectómetro y espectrofotómetro

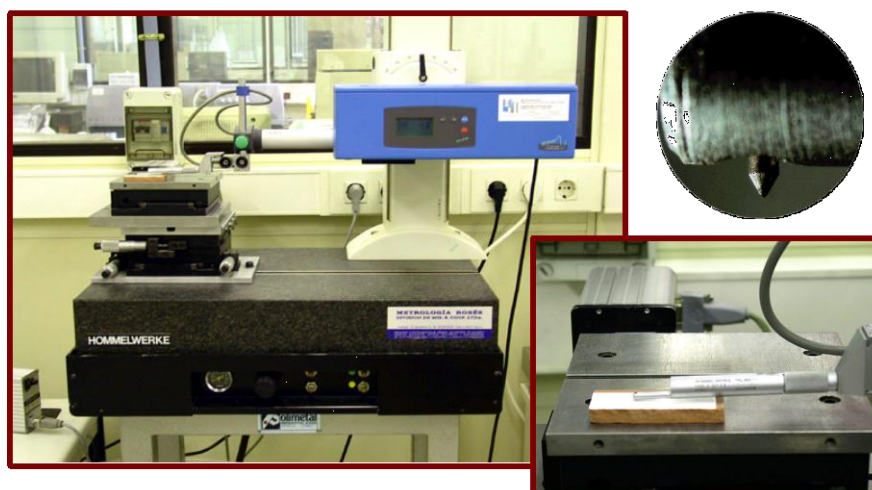


Figura 6. Detalle del dispositivo de medida

2.1.1.2.3 Búsqueda de condiciones de agarre intermedio

INESCOP ha realizado una búsqueda de condiciones de agarre intermedio respecto a las condiciones normalizadas actualmente. Se seleccionan combinaciones de pavimento y contaminantes distintas a las de referencia para requisitos de calzado, y se ensayan con calzado para obtener comparativas y conseguir las condiciones de agarre intermedias. Se realizan combinaciones entre las superficies y contaminantes recogidos en la UNE EN-ISO 13287. (Estudio 1)

Una de las condiciones de ensayo normalizadas en la norma EN ISO 13287 es el pavimento de acero contaminado con glicerina. Esta condición es muy exigente y, por tanto, difícil de cumplir. Además, no es representativa de las condiciones reales que existen en los ambientes laborales. Considerando esta situación, se busca una condición de ensayo que sea más resbaladiza que la baldosa Eurotile 2 contaminada con agua+detergente pero que, a su vez, no sea tan exigente como el acero con glicerina. Es decir, que se sitúe en un nivel de resbaladidad intermedia.

Se seleccionan tres condiciones de pavimentos-contaminantes distintas:

- Baldosa E2 contaminada con agua + detergente (según norma EN ISO 13287).
- Baldosa E2 contaminada con glicerina.
- Acero contaminado con glicerina (según norma EN ISO 13287).

Se realiza el ensayo de deslizamiento de tacón, según la norma EN ISO 13287, en 8 modelos de zapatos para uso profesional distintos:

- Suela de GOMA con entresuela de PUR celular, REFERENCIA A.
- Suela de PUR, REFERENCIA B.
- Suela de PVC, REFERENCIA C.
- Suela de PUR, REFERENCIA D.
- Suela de TPU con entresuela de PUR celular, REFERENCIA E.
- Suela de TPU con entresuela de PUR celular, REFERENCIA F.
- Suela de GOMA, REFERENCIA G.
- Suela de PVC, REFERENCIA H.

2.1.1.3. Estudio de la evolución de las superficies y sus prestaciones mediante dispositivo de desgaste acelerado de laboratorio

Para poder acelerar el estudio de los cambios superficiales, paralelamente al estudio en condiciones reales, se ha desarrollado un método de simulación a escala de laboratorio. Como equipo, se utilizó un cabezal de pulido semi-industrial que opera de forma que la muestra de pavimento se desplaza con la ayuda de una cinta, a la vez que el cabezal gira sobre la pieza. El cabezal dispone de 6 porta-muelas, sobre los que se puede fijar diferentes materiales abrasivos.



Se han estudiado diferentes tipos de abrasivos y distribuciones de tamaño de partícula, seleccionándose un cuarzo con $D_{50}=45 \mu\text{m}$, según se detalla en la gráfica siguiente.

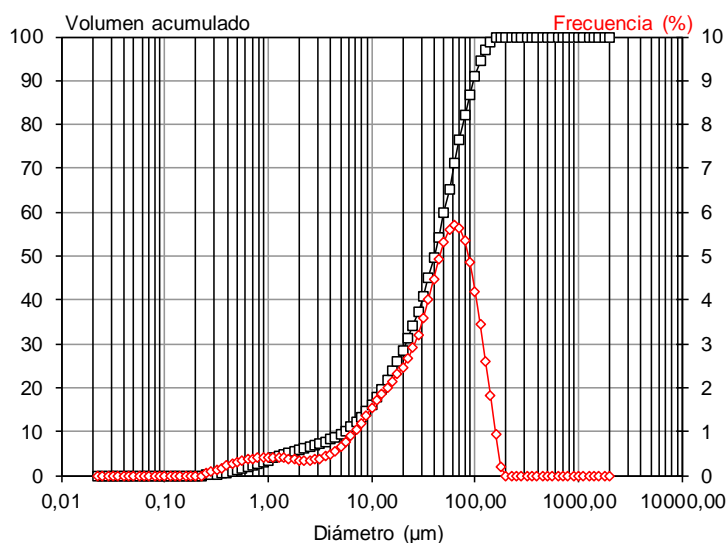


Figura 7. Distribución granulométrica estropajo verde

Tras diferentes pruebas para ajustar las condiciones de desgaste los parámetros que permiten reproducir las condiciones reales de desgaste son las detalladas en figura.

Comparando los resultados obtenidos mediante el dispositivo de laboratorio con la evolución de los materiales en el estudio en condiciones reales, se ha establecido una correlación de aproximadamente 10.000 personas/etapa de desgaste.

Tabla 2. Parámetros de trabajo del dispositivo de desgaste acelerado ITC

Variables	
Presión efectiva	0,4 kg/cm ²
Velocidad de giro del cabezal	226 rpm
Velocidad de la cinta	18,5 m/min
Longitud de la muela	145 mm
Composición del abrasivo	85% cuarzo
Tamaño medio partícula abrasivo	45 µm

2.1.1.3.1 Búsqueda experimental de condiciones de desgaste utilizando métodos de calzado

INESCOP ha realizado una búsqueda experimental de condiciones de desgaste de pavimento cerámico representativos de los ambientes laborales en estudio.

Se realiza desgaste peatonal de baldosas en laboratorio simulando la fricción con materiales de referencia de suelas y con calzado, Método INESCOP, para ser analizados posteriormente por ITC en la tarea. Con baldosas nuevas y desgastadas se realizan distintas medidas de COF con calzado, con el fin de evaluar la influencia del tratamiento de desgaste peatonal simulado, con calzado y materiales de suela, en la resistencia al deslizamiento de pavimentos cerámicos. (Estudio 4)

Con baldosas nuevas y desgastadas se realizan distintas medidas, con el fin de:

- Evaluar la influencia del tratamiento de desgaste en la resistencia al deslizamiento de pavimentos cerámicos.
- Buscar alternativas a la baldosa Eurotile 2 (E2), dado que ésta presenta un comportamiento variable en función de su grado de desgaste que puede implicar cambios en el COF de una misma muestra significativos (hasta 0,1): es decir, el hecho de ensayar un zapato con una baldosa E2 nueva o usada (aunque dentro del rango de uso permitido por la norma) puede implicar que el COF del zapato cambie hasta en 0,1 unidades de COF, lo cual es un cambio muy significativo.

La alternativa que se estudia es la baldosa STD-P, que es un pavimento cerámico contemplado en la normativa de pavimentos.

Parte de estas baldosas se desgastan aceleradamente con distintos métodos, en Inescop y en ITC:

- Método 1: La baldosa E2 se desgasta en Inescop mediante ensayos consecutivos de roce de calzado sobre el pavimento, utilizando el propio equipo de deslizamiento de la norma EN ISO 13287. Se desgasta hasta el valor de CTV de rechazo que indica la norma para su uso como pavimento de referencia (0,19).

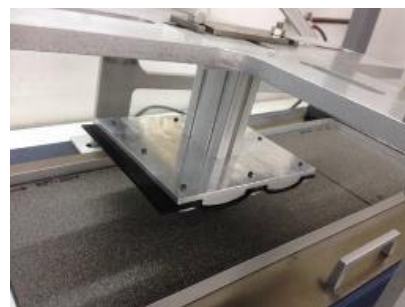


- Método 2: La baldosa E2 se desgasta en Inescop con la metodología descrita en N226 del CEN TC161-WG3. En este caso, no se lleva al valor de CTV de rechazo que indica la norma, sino a un valor intermedio (entorno a 0,23).

Para el desgaste se utiliza un dispositivo que se coloca en el equipo de la norma EN ISO 13287, sobre el que se coloca un caucho de dureza elevada, y se realizan 25 deslizamientos sobre la baldosa, en seco, de acuerdo con las siguientes fotografías.



Dispositivo utilizado para el desgaste



Dispositivo instalado en el equipo de la norma EN ISO 13287

- Método 3: La baldosa STD-P se desgasta en ITC: cada ciclo de simulación de desgaste equivale a aproximadamente 10.000 pisadas en condiciones reales de uso exterior.

Se realizan las siguientes medidas sobre las baldosas nuevas y desgastadas según los métodos mencionados:

- Se mide el valor CTV en Inescop: es el valor de calibración de la baldosa según la norma EN ISO 13287. Se determina midiendo el COF de una probeta de caucho de referencia (dureza 96°ShA), por su lado de 25 mm, sobre el pavimento.
- Se mide el valor PTV del péndulo, en ITC, utilizando también un caucho de referencia (dureza 55°ShA).
- Se mide el COF de cinco modelos de zapatos de uso profesional (modelos I a M), según la norma EN ISO 13287, según fotografías. El ensayo se realiza contaminando las baldosas con agua + detergente, deslizando el zapato de tacón.
 - Suela de goma y entresuela de EVA, REFERENCIA “I”.
 - Suela y entresuela de PUR, REFERENCIA “J”.
 - Suela de goma, REFERENCIA “K”.
 - Suela de PUR celular, REFERENCIA “L”.
 - Suela de PUR celular e insertos de PUR, REFERENCIA “M”.

2.1.2. Resultados obtenidos

2.1.2.1. Estudio de la evolución de las superficies y sus prestaciones en condiciones reales de uso

2.1.2.1.1 Medida de la resistencia al deslizamiento

Las muestras más antideslizantes presentan una disminución de sus propiedades antideslizantes bastante acusada desde los primeros meses de instalación. En la figura se ha representado la evolución de la resistencia al deslizamiento real de dos de las muestras que presentan mayor cambio.

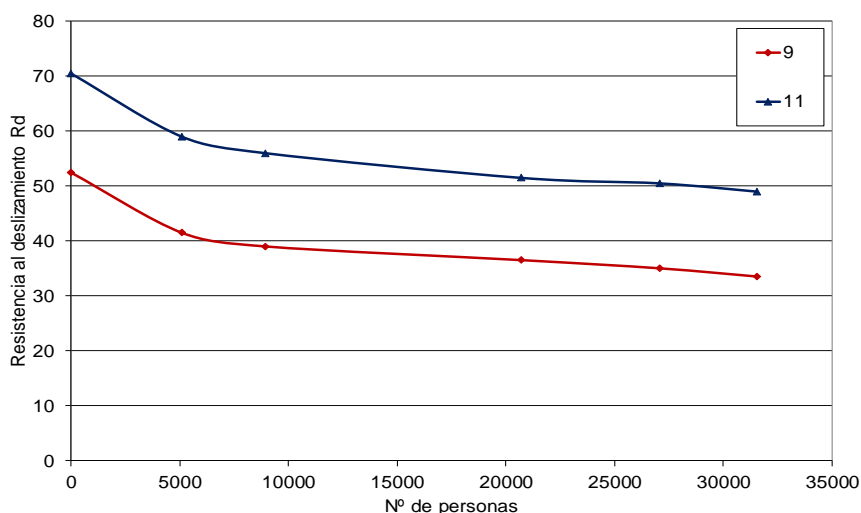


Figura 8. Evolución de la resistencia al deslizamiento en condiciones reales de uso.

2.1.2.1.2 Medida del brillo

En el caso del brillo, la mayor parte de las muestras no presentan modificación del mismo, incluso teniendo valores iniciales muy altos de brillo. Únicamente la muestra 1 que se trata de una baldosa lisa pulida presenta una ligera disminución del mismo que no llega a ser visible por el ojo humano.

En la figura se ha representado la evolución de las dos muestras de brillo más elevado:

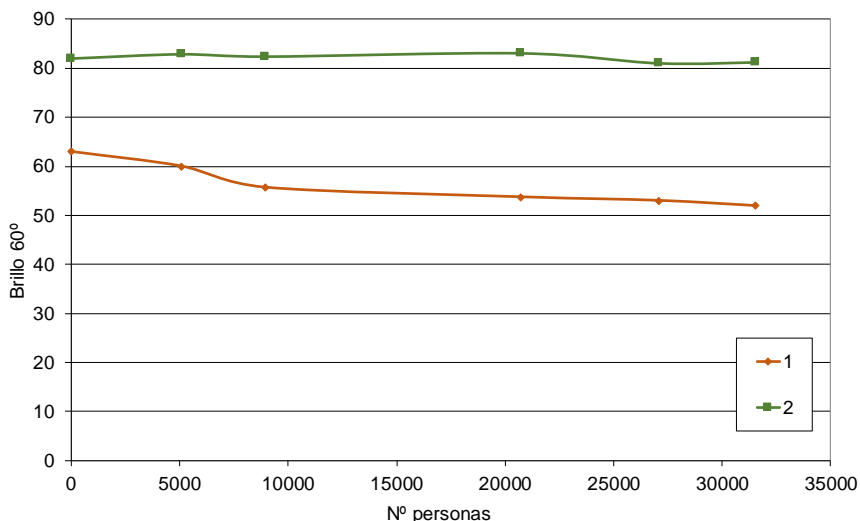


Figura 9. Evolución del brillo de las muestras sometidas al estudio en condiciones reales de uso.

2.1.2.1.3 Medida del color

En el caso del color, se observa un cambio del mismo bastante importante en la muestra 11. Esta muestra presenta una superficie con un ligero relieve y alta rugosidad superficial y es en la que se había observado visualmente una retención de suciedad importante. Las muestras 1 (lisa pulida), y 6 y 7 (lisas rugosas) también presentan un ligero cambio de color prácticamente no perceptible por el ojo humano.

Figura se muestran los valores de las dos muestras que han presentado un mayor cambio:

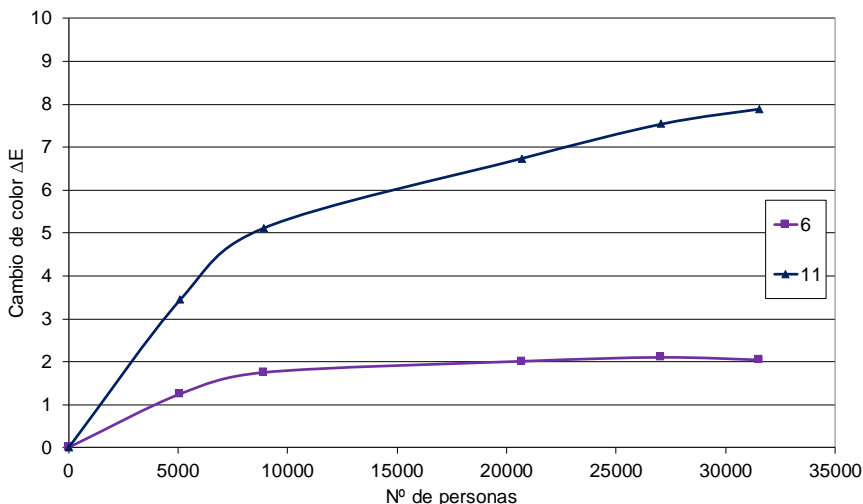


Figura 10. Evolución del cambio de color de las muestras sometidas al estudio en condiciones reales de uso.

E2.1 Informe sobre la evolución de las características de los pavimentos con los agentes presentes en los entornos propuestos.

2.1.2.1.4 Medida de la topografía

A lo largo de primer periodo anual de exposición en condiciones reales de uso, se ha apreciado una disminución acusada de su coeficiente de fricción con el desgaste, especialmente en las superficies rugosas. Como puede observarse en las siguientes topografías, se produce una disminución en la altura de los picos.

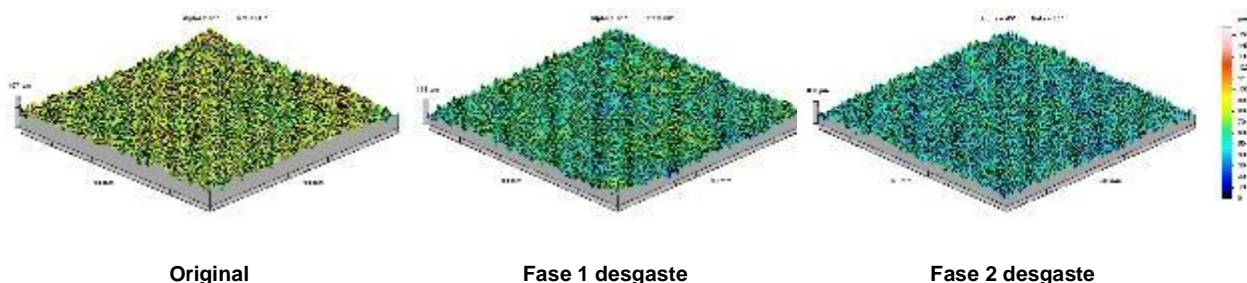


Figura 11. Topografías de una muestra rugosa a diferentes tiempos de exposición en condiciones reales de uso.

2.1.2.1.5 Búsqueda de condiciones de agarre intermedio

En colaboración con INESCOP (estudio 1) se realiza una búsqueda de condiciones de contaminante - pavimento cerámico con agarre intermedio respecto a las condiciones normalizadas actualmente en calzado. Baldosas y contaminantes de referencia

Se observa que la condición de baldosa E2 con glicerina parece ser una alternativa interesante, intermedia entre las dos condiciones contempladas actualmente en la norma EN ISO 13287: baldosa E2 con agua + detergente y acero con glicerina.

2.1.2.2. Estudio de la evolución de las superficies y sus prestaciones mediante dispositivo de desgaste acelerado de laboratorio

Comparativamente con lo observado en condiciones reales de exposición, se ha comprobado que es posible reproducir en el laboratorio el comportamiento de distintos tipos de superficies, tanto los que manifiestan pérdidas acusadas de su resistencia al deslizamiento, como las que la mantienen pese al proceso de desgaste. En la figura se ha representado el comportamiento de las muestras estudiadas mediante el método de desgaste acelerado. En la validación del método, también se han utilizado los resultados de cambios de brillo, en aquellas muestras con valores muy reducidos de resistencia al deslizamiento.

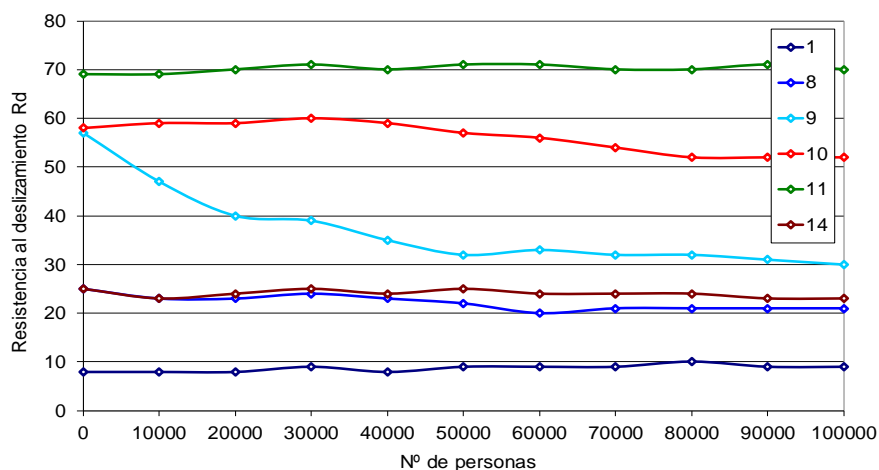


Figura 12 Evolución de la resistencia al deslizamiento de las muestras desgastadas con el dispositivo de desgaste

Asimismo, se está evaluando comparativamente la variación de los parámetros topográficos determinados con el perfilómetro y se ha analizado la evolución del desgaste en condiciones de laboratorio mediante microfotografías obtenidas con la señal de electrones retrodispersados del microscopio electrónico de barrido (MEB).

En la figura se incluyen las microfotografías de la superficie de la baldosa original y de las muestras sometidas a las dos primeras etapas de desgaste.

Las fotografías de la parte superior corresponden a la suma de la señal recibida por los dos sectores del detector (A+B) que reduce la contribución topográfica pero nos permite ver como a medida que se va desgastando la superficie aparecen rayas y desconchados en la superficie a nivel microscópico.

Las fotografías de la parte inferior corresponden a la diferencia de la señal recibida por los dos sectores del detector (A-B) que nos da la información topográfica. En estas imágenes se observa cómo se va suavizando la rugosidad existente a pesar de generarse rayas o desprendimientos de pequeñas porciones de la superficie que podría llevarnos a pensar en un aumento de la rugosidad.

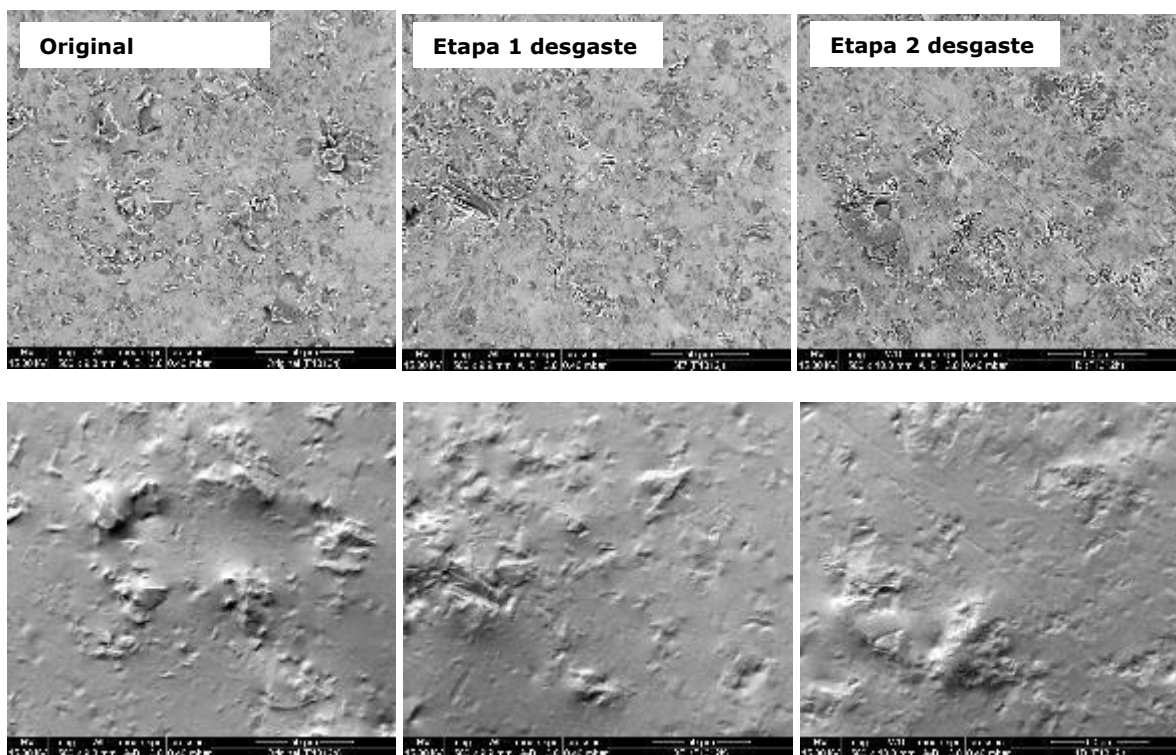


Figura 13. Micrografías de la muestra 9. Imágenes superiores (A+B) e inferiores (A-B).

2.1.2.2.1 Búsqueda experimental de condiciones de desgaste utilizando métodos de calzado

Estudio del efecto, en el agarre del calzado, del desgaste de la baldosa por tránsito peatonal con Método INESCOP (estudio 4)

El valor de CTV y el de PTV cambian significativamente al comparar la E2 nueva y las E2 desgastadas, tanto por el método 1 como por el método 2. Los valores de COF obtenidos en zapatos disminuyen al desgastarse la baldosa.

El valor de CTV y el de PTV no cambian significativamente al comparar la STD-P nueva y la STD-P desgastada. Los valores de COF obtenidos en zapatos aumentan al desgastarse la baldosa.

El COF obtenido en la baldosa E2 preparada con el método 2 es similar al obtenido con la STD-P desgasta, y superior al obtenido con la STD-P nueva.

La baldosa STD-P no parece ser una alternativa interesante a la E2, pues los valores de COF que se obtienen con ella parecen cambiar con el desgaste, aunque este hecho no es detectable por el valor CTV ni por el PTV. Esto también sucede con la E2, aunque la tendencia de cambio es distinta: en la STD-P los COF aumentan con el desgaste, y en la E2 disminuyen.

2.1.2.3. Estudio de la tendencia a la retención de suciedad y de la capacidad de limpieza

La evolución del cambio de color en las muestras sometidas al estudio en condiciones reales de uso apenas ha generado datos que permitan analizar la relación entre su diseño superficial y la tendencia a la retención de suciedad, ya que solamente dos muestras han manifestado una alteración de color significativa.

Por ello, se decidió desarrollar un procedimiento de ensayo de laboratorio que permitiese simular la retención de suciedad en las dos muestras que la habían manifestado, con el objetivo de poder generar información adicional a escala de laboratorio sobre otras tipologías de muestras de pavimentos. Estas muestras fueron escogidas entre pavimentos de los que ya se conocía su tendencia a la retención de suciedad, por haber sido objeto de reclamaciones en condiciones de uso real, así como superficies con geometrías que priori podrían presentar este defecto.

Para ello, se analizó mediante microscopio óptico Figura la superficie de las piezas que habían manifestado la retención real de suciedad, comprobándose que las manchas tenían una coloración pardo negruzca y se localizaban en los valles de la superficie. Tras algunas pruebas combinando sólidos y fluidos orgánicos para favorecer la retención en la superficie, se analizó la influencia del tiempo de contacto y del mecanismo de penetración comparando los métodos de aplicación de deposición sin presión (cuentagotas), extensión con pincel y frotado con paño.

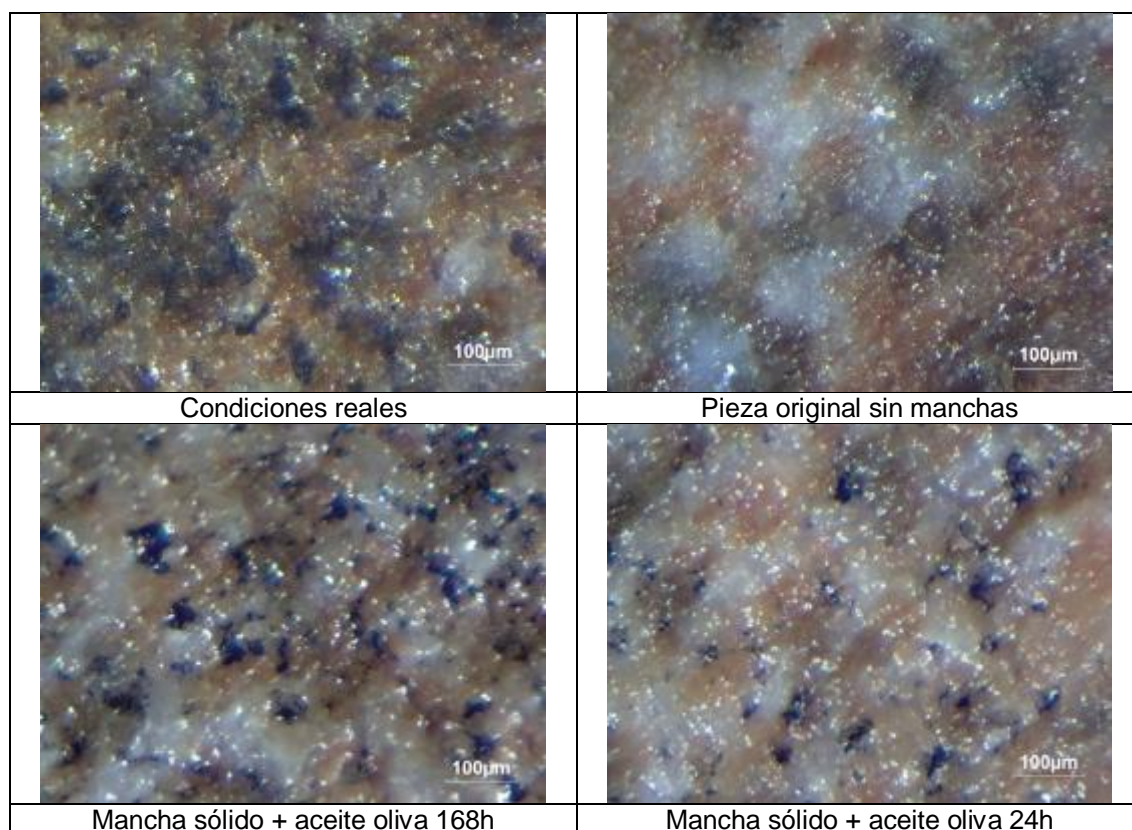


Figura 14 Fotografías comparativas de retención de suciedad en la muestra 10 (x2x4).

Por último, se analizó la influencia del tamaño de partícula y de la naturaleza del componente sólido en el nivel de retención superficial. Para ello se seleccionaron las cuatro muestras que mayor cambio habían manifestado en las pruebas previas. En la tabla Tabla se presentan comparativamente con los ensayos de grafito, los resultados obtenidos con los tres componentes sólidos evaluados en la Tarea 1.2.

Tabla14. Influencia de la distribución granulométrica del agente de manchado

MUESTRA	ΔE			
	Grafito	Talco	Harina	Cuarzo
C	17.20	13.41	2.28	1.08
M	2.00	4.07	0.98	0.18
F	4.60	3.04	1.69	1.31
21	1.25	1.96	0.86	0.33

Por otro lado, al comparar las diferencias de cambio de color (cuantificados como ΔE) entre los ensayos con talco y grafito, se aprecia que algunas muestras manifiestan mayor retención con el talco (Ej. muestras M) mientras que otras con el grafito (ej. muestra C). Considerando que la magnitud del cambio de color medido depende de la diferencia entre el color original de la superficie y el del agente de manchado, el cambio de la pieza oscura M se manifiesta más al machar con un agente blanco, y análogamente en la pieza rosácea se aprecia más con el grafito.

Esto implica que la variable de cambio de color basada en ΔE , siempre será dependiente de la distribución de colores en la superficie del pavimento, y por lo tanto no resulta adecuada para evaluar objetivamente la contribución de la geometría superficial, ya que para unos valores determinados de los parámetros topográficos la medida de cambio de color será distinta en función del color de la superficie. Por ello, será necesario definir una metodología que permita relacionar la topografía superficial del pavimento con su capacidad de retener suciedad, con independencia de su diseño cromático.

2.1.3. Siguiendo tareas a realizar

Se seleccionarán diferentes tipos de superficies y se evaluarán los cambios tanto a nivel superficial como a nivel prestacional originados por los procesos de limpieza habituales de los diferentes entornos a estudiar.

Se valorará cómo afectan tanto los mecanismos y elementos de limpieza usuales como los agentes químicos utilizados para desarrollar dichos procesos.

Se definirá una metodología de cuantificación de la retención de suciedad que sea independiente de los colores de la superficie y del agente de manchado, como fase previa al estudio de la influencia de la geometría superficial.

De todo ello se realizará una valoración tal y como se ha efectuado con los procesos de desgaste estudiados en la primera parte del proyecto.

2.2. Tarea 2.2. Estudio de la influencia de la geometría y composición del recubrimiento

2.2.1. Descripción actividades realizadas

2.2.1.1. Análisis de los parámetros topográficos de los pavimentos

La bibliografía consultada y los trabajos de investigación realizados previamente confirman que tanto el relieve macroscópico como la textura microscópica (rugosidad) pueden contribuir de forma significativa a potenciar las diferentes prestaciones requeridas en el pavimento.

Dado que el objetivo de la caracterización superficial de las muestras seleccionadas en la tarea 1.1 se orienta a analizar las características del diseño que mejoran y/o limitan determinadas funcionalidades de la superficie, se decidió utilizar simultáneamente ambos métodos de medida (perfil y áreas) al objeto de disponer la máxima información para definir las variables de mayor influencia.

Para cuantificar la geometría macroscópica se optó por aplicar el método de áreas a una superficie de mayor extensión (15x15 mm), cuyo promedio garantiza mayor representatividad y compensa parcialmente la heterogeneidad de la superficie.

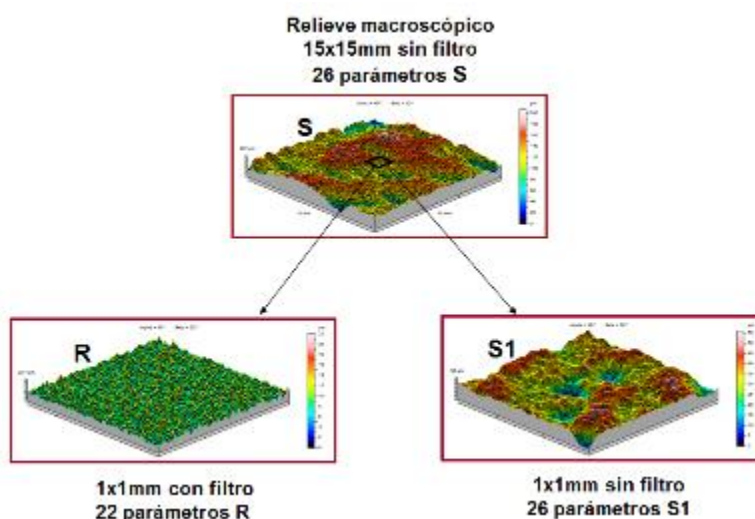


Figura 15. Esquema del procedimiento de caracterización superficial

En estas medidas se utilizó el perfil primario sin aplicar ningún proceso de filtrado de la superficie para no distorsionar la posible contribución de la geometría original (parámetros S).

Adicionalmente se caracterizó una superficie mucho más reducida (1x1 mm) con objeto de analizar textura microscópica presente sobre el relieve macroscópico. Sobre las mismas medidas topográficas absolutas de esta superficie se aplicó ambos métodos de análisis para obtener información del perfil filtrado (parámetros R) y del área no filtrada (parámetros S). Para estos últimos, se modificó la nomenclatura a S1 con objeto de diferenciarlos de los obtenidos para la superficie completa (15x15 mm).

Los parámetros disponibles para el análisis de las medidas se detallan a continuación:

Parámetros R.

- **Parámetros de amplitud:**

Asociados al valor absoluto de las ordenadas	
Altura máxima de pico respecto de la línea media.	Rp
Altura máxima pico-valle (longitud de muestreo)	Rz
Altura total pico-valle (longitud de evaluación)	Rt
Altura total pico-valle (longitud de evaluación) sin filtrar	Pt
Factor de asimetría del perfil	Rsk
Asociados al valor medio de las ordenadas	
Altura media de pico respecto de la línea media.	Rpm
Altura media pico-valle (longitud de muestreo)	Rc
Desviación media aritmética de la superficie	Ra
Desviación media cuadrática de la superficie	Rq

- **Parámetros de espaciamiento**

Relacionados con las distancias entre los picos	
Número de máximos de la superficie	D
Densidad de máximos normalizada	Rpc
Anchura media de los elementos del perfil	Rsm

- **Parámetros híbridos**

Relacionados con las pendientes de la superficie	
Pendiente media aritmética	da
Pendiente media cuadrática	Rdq
Cociente Longitud real / Longitud recorrida	lo
Longitud real del perfil	lmo

- **Parámetros funcionales**

Asociados a la distribución en la curva de Abbot-Firestone	
Tasa de material (picos más agudos A1)	Rdcpk*
Tasa de material (picos)	Rdcpk
Tasa de material (central)	Rdck
Tasa de material (valles)	Rdcvk
Tasa de material (valles más profundos A2)	Rdcvk*
Ratio relativo de picos respecto de la zona central del perfil	Rmr1
Ratio relativo de valles respecto de la zona central del perfil	Rmr2
Parámetro estadístico de picos	A1
Parámetro estadístico de valles	A2

- **Parámetros de ondulación**

Relacionados con el perfil de ondulación	
Profundidad de la ondulación	Wt
Volumen de retención de aceite	Vo(Rmr2)
Ondulación media del perfil	La
Media cuadrática de la ondulación media del perfil	Lq

Parámetros S y S1.

- **Parámetros de amplitud**

Asociados al valor absoluto de las ordenadas	
Altura máxima de pico respecto de la línea media.	Sp
Altura total pico-valle (longitud de muestreo)	Sz
Altura total pico-valle (longitud de evaluación)	St
Desviación media aritmética de la superficie	Sa
Desviación media cuadrática de la superficie	Sq
Factor de asimetría del perfil (<0 predominan valles, >0 picos)	Ssk
Curtosis (Aumenta para mayor agudeza de picos, valor central=3)	Sku

- **Parámetros de espaciamento**

Relacionados con las distancias entre los picos	
Número de máximos de la superficie	SPc
Densidad de máximos de la superficie	Sds
Relación de aspecto de textura de la superficie (Str=1 isotrópica)	Str
Longitud de caída autocorrelación (proporcional a ondulación del perfil)	Sal
Dirección de la textura	Std

- **Parámetros híbridos**

Relacionados con las pendientes de la superficie	
Media cuadrática de la pendiente de la superficie	Sdq
Relación de área superficial desarrollada	Sdr
Media aritmética de la curvatura de los máximos	Ssc
Dimensión fractal de la superficie	Sfd

- **Parámetros funcionales**

Asociados a la distribución en la curva de Abbot-Firestone	
Tasa de material (picos)	Spk(Lc8mm)
Tasa de material (central)	Sk(Lc8mm)
Tasa de material (valles)	Svk(Lc8mm)
Ratio relativo de picos respecto de la zona central del perfil	Sr1(Lc8mm)
Ratio relativo de valles respecto de la zona central del perfil	Sr2(Lc8mm)
Índice de superficie portante	Sbi
Índice de retención de líquidos central	Sci
Índice de retención de fluido en los valles	Svi
Profundidad de valle máxima	Sv

2.2.1.2. Desarrollo de superficies prototipo

Aunque en la selección de las muestras de pavimentos para el estudio, se intentó abarcar la gama más amplia posible de tipos de superficies, en su mayoría corresponden a superficies con lisas o con pequeños relieves heterogéneos. Al objeto de poder incluir también en el análisis otras tipologías de relieves con geometría y distribución predefinida, se decidió abordar el diseño de prototipos de superficies no disponibles actualmente.

Para ello se han iniciado dos líneas de trabajo basadas en el mecanizado de superficies y en el desarrollo superficial durante el proceso de cocción.

En el primer caso, se está utilizando un sistema para el mecanizado superficial sobre esmalte crudo

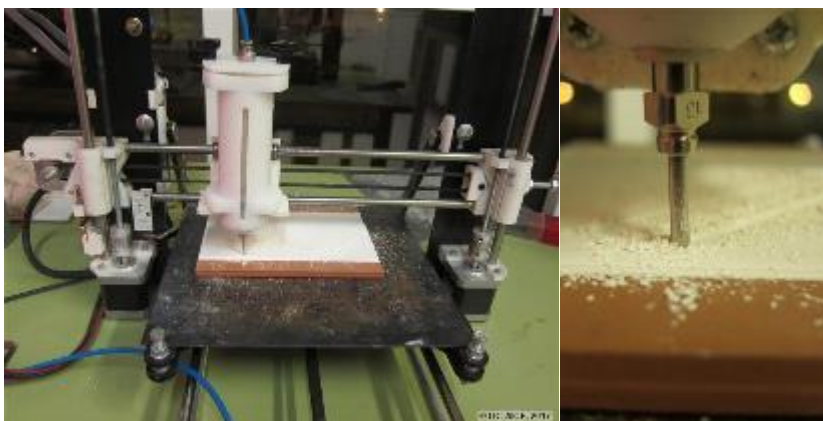


Figura 16. Sistema de mecanizado

En la figura se muestra el aspecto de una de las piezas obtenidas mediante este sistema de grabado superficial.



Figura 17. Aspecto del vidriado obtenido. S

La segunda línea de trabajo para el desarrollo de relieves se basa en la optimización de una antigua técnica para la generación de relieves en superficie durante la cocción, denominada tradicionalmente como “Camaleonte”. Se basa en el empleo de óxidos modificadores de la tensión superficial de los esmaltes, que provocan interacciones superficiales en el esmalte fundido capaces de generar el desarrollo volumétrico de la superficie.

En actualidad se está trabajando en la optimización del esmalte modificador al objeto de incrementar la altura de relieve alcanzado, que con el desarrollo actual queda limitada a aproximadamente 70 micras

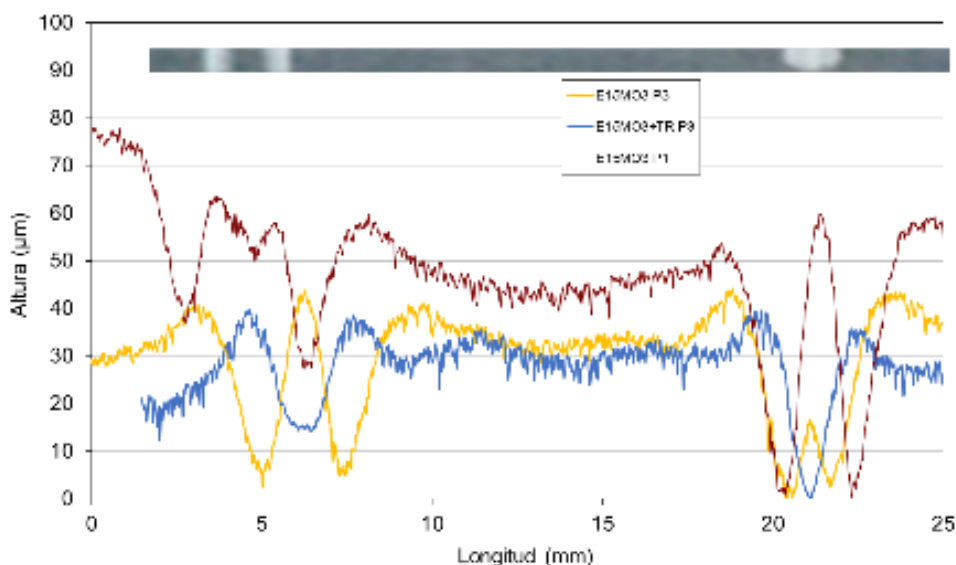


Figura 18. Desarrollo de composiciones para optimización del relieve

2.2.1.3. Búsqueda de condiciones de contaminante - pavimento cerámico con agarre intermedio respecto a las condiciones normalizadas actualmente para calzado

INESCOP realiza el análisis comparativo de COF en baldosas, representativas de los sectores de estudio, con geometrías y recubrimientos representativos de los entornos reales, con propuestas de calzado inicial. Para ser analizados posteriormente junto con ITC. (Estudio 2).

Una de las condiciones de ensayo normalizadas en la norma EN ISO 13287 es el pavimento de acero contaminado con glicerina. Esta condición es muy exigente y, por tanto, difícil de cumplir. Además, no es representativa de las condiciones reales que existen en los ambientes laborales. Considerando esta situación, se busca una condición de ensayo que sea más resbaladiza que la baldosa E2 contaminada con agua+detergente pero que, a su vez, no sea tan exigente como el acero con glicerina. Es decir, que se sitúe en un nivel de resbaladidad intermedia.

Se visita un prestigioso supermercado de la zona y nos proporcionan 2 tipos de pavimentos de gres porcelánico (uno menos resbaladizo que el otro, utilizados en distintos ambientes del supermercado en los que hay distinto riesgo de resbalamientos). La baldosa más resbaladiza (baldosa M1) se utiliza en las zonas de paso del supermercado. La baldosa menos resbaladiza (baldosa M2) se utiliza en las zonas de pescadería, en las que hay muchos líquidos y productos contaminantes sobre el suelo.

Por otro lado, proporcionan 2 tipos de detergentes de los que habitualmente se usan para limpiar ambos suelos, que denominaremos “detergente 1” y “detergente 2”.

Tanto las baldosas como los detergentes proporcionados representan las condiciones de uso real en el ambiente en estudio: supermercado.

Se comparan los niveles de COF que se obtienen en las condiciones reales de los ambientes laborales con los niveles de COF que se obtienen con las superficies y contaminantes de referencia de la norma EN ISO 13287: baldosa E2 contaminada con detergente y acero contaminado con glicerina.

Metodología:

Se realiza el ensayo de deslizamiento de tacón, según la norma EN ISO 13287, en 2 modelos de zapatos distintos:

- Un par de botas de calzado de seguridad con suela de poliuretano, de la talla 42, con referencia “N”.
- Un par de botas de calzado de seguridad con suela de caucho, de la talla 44, con referencia “O”.

El modelo “N” cumple en baldosa Eurotile con detergente y en acero con glicerina, por lo que su comportamiento es SRC. El modelo “O” cumple sólo en baldosa con detergente, por lo que su comportamiento es SRA.

El Modelo “N” presenta mayores niveles de agarre que el “O”, en las dos condiciones de ensayo normalizadas (Baldosa Eurotile y acero, con sus respectivos contaminantes).

Esta misma tendencia se observa con la baldosa M1, en la que el modelo “N” da mejores valores de COF que el “O”. Sin embargo, en la baldosa M2, mucho menos resbaladiza, ambos zapatos se comportan igual. Es decir, ambos modelos de zapatos van a responder igual en los ambientes en los que esté presente la baldosa M2 (por ejemplo, la pescadería del supermercado). Sin embargo, en el resto de supermercado, va a responder mejor el modelo “N”.

Parece ser que el comportamiento de estos dos modelos de zapatos es similar en condiciones de agarre elevado, pero que se van diferenciando conforme las condiciones de agarre, debidas al pavimento y al contaminante, disminuyen, siendo en estas condiciones mejor el modelo “N”.

La baldosa M1, que es más resbaladiza que la M2, contaminada con el detergente 1, tiene un comportamiento similar a la Eurotile con el detergente normalizado. Cuando cambiamos al detergente 2, los valores de COF bajan, aunque no al nivel de valores de acero con glicerina.

Sin embargo, la baldosa M2, que es la que más agarra y que está prevista para las zonas con mayor riesgo de resbalamientos, presenta un nivel de agarre muy superior, comparando siempre dentro de un mismo contaminante.

Finalmente, se pone de manifiesto que ensayar con las condiciones de pavimento y contaminantes de la norma es una necesidad para poder comparar el agarre de distintos zapatos. Sin embargo, esto no quita que sea interesante estudiar el agarre en las condiciones reales de los ambientes de uso, si es que se puede disponer de ellos. Es decir, con los pavimentos y contaminantes que se sabe que van a estar presentes en el ambiente laboral.

2.2.1.4. Búsqueda experimental de condiciones de pavimento cerámico-contaminante representativos de los ambientes laborales en estudio

En este estudio se seleccionan varios contaminantes líquidos y sólidos (aceites vegetal y mineral, harina), considerados más representativos en estos ambientes laborales. Se incluye en la comparativa la condición de seco. Se realiza también el ensayo con contaminantes estándar UNE EN-ISO 13287, agua jabonosa y glicerina, haciendo comparativas de COF con diversas muestras de calzado representativo de los sectores de estudio del proyecto y utilizando la baldosa cerámica estándar UNE EN-ISO 13287. (Estudio 3)

En el estudio anterior se ha estudiado la condición de baldosa contaminada con glicerina, como alternativa intermedia, en cuanto a resbaladidad, entre las dos condiciones contempladas actualmente en la norma En ISO 13287: baldosa E2 con agua + detergente y acero con glicerina.

Sin embargo, considerando el tipo de ambientes laborales en estudio en el proyecto (sanitario, alimentario e industrial), existen otros contaminantes más representativos que la glicerina en estos ambientes laborales. En este estudio se seleccionan varios y se hacen ensayos comparativos con las mismas muestras.

Las conclusiones de este estudio se pueden aplicar para seleccionar los contaminantes a utilizar en el paquete 4 de tareas, de forma conjunta entre ITC e INESCOP.

Se plantean los siguientes contaminantes:

- Seco
- Solución detergente que contiene una fracción másica de (0,5% de lauril sulfato sódico (SLS) en agua desmineralizada)
- Glicerina (Solución acuosa de glicerina, que contiene una fracción másica entre 85,6% y 92,8%, lo que conlleva una viscosidad de $(0,2 \pm 0,1)$ Pa.s a 23°C.
- Aceite de oliva virgen extra comercial
- Aceite mineral (TITAN HYD MR 1030)
- Harina de trigo comercial

En esta tarea, Inescop comprueba si se obtienen diferencias de COF significativas al ensayar distintas muestras de calzado, con la baldosa E2 contaminada con los contaminantes mencionados.

En base a los resultados, se decidirá, entre INESCOP e ITC, qué contaminantes se incluyen en el experimental del paquete 4, en base a si los resultados de COF son significativamente distintos o no.

Se seleccionan varios modelos de zapatos para su ensayo, fabricados con materiales de suela de distinta naturaleza polimérica, de acuerdo con las siguientes fotografías:

- Zueco todo polimérico de EVA MICROPOROSO VERDE, con referencia "P".
- Zapato con suela de PUR CELULAR COLOR GRIS, con referencia "Q".
- Zueco todo polimérico de CAUCHO TERMOPLÁSTICO (TR) COLOR BLANCO, con referencia "R".
- Zueco todo polimérico de PVC COLOR BLANCO, con referencia "S".
- Zapato con suela de EVA MICROPOROSO COLOR NEGRO, con referencia "T".

Se realiza el ensayo de resistencia al deslizamiento según norma UNE-EN ISO 13287:2013, con baldosa E2 contaminada con cada uno de los productos mencionados.



Ejemplos de detalles de los ensayos sobre pavimento con los contaminantes.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el orden de COF obtenido en los contaminantes estudiados es el siguiente:

Seco > agua+detergente = harina (40g) > aceite oliva = glicerina = aceite mineral.

Por tanto, para el paquete 4, en cuanto a elegir uno de estos 3 flúidos viscosos contaminantes estudiados, INESCOP plantea la selección de la glicerina.

2.2.1.5. Estudio del efecto del desgaste de la baldosa en el agarre, para evaluar la influencia del tratamiento de desgaste en la resistencia al deslizamiento de pavimentos cerámicos

Las baldosas utilizadas se desgastan aceleradamente en el ITC: Cada ciclo de simulación de desgaste equivale a aproximadamente 10.000 pisadas en condiciones reales de uso exterior. Con baldosas nuevas y desgastadas se realizan distintas medidas de COF con calzado representativo de los entornos de uso, con el fin de evaluar la influencia del tratamiento de desgaste peatonal simulado, con el método ITC, en la resistencia al deslizamiento de pavimentos cerámicos. (Estudio 5)

Con baldosas nuevas y desgastadas se realizan distintas medidas, con el fin de:

- Evaluar la influencia del tratamiento de desgaste en la resistencia al deslizamiento de pavimentos cerámicos.
- Buscar alternativas a la baldosa Eurotile 2 (E2), dado que ésta presenta un comportamiento variable en función de su grado de desgaste que puede implicar cambios en el COF de una misma muestra significativos (hasta 0,1): es decir, el hecho de ensayar un zapato con una baldosa Eurotile 2 nueva o usada (aunque dentro del rango de uso permitido por la norma) puede implicar que el COF del zapato cambie hasta en 0,1 unidades de COF, lo cual es un cambio muy significativo.

Las baldosas que se estudian son:

- **Referencia STD-P** desgastada en pulidora (equivalente a **60.000 pasos**)
- **Referencia 13**, desgastada en pulidora (equivalente a **120.000 pasos**)
- **Referencia 9** desgastada en pulidora (equivalente a **140.000 pasos**)
- **Eurotile 2** desgastada en pulidora

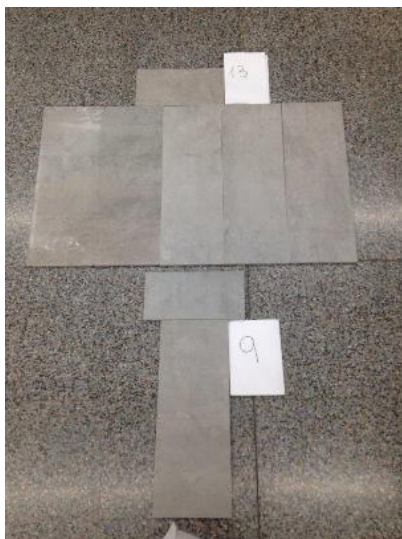


Imagen de baldosas 9 y 13, desgastadas y sin desgastar

Parte de estas baldosas se desgastan aceleradamente en el ITC, utilizando el método 3 descrito en la primera parte de este estudio: Cada ciclo de simulación de desgaste equivale a aproximadamente 10.000 pisadas en condiciones reales de uso exterior.

El estudio se realiza con calzado de uso profesional, de los ambientes sanitarios, alimentarios o industriales, seleccionado en la Tarea1:

Uso industrial:

- Modelo de calzado Referencia: SEG-LAB PUR 1, fabricado con suela-entresuela de PU/TPU film, para uso Industrial, S3.
- Modelo de calzado Referencia: SEG-LAB PURc, fabricado con suela de PUR celular/caucho compacto, para uso industrial en ambientes de altas temperaturas, S3.

Uso alimentario/sanitario:

- Modelo de calzado Referencia: SEG-LAB PURc2, fabricado con suela-entresuela de PUR celular/TPU compacto, para uso alimentario, S2.
- Modelo de calzado Referencia: SEG-LAB PUR 2, fabricado con suela de PUR monodensidad, para uso alimentario o sanitario, S2.
- Modelo de calzado Referencia: SEG-LAB EVA. Zueco todo polimérico, de EVA microporoso de color verde.

ITC también dispone de estas muestras para su estudio.

2.2.2. Siguiendo tareas a realizar

Se continuará generando datos topográficos y caracterizando las prestaciones de nuevas superficies, hasta alcanzar un número suficiente de datos muestrales, superior al número de variables topográficas, que permitan la aplicación del método de análisis multivariable mediante árboles de decisión., para confirmar la selección de las variables de diseño con mayor contribución a cada una de las prestaciones estudiadas (deslizamiento, retención de suciedad, etc.).

Se seguirá optimizando los procedimientos para el desarrollo de superficies prototipo, según las dos líneas de trabajo iniciadas, y se generaran los prototipos de diseño geométrico.

A partir de todos los resultados de los análisis multivariable para una de las propiedades técnicas requeridas, se establecerá la selección de las variables de diseño con mayor contribución a cada una de las prestaciones estudiadas (deslizamiento, retención de suciedad, etc.). Mediante la combinación de dichas se definirán los diseños superficiales óptimos para cada una de las prestaciones a considerar en los ámbitos laborales estudiados.

Relacionado con la búsqueda experimental de condiciones de pavimento cerámico-contaminante representativos de los ambientes laborales en estudio. Cruzando los calzados seleccionados, se procederá a realizar el ensayo con harina utilizando una dosificación mucho más baja y a realizar el ensayo con acero contaminado con glicerina.

Se debe acabar el experimental correspondiente al estudio 5, relacionado con el estudio del efecto del desgaste de la baldosa en el agarre del calzado, para evaluar la influencia del tratamiento de desgaste en la resistencia al deslizamiento de pavimentos cerámicos combinados con el calzado.

2.3. Tarea 2.3. Definición de las variables óptimas de diseño de la superficie del pavimento

Esta tarea está pendiente de desarrollo hasta que se disponga de los resultados de los análisis de las geometrías óptimas para cada prestación, necesarios para definir criterios de diseño que permitan garantizar el cumplimiento simultáneo de todos los requisitos funcionales exigibles en el ámbito laboral considerado.

3. Conclusiones

- La mayor parte de los pavimentos estudiados no modifican sus características estéticas con el desgaste. A pesar de ello, algunos tipos de superficies, pueden modificar sus prestaciones de forma acusada a lo largo de su vida útil.
- Respecto a las características técnicas estudiadas en el presente trabajo, se observa una retención de suciedad únicamente en un porcentaje muy bajo de materiales (superficies con relieves y rugosidad elevada). Sin embargo, la mayor parte de las muestras antideslizantes ensayadas han sufrido un descenso en su resistencia al deslizamiento más o menos acusado en función de su topografía original.
- Se han determinado los parámetros topográficos que presentan un cambio más importante con el desgaste de la superficie y que están, por tanto, relacionados con la pérdida de las prestaciones antideslizantes del material.
- Se ha desarrollado un método de laboratorio para simular la retención de suciedad sobre pavimentos instalados en entorno laborales. Los criterios de evaluación de los resultados cuantitativos de cambio de color no permiten la retención de suciedad puesto que deben del color de la superficie, por lo que será necesario definir un criterio objetivo de cuantificación relacionado con la influencia de la geometría superficial.