

CLASIFICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE SUELO DUROS EN FUNCIÓN DE SU RIESGO DE RESBALAMIENTO: UN NUEVO ENFOQUE PARA LOS RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS DE SUELO

⁽¹⁾ M. Engels, ⁽²⁾ A. Tenaglia,
⁽³⁾ G. Tari

- ⁽¹⁾ FGK Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe,
-Glas/Keramik- GmbH, Höhr-Grenzhausen, Alemania
⁽²⁾ Centro Ceramico di Bologna, Bologna, Italia
⁽³⁾ Ceram Research Ltd, Stoke-On-Trent, Reino Unido

RESUMEN

El Proyecto de Investigación Colectiva Europeo, "Desarrollo de Superficies Normalizadas Resistentes al Resbalamiento para un Ambiente más Seguro – SlipSTD" [1], realizado dentro del sexto programa marco, tiene como finalidad la reducción del número de accidentes por resbalamiento al aconsejar sobre las características para recubrimientos de suelo en áreas internas destinadas al uso peatonal, cuando éstas superficies sean susceptibles de contaminación por líquidos o contaminantes sólidos. Basándose en el potencial de resbalamiento del medio en el que se usan, se definen la especificación y el mantenimiento de estos productos. Las características principales de la superficie de los suelos asociadas a los pavimentos resistentes al resbalamiento han sido definidas usando topografía óptica 3D y se ha desarrollado un conocimiento fundamental sobre la influencia de las características de la superficie en las propiedades de resbalamiento en varios ambientes de recubrimientos de suelo duros. La Especificación Públicamente Disponible (SlipSTD PAS), generada en el proyecto, fomenta el uso primario de las medidas topográficas como un método objetivo, imparcial y preciso, para establecer la idoneidad de los recubrimientos de suelo duros (es decir, las baldosas cerámicas y la piedra natural) en términos de una clasificación de resistencia al resbalamiento, reduciendo de esta forma la necesidad de una diversidad en los métodos de medida de la resistencia al resbalamiento. Se comenta la investigación subyacente llevada a cabo, y se presenta el uso de los resultados para una clasificación basada en la valoración del riesgo, que tiene en cuenta la probabilidad y la naturaleza de la

contaminación que se espera encontrar en el ambiente peatonal en el que se va a instalar, y usar, un recubrimiento para el suelo.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación internacional, así como la estadística de accidentes [2,3] indican que la cantidad de accidentes producidos por resbalamiento y tropiezos es significativa, la mayor parte de estos se dan en suelos y recubrimientos contaminados, y se prevé que estos aumenten con el envejecimiento poblacional. En particular, las lesiones, reclamaciones y compensaciones derivadas de accidentes relacionados con caídas en áreas residenciales, accesibles para el público, las áreas comerciales privadas y los lugares de trabajo, representan un coste muy elevado para la comunidad, tanto en valor monetario, como en términos de sufrimiento de las personas. Para evitar estos accidentes, ya se ha dedicado un gran esfuerzo a comprender las causas que motivan tales accidentes y a reducir su incidencia y severidad [4].



Figura 1. Factores que contribuyen al potencial de resbalamiento (adaptado de www.hse.gov.uk).

Es comúnmente admitido que hay diversos factores medioambientales (superficies peatonales, calzado, iluminación y señalización), así como factores humanos (biomecánica, control neuromuscular, y capacidades sensoriales), que sólo se pueden predecir, y controlar, parcialmente, que contribuyen al riesgo de resbalamiento de un suelo dado (figura 1). En general, se acepta que la contaminación de la superficie del suelo con líquidos y sólidos es la causa principal que da origen a los accidentes por resbalamiento de peatones. La valoración de estas influencias es la base para la especificación del potencial de resbalamiento, el riesgo de que suceda el resbalamiento, y las acciones respectivas que han de ser adoptadas [5-7].

Un aspecto importante que puede regularse y controlarse es la resistencia al resbalamiento del recubrimiento de suelo. El conocimiento de los parámetros superficiales que influyen en la resistencia al resbalamiento nos ayudará en la se-

lección y en el uso, así como en el desarrollo de superficies resistentes al resbalamiento, contribuyendo al final a la reducción del número de accidentes. Para ello, se ha puesto en marcha el Proyecto Europeo SlipSTD, con un consorcio internacional que incluye a fabricantes, asociaciones de fabricantes de baldosas, arquitectos, Asociaciones de Salud y Seguridad, y Centros Líderes de Investigación Europea (figura 2), para obtener una mejor comprensión del efecto de las características de la superficie de las baldosas sobre la resistencia al resbalamiento, estudiando estas correlaciones en distintas situaciones en las que existe contaminación. El consorcio incluye a destacados expertos en superficies cerámicas, así como en tribología, biomecánica, normativas de salud y seguridad y tecnología de producción. Usando métodos de ensayo extendidos, se evaluaron las características superficiales con vistas a poder predecir la resistencia al resbalamiento de los recubrimientos de suelo a obtener, y para especificar los requisitos mínimos de superficie con respecto al riesgo de resbalamiento esperado en diferentes contextos de contaminación dados. Estos aspectos microestructurales se usaron entonces con la finalidad de realizar una clasificación de los recubrimientos de suelo duros, en combinación con las recomendaciones para evitar la contaminación de los pavimentos duros, encomendando la implementación de medidas de mantenimiento, limpieza y control. Con esta finalidad, se redactó en el proyecto una Especificación Públicamente Disponible (SlipSTD PAS) que promueve el uso primario de medidas topográficas como un método objetivo, imparcial y preciso para establecer la idoneidad de los recubrimientos de suelo duros (es decir, baldosas cerámicas y piedra natural) en términos de clasificación de la resistencia al resbalamiento.

Otro resultado tangible del proyecto, que se debatirá en las siguientes publicaciones, es el desarrollo de superficies normalizadas, que proporcionen una base fiable para la calibración de diferentes métodos de ensayo de la resistencia al resbalamiento, basado en una configuración de la superficie especificada y reproducible, con grados de resistencia al resbalamiento definidos.

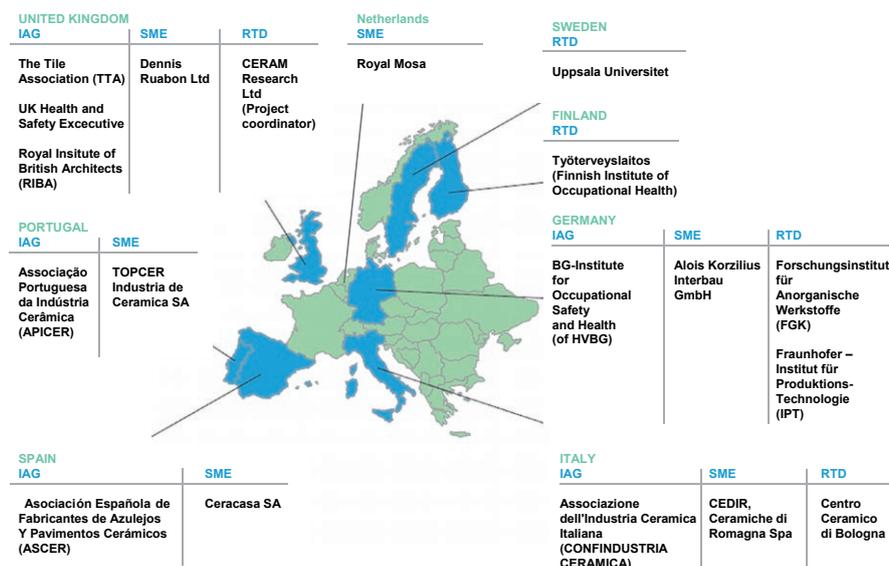


Figura 2. Los socios del consorcio internacional de SlipSTD (cortesía de CERAM). SME = pequeñas y medianas empresas, RTD = investigación y desarrollo técnico, IAG = Grupos y Asociaciones Industriales.

2. MEDIDA DE LA RESBALADICIDAD, FRICCIÓN Y RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE

La fricción ha sido adoptada comúnmente como indicador de la resbaladici-
dad del suelo. En el complejo sistema de resbalamiento en un suelo, influido por
la suela, el suelo y el medio que hay entre ambos (agua, contaminantes), se ha
identificado que la rugosidad de la superficie tiene un papel importante. La medida
del coeficiente de fricción entre el calzado y el suelo ha sido objeto de una amplia
investigación [8,9]. De todas formas, existen muy pocos estudios de campo que
combinan la fricción, la medida de la rugosidad y de la resbaladici-
dad con los métodos actuales. La documentación que está disponible indica que la medida de la
topografía de la superficie del suelo puede facilitar información adicional objetiva
y fiable para la medida de la fricción, que se sabe proporciona resultados dife-
rentes con los distintos métodos usados, debido a su dependencia de los ajustes
de la medida, la influencia que ejerce el operario, las condiciones de ensayo, y la
preparación de la superficie. Sin embargo, debido a la naturaleza de la superficie
cerámica, hay que cumplir requisitos especiales con respecto a las medidas y su
interpretación.

Un conocimiento fundamental de las superficies resistentes al resbalamiento
con respecto a la topografía (micro y macro estructuras o texturas) y la relevancia
de la estructura de la superficie en varios ambientes está basado, hoy por hoy, en
las medidas de la superficie usando los métodos comúnmente empleados de ensa-
yo táctil en 2D [4,10,11]. Hay un obstáculo clave que dificulta la puesta en marcha
de estas técnicas de medida en las superficies cerámicas, y éste es la limitación
del método táctil, que está basado en arrastrar la punta de un diamante sobre la
superficie. El gran ancho de banda de los perfiles de altura, que van desde super-
ficies lisas, planas y pulidas de baldosas, hasta superficies con relieve geométrico
con estructuras de hasta 1 mm o incluso más, efectos de arista, el posible engan-
che e incluso daño de la punta en la superficie hacen inviables la medida de mu-
chas de las superficies de baldosas utilizadas. Se presenta otra dificultad derivada
del carácter tridimensional de la mayoría de las superficies de baldosas, que no se
obtienen por medio de medidas de perfil 2D. El equipamiento que hay disponible
para la medida topográfica a microescala sin contacto en 3D, basada en el uso de
desplazamientos espectrales e interferencias en la reflexión de la luz por medio de
sensores o microscopios, nos da el intervalo de altura deseado, así como resolu-
ciones laterales regulables y la capacidad de mapeo tridimensional de superficies
representativas más grandes[12].

Se han especificado y normalizado varios parámetros de superficie basados
en el perfil, y en medidas 2D para describir e identificar, de forma única, las su-
perficies. Se usan con frecuencia para superficies mecanizadas como criterios de
control de comportamiento y calidad. Se han normalizado parámetros que tratan
la amplitud y forma de las irregularidades de la superficie, que describen la distri-
bución de la superficie y del espaciado, así como los parámetros combinados (tabla
1) [13-17].

Definición de los parámetros de superficie básicos usados			
Ra	Promedio aritmético de las alturas del perfil/promedio de la línea central	EN ISO 4287	A
Rq	Cuadrado medio de la raíz de las alturas de perfil	EN ISO 4287	A
Rz	Promedio de altura pico-a-valle dentro de una longitud de muestreo simple	EN ISO 4287	A
Rt	Altura máxima pico-a-valle dentro de la longitud de muestreo	EN ISO 4287	A
Rp	Altura máxima del perfil por encima de la línea media dentro de la longitud de medida	EN ISO 4287	A
Rv	Profundidad máxima del perfil debajo de la línea media dentro de la longitud de medida	EN ISO 4287	A
Rsk	Asimetría del perfil	EN ISO 4287	S
Rku	Agudeza del perfil	EN ISO 4287	S
Rk	Profundidad de rugosidad kernel o profundidad rugosidad nuclear (curva relación materiales)	EN ISO 13565-2	C
Rpk	Altura de pico reducida (curva relación materiales)	EN ISO 13565-2	C
Rvk	Profundidad valle reducida (curva relación materiales)	EN ISO 13565-2	C

Tabla 1. Definición de los parámetros superficiales básicos comúnmente usados. A = parámetro de amplitud, S = Parámetro de forma, H = parámetro combinado. Los parámetros son parámetros calculados de rugosidad. Se han marcado con la indicación "P", en vez de "R" aquellos parámetros primarios similares que pueden derivarse del perfil no filtrado.

Los parámetros de superficie se basan en la descripción del perfil de irregularidades medido en la superficie como un espectro de las longitudes de onda distintas. El cálculo de los parámetros de rugosidad de la superficie de este perfil incluye la aplicación de un mecanismo de filtrado, usando la denominada longitud de corte, una longitud de filtrado que suprime las longitudes de onda de superficie que estén por encima del valor especificado: las longitudes de corte más largas incluyen más componentes del perfil de ondulación de la superficie, una longitud de corte menor, más componentes del perfil de microrrugosidad de la superficie. Los ajustes adecuados para tratar el perfil medido se normalizan para las medidas 2D [17]. Estos parámetros sirven como indicador del comportamiento para el proceso de fabricación de la superficie. La descripción de la superficie con respecto a las características funcionales de fricción, sin embargo, requieren parámetros físicos. En este sentido, los parámetros de perfil primarios han tenido que ser incluidos en los análisis realizados.

El uso del valor Rz para indicar y controlar el comportamiento de la superficie cerámica en relación con las propiedades de resistencia al resbalamiento, usando

medidores de microrrugosidad de dos dimensiones disponible en el mercado, ya se ha descrito [4] como un enfoque práctico basado en la experiencia. El parámetro Rz se puede ver influido, no obstante, por artefactos sencillos (pinchados, poros) que no contribuyan a la funcionalidad de la resistencia al resbalamiento, siendo el efecto más fuerte para las medidas en 2 dimensiones [13]. En la bibliografía, por tanto, se aconseja el uso de microscopia (de electrones) para verificar la validez de estos valores de parámetros [18]. Se observa que el valor Ra, al calcular la media del perfil, reprime información esencial de la superficie: diferentes tipos de perfil (con posibles funcionalidades de resbalamiento distintas) pueden medirse con el mismo Ra [13].

El análisis de la bibliografía sobre el uso de los parámetros de rugosidad medidos con 2D para el análisis de fricción[8,10,19,20,21] confirma, sin embargo, la necesidad de un área de medida más grande, así como el uso de otros parámetros (o incluso combinaciones) que los parámetros comúnmente usados Ra y Rz para las superficies cerámicas. Se señala que los parámetros de amplitud que describen el perfil, los parámetros de espaciado, así como los parámetros basados en la curva de relación del material (tabla 1) tienen un mejor potencial para describir las características de fricción. El hecho de que la mayor parte de los resultados comentados se derivaron de baldosas lisas (Ra 10 – 20 μm) con métodos de medida de resbalamiento que no se usan habitualmente para la clasificación de la resistencia al resbalamiento, ilustra, no obstante, el uso limitado con finalidades de clasificación.

Una conclusión importante que se puede sacar de la bibliografía es que la especificación exacta de las consignas de medida, la longitud de corte, y la resolución de la medida son requisitos para las medidas de tipo comparativo. La definición de una medida que no presente ambigüedad se espera que sea incluso más crítica para las técnicas de medida en tres dimensiones con un grado alto de complejidad; la especificación de los parámetros en 3D relevantes basados en el área y las consignas de medida se encuentran todavía en desarrollo[23].

Esta situación confirma la necesidad de investigar un nuevo conjunto de parámetros tridimensionales físicos para describir la superficie, evaluados por medio de un método de medida que sea capaz de operar en el intervalo común de superficies de baldosas, en relación con la funcionalidad de resistencia al resbalamiento, tal y como han sido obtenidos con los métodos de clasificación de resbalamiento dominantes. El consorcio incluyó toda la experiencia de relevancia para llevar a cabo esta investigación.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La investigación realizada se ha basado en un inventario de superficies de baldosas, caracterizadas por medio de métodos de ensayo normalizados para bal-

dosas¹, además de los métodos dominantes de muestreo de las propiedades de resbalamiento.

Como método de medida de la superficie en 3D se usó un perfilómetro óptico (FRT MicroProf®), usando la aberración cromática longitudinal y midiendo el desplazamiento del espectro reflejado de un haz de luz longitudinal. El equipo es capaz de medir un intervalo de altura de 3 mm (resolución vertical 3 nm), y una resolución lateral de 2 µm, capaz de medir un área de superficie de 300 x 300 mm. Se realizaron medidas 3D por medio de este aparato, a partir de las cuales se han podido calcular los perfiles 2D.

Para validar el método, se realizó un inventario extensivo, en comparación con un equipo de medida táctil Mitutoyo SurfTest 201 (90°, con radio de punta de 5 µm), basado en el uso de los ajustes de medida de dos dimensiones tal y como están descritos en la EN ISO 4288 [13,17]. Usando estas consignas, se compararon los resultados de las medidas de dos dimensiones y de tres dimensiones para distinguir ajustes de longitud de corte² y resoluciones de medida en superficies cerámicas. Los resultados demuestran que los parámetros de amplitud como Rz en especial muestran grandes variaciones debido a la naturaleza heterogénea de las superficies cerámicas. Se han encontrado diferencias significativas en los resultados de medición entre los métodos, incluso usando resoluciones laterales moderadas (0,1 mm). Basándonos en las conclusiones de estos resultados, confirmadas por los análisis de microscopio, resulta preferible usar la topografía óptica para la representación estadística de las superficies cerámicas para la investigación del proyecto.

Ya que la normalización del procedimiento de medida 3D aún está en fase de desarrollo, la investigación se ha centrado en el desarrollo de procedimientos de medida adaptados con un grado de precisión y de repetibilidad suficientes, que se pueden especificar ahora de acuerdo con la EN ISO 4288, usando una resolución lateral de 0,1 mm en un área total de medida de 56x56 mm, y una frecuencia de medida de 30 a 100 Hz usando una corrección polinómica del tercer grado para desviaciones de planitud. Para los datos primarios no filtrados del análisis de correlación, así como para el parámetro de rugosidad, se usaron el filtrado de longitud de corte de acuerdo con la EN ISO 4288.

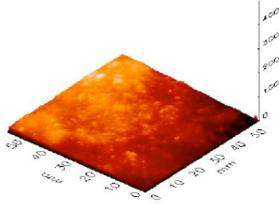
Los resultados, los cuales (como las referencias en la bibliografía) pueden ser sesgados debido a la preparación de las muestras, así como las diferencias en la producción de las baldosas [10,11,20], presentaban una desviación máxima del 5% (baldosas con microrrugosidad) hasta el 10% (baldosas con relieve) usando la misma baldosa, baldosas distintas de un mismo lote, y por técnicas de medida comparables con las mismas consignas, disponibles dentro del consorcio.

1. EN 14411: 2006 "Baldosas – Definiciones, clasificación, características y marcado".

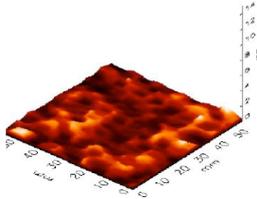
2. En la mayor parte de la bibliografía citada, se usa un filtro de corrección de fase gaussiana básica para generar el perfil.



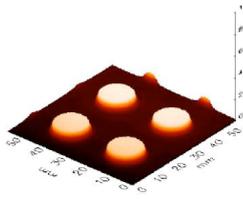
Grupo 1 Superficie lisa
con valores de:
Pk = 2.34 μm
Pp = 38.73 μm



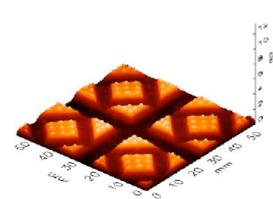
Grupo 2 Superficie granulada,
sin relieve con valores de:
Pk = 58.37 μm
Pp = 258.26 μm



Grupo 3 Superficie estructurada
con valores de:
Pk = 396 μm
Pp = 563 μm



Grupo 3 Superficie con relieve
con valores de:
Pk = 368 μm
Pp = 983 μm



Grupo 3 Superficie con relieve
con asperezas con valores de
Pk = 923 μm
Pp = 1183 μm

Figura 3. Ejemplos del intervalo de superficies de baldosas sometidas a ensayo.

Para el presente análisis de correlación se sometieron a ensayo un total de 18 baldosas (de entrada, denominadas con resistencia al resbalamiento "baja", "media" y "alta", con superficies de baldosas diferentes, desde lisa hasta con relieve (figura 3)), así como 22 baldosas re-muestreadas adicionales, éstas últimas usando sólo métodos seleccionados de ensayo a la resistencia de resbalamiento.

Basándose en las posibilidades de la medida por topografía óptica, tanto los parámetros de los datos de rugosidad (tabla 1) como los parámetros de datos primarios no filtrados, medidos en áreas representativas de cada baldosa, se correlacionaron con las medidas de resistencia al resbalamiento común (mientras el perfil permitiera una medida válida):

- El ensayo de la rampa de acuerdo con la DIN 51130 (aceite, calzado) y la DIN 51097 (agua, detergente, descalzo)
- el péndulo de acuerdo con la BS 7976 (deslizaderas 4S y TRRL, en húmedo y seco)
- el ensayo Tortus de acuerdo con la BCRA (con cuero y goma, en seco y húmedo)
- el equipo de ensayo biomecánico de acuerdo con la EN 13287 adaptada (calzado distinto, glicerol y agua con detergente, con consignas específicas (fuerza normal 400 N, velocidad de deslizamiento horizontal 0,3 m/s, resbalamiento de tacón hacia delante con un ángulo de contacto (7°).

Como base para el análisis de correlación se usó el valor de coeficiente de determinación R^2 , derivado de cada correlación gráfica entre el parámetro de super-

ficie y la medida de resbalamiento específica. Este valor especifica la variación en la variable dependiente (valor de resistencia al resbalamiento) que se puede predecir a partir de la variación de la variable de predicción independiente (parámetro de superficie) e indica la validez y sensibilidad de la correlación. Estos valores han sido clasificados como "significativo" (mayor de 0,79), "Moderado" (0,55 – 0,79) y "Sin correlación" (por debajo de 0,1).

Tras un primer agrupamiento de las baldosas en "microrrugosas" (10 baldosas) y "con relieve" (8 baldosas), se evaluó la primera puntuación de correlaciones con cada método de medida de resbalamiento. Tras esta primera fase, se investigó el agrupamiento de baldosas evaluando los cambios en las correlaciones al reagrupar las baldosas con un mismo perfil granulado, por debajo de ser estructuradas o incluso perfiladas, para encontrar el ajuste de transición de superficie límite del intervalo de superficies desde la microrrugosa a la estructurada y perfilada. Este re-agrupamiento (con el uso de baldosas re-muestreadas) se usó para verificar la consistencia del agrupamiento. Basándose en esta evaluación iterativa, se establecieron las características para el agrupamiento de las baldosas y la clasificación de las mismas como "seguras cuando se contaminan con agua" (sobre la base de las correlaciones con el ensayo de rampa según la DIN 51079, el péndulo en húmedo, Tortus en húmedo y los ensayos biomecánicos basados en agua. Se hizo lo mismo para las condiciones de "seguras cuando se contaminan con otros elementos contaminantes líquidos con una viscosidad superior a la del agua, como pueden ser el aceite o la grasa", sobre la base de las correlaciones con el ensayo de la rampa según la DIN 51130 y los ensayos biomecánicos basados en glicerol.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presentamos aquí las conclusiones principales ya que una discusión sobre las correlaciones individuales excedería el ámbito de este trabajo. La investigación no ha sido usada con la finalidad de evaluar la validez de los métodos de medida del resbalamiento, sino las diferencias en la variabilidad de la medida del resbalamiento para los diferentes grupos de superficie que influyen sobre las correlaciones establecidas.

Se estableció que los parámetros primarios (tal y como se esperaba) muestran realmente una mejor correlación con la resistencia al resbalamiento que los parámetros de rugosidad calculados. En concreto, los parámetros primarios Pk (rugosidad nuclear de la curva de porción del material [15], figura 4) y el valor Pp (altura máxima del perfil sobre la línea media del mismo [16], figura 5) muestran correlaciones consistentes que van desde "moderada" hasta incluso "significativa", lo que parece comprensible, debido a su definición, que indica la correlación a la fricción bajo condiciones de carga (Pk) y agarre (Pp).

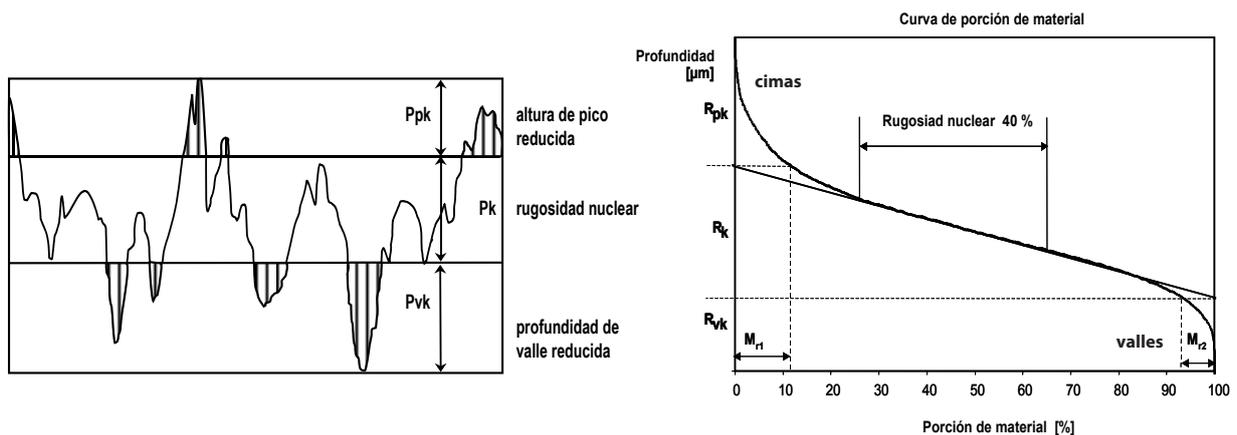


Figura 4. Profundidad de la rugosidad nuclear del perfil de rugosidad nuclear del área que soporta la carga en la superficie, calculada a partir de la curva de relación de materiales (EN ISO 13565-2) a partir de los puntos de corte de la línea de mejor ajuste, que muestra la gradiente más baja, sobre el 40% de la porción de material, sobre el eje Y en la porción de los materiales = 0 % y 100%.

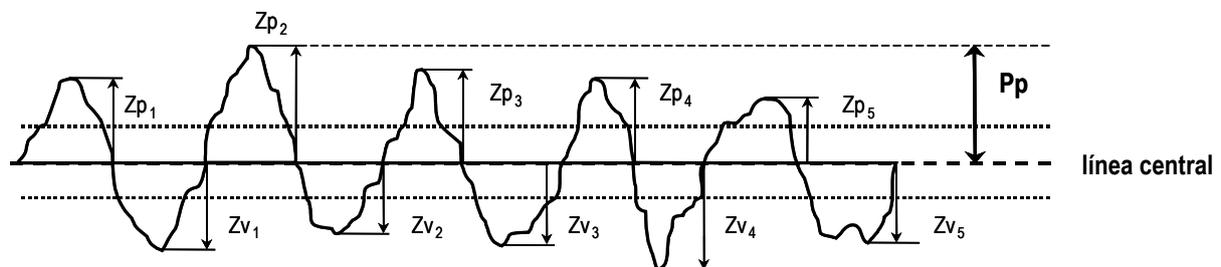


Figura 5. Altura máxima del perfil por encima de la línea media dentro de la longitud de muestreo (EN ISO 4287).

Se sometieron a ensayo estos parámetros para facilitar los medios para especificar un agrupamiento relevante de las superficies (ver figura 3):

- Grupo 1. Superficies lisas con $P_k < 50 \mu\text{m}$. Las superficies peatonales dentro de este grupo tienden a ser resbaladizas cuando son contaminadas. Para estas superficies no se puede definir ninguna correlación general de relevancia con los distintos métodos de medida, especialmente con contaminación de aceite, ya que son significativos otros parámetros distintos a la topografía de la superficie, llevando a grandes diferencias en los diferentes métodos de ensayo de reslamiento. Esto vale para la mayor parte de baldosas pulidas.
- Grupo 2. Superficies sin relieve, esencialmente uniformes, con un toque granulado con $50 \mu\text{m} < P_k < 100 \mu\text{m}$ y $90 \mu\text{m} < P_p < 200 \mu\text{m}$. Estas son baldosas que se pueden describir como "microrrugosas".
- Grupo 3. Superficies con relieve, texturadas o estructuradas con $P_k > 100 \mu\text{m}$ y $P_p > 200 \mu\text{m}$. Este intervalo incluye una rugosidad mayor así como superficies con relieve. Se pueden aplicar parámetros de superficie adicionales para este intervalo, con vista a investigar la resistencia al resbala-

miento desde un punto de vista funcional, incluyendo aspectos geométricos y factores de forma para distintos componentes de la textura de la superficie. En el proyecto, se han desarrollado distintas técnicas de segmentación para tratar, por separado, estos aspectos.

La relevancia de la agrupación se ilustra en la figura 6: los diferentes grupos de superficie presentan correlaciones distintas con la resistencia al resbalamiento. Esto implica que los estudios comparativos, tal y como se ha utilizado con propósitos de clasificación, al solapar el intervalo total de superficies, no siempre puede encontrar una correlación general.

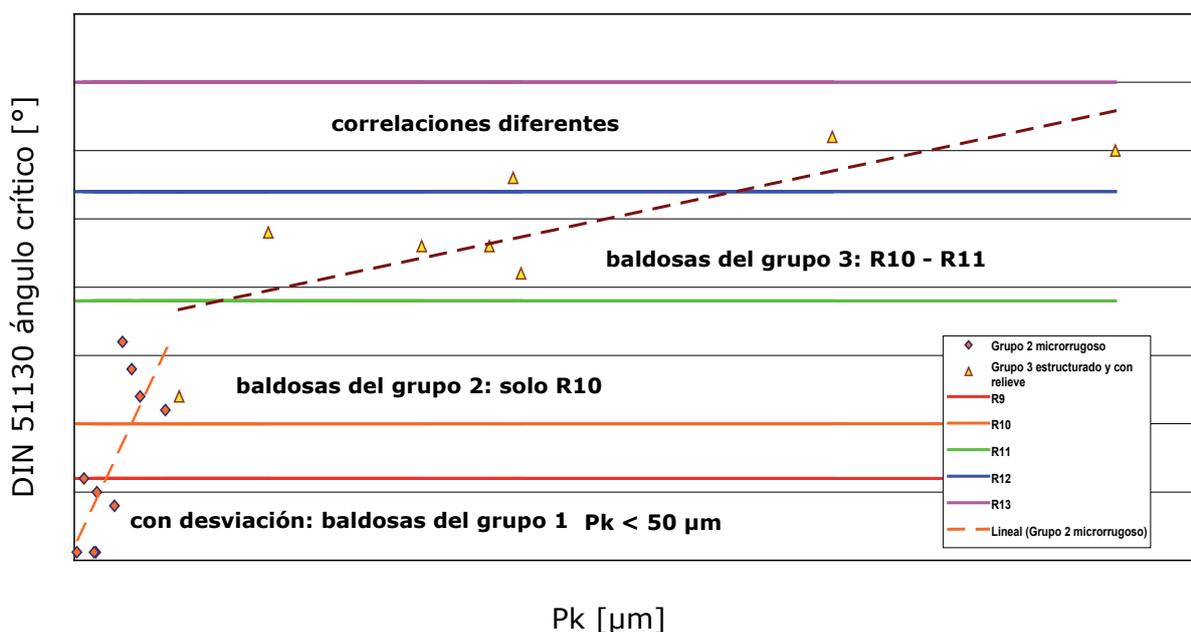


Figura 6. Correlación de P_k con la resistencia al resbalamiento según la DIN 51130.

La relevancia de estos parámetros se confirma mediante el uso de los mismos para predecir la resistencia al resbalamiento tal y como ésta ha sido definida por distintos métodos. Se ha alcanzado un nivel de fiabilidad en la predicción de hasta el 90%, lo cual ha llevado al desarrollo de reglas de diseño basadas en la superficie para que las PYMES participantes desarrollaran superficies resistentes al resbalamiento. Estas consignas estarán disponibles en el futuro.

5. LA ESPECIFICACIÓN PÚBLICAMENTE DISPONIBLE – EL DOCUMENTO SLIPSTD DE PAS

Se admite que los resultados de este estudio preliminar requieren una validación adecuada. El consorcio SlipSTD cree que los resultados son un punto de partida inicial para lograr un método de caracterización armonizado para medir la resistencia al resbalamiento de los recubrimientos de suelo, basándose en la caracterización de la superficie, y probablemente eliminando la necesidad de múltiples ensayos de resistencia al resbalamiento.

Basándose en las investigaciones llevadas a cabo, el Documento PAS, que estará disponible a través de las organizaciones industriales implicadas en el proyecto, divide los recubrimientos de suelo duros en tres clases, de acuerdo con la existencia e implementación de una limpieza reconstituyente, y de medidas de control, con la finalidad de reducir el riesgo de los accidentes de resbalamiento, para lo cual se han formulado unas recomendaciones específicas[24]:

- **Clase 1:** Recubrimientos de suelo duros para áreas peatonales internas que estén previsiblemente limpias, y donde se realiza mantenimiento de forma habitual. En este caso, no se han de establecer requisitos de superficie, debido a la baja probabilidad de resbalamiento que presentan.
- **Clase 2A:** Recubrimientos de suelo duros para áreas peatonales internas susceptibles de contaminación con agua y/o contaminantes secos.
- **Clase 2B:** Recubrimientos de suelo duros para áreas peatonales internas susceptibles de contaminación con otros contaminantes líquidos con una viscosidad mayor que el agua, como pueden ser el aceite y la grasa.

Las tres clases ayudan a identificar los controles disponibles, incluyendo la selección de los recubrimientos adecuados, especificados usando la caracterización de superficie desarrollada para reducir el riesgo de resbalamiento (tabla 2). Los recubrimientos de suelo secos y limpios de cualquier grupo presentan un potencial de resbalamiento bajo. Debido a la limpiabilidad y la posible influencia en la resistencia al resbalamiento por la retención de la contaminación no es aconsejable usar recubrimientos de suelo con las superficies del Grupo 2 y del Grupo 3 en áreas previsiblemente secas y limpias. Por consiguiente, sólo se especifica la superficie de los recubrimientos de suelo en áreas susceptibles de contaminación (Clases 2A y 2B), a la salida de la fábrica y después de su colocación, en la tabla 3.

	Grupos de superficie		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Clase 1	Sin requisitos	Sin requisitos / no recomendable	Sin requisitos / no recomendable
Clase 2A	No aplicable	$P_k > 50 \mu\text{m}$ y $P_p > 90 \mu\text{m}$	$P_k > 100 \mu\text{m}$ y $P_p > 200 \mu\text{m}$
Clase 2B	No aplicable	No aplicable	$P_k > 150 \mu\text{m}$ y $P_p > 300 \mu\text{m}$

Tabla 3. Propuesta para las características de los recubrimientos de suelo duros para áreas peatonales internas, a la salida de la fábrica y después de la colocación

Además de las características propuestas en la tabla 3, también se espera que los recubrimientos de suelo duros usados en áreas susceptibles de contamina-

ción cumplan con los valores de resistencia al resbalamiento nacionales y con las normativas y directivas existentes, algunas de las cuales se citan en el documento PAS.

6. CONCLUSIÓN

El proyecto SlipSTD propone usar un enfoque distinto en cuanto a la evaluación del riesgo de resbalamiento de los recubrimientos de suelo duros, al medir las propiedades de la superficie y al establecer aquellas características de la superficie que mejor se correlacionen con la resistencia al resbalamiento, tal y como viene determinada en los métodos de ensayo establecidos. Aunque el consorcio SlipSTD reconoce que los resultados del estudio preliminar requieren de una validación adecuada, el consorcio cree que los resultados son un punto de partida importante para lograr el objetivo último de establecer un método de caracterización armonizado para medir la resistencia al resbalamiento de los recubrimientos de suelo basado en la caracterización de la superficie.

AGRADECIMIENTOS

De parte del consorcio del proyecto, los autores quieren agradecer a la Comisión Europea por la cofinanciación de la investigación a través del Sexto Programa Marco para la Investigación y Desarrollo Tecnológico (Actividades de Investigación Horizontal con la participación de PYMES – Esquema de Investigación Colectivo).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tari, G, Engels, M., 'The SlipSTD European Collective Research Project: Development of slip resistant standard surfaces', Qualicer 2008, X Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico, Castellón España, Vol. 3, pp. Pos-135 – Pos-137.
- [2] Accident statistics 2007, Health and Safety Executive, Reino Unido (www.hse.gov.uk).
- [3] Occupational Accident statistics, BGIA 2007.
- [4] Carpenter, J., Lazarus, D., Perkins, C., 'Safer surfaces to walk on – reducing the risk of slipping', CIRIA C652, Classic House Londres , 2006, ISBN 978 – 86017 – 652 – 7.
- [5] Thorpe, S.C., Lemon, P.W, and Taylor, S.N, 'Assessment and prevention of pedestrian slip accidents in workplace and public areas: The UK approach', in Haslam R.A. and Stubbs D.A. (eds.), 'Understanding and preventing fall accidents', Taylor and Francis Publishing, 2006.

- [6] Grönqvist, R., Abeysekera, J., Gard, G., Hsiang, S.M., Leamon, T.B., Newman, D.J., Gielo-Perczak, K., Lockhart, T.E., and Pai, C.Y.-C., 'Human-centered approaches in slipperiness measurement, *Ergonomics*', Vol. 44, No. 13 (2001), pp. 1167-1199.
- [7] Liberty Mutual – Preventing slips and falls – Floor cleaning and maintenance, LP 5410 R1, 2005.
- [8] Chang W.R., Grönqvist R., Leclercq S., Brungraber R.J., Mattke U., Strandberg L., Thorpe S., Myung R., Makkonnen L., Courtney T.K., 'The role of friction in the measurement of slipperiness, Part 2: Survey of friction measurement devices', *Ergonomics* 13/44 (2001), pp. 1233 – 1261.
- [9] Grönqvist R., Chang W.R., Courtney T.K., Leamon T.B., Redfern M.S., Strandberg L., 'Measurement of slipperiness: fundamental concepts and definitions', *Ergonomics* 13/44 (2001), pp. 1102 – 1117.
- [10] Chang W.R., Grönqvist R., Hirvonen M., Matz S., 'The effect of surface waviness on the friction between Neolite and quarry tiles', *Ergonomics*, 8/47 (2004), pp. 890 – 906.
- [11] Chang, W.R., Hirvonen, M., Grönqvist, R., 'The effects of cut-off length on surface roughness parameters and their correlation with transition friction', *Safety Science* 42 (2004) pp. 755 – 769.
- [12] Volk, R., 'Rauheitsmessung – Theorie und Praxis', DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2005 Beuth Verlag GmbH, ISBN 3-410-15918-5.
- [13] Sorg, H., 'Praxis der Rauheitsmessung und Oberflächenbeurteilung', 1995, Carl Hanser Verlag München, ISBN 3-446-17528-8.
- [14] Ardelt, T., Barth, C., Daus, N., Eichgrün, K., Hessel, D., Kreis, R., Pähler, D., Sdchäfer, L., Schmidt, C., Spengler, C., Sroka, F., 'Charakterisierung keramischer Oberflächen – Teil 1', *IDR*, 35 (2001), Nr. 2, 48 – 57, 'Teil 2', *IDR*, 35 (2001), Nr. 4, pp. 346 – 351.
- [15] EN ISO 13565 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties, Part 2: 1997 Height characterization using the linear material ratio curve (ISO 13565-2:1996).
- [16] EN ISO 4287:1997 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters.
- [17] EN ISO 4288: 1997 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – rules and procedures for the assessment of surface texture.
- [18] Pham-Gia, K., Melcher, K., Mörtel, H., Voit, K., 'Application of laser scanning Microscopy in the development of highly abrasion-resistant glazes for fast fired hard paste porcelain', *Cfi/Ber. DKG* 78 (2001) No. 8, pp. E34 - E39.
- [19] Li, K.W., W.R. Chang, T. B. Leamon and C. J. Chen, 'Floor slipperiness measurement: friction coefficient, roughness of floors, and subjective perception under spillage conditions', *Safety Science*, 42(6) (2004), pp. 547-565.
- [20] Grönqvist, R., Matz, S., Hirvonen, M., 'Dynamic friction in the shoe-floor interface with respect to floor surface roughness and contamination', en prensa.

- [21] Grönqvist, R., Roine, J., Järvinen, E., Korhonen, E., 'An apparatus and a method for determining the slip resistance of shoes and floors by simulation of human foot motions', *Ergonomics* 8/32 (1989), pp. 979 – 995.
- [22] Heldt, E, 'Oberflächenrauheit – Bemerkungen zu ausgewählten Spitzenwerten – Rz, Rt und Rmax – unter den Senkrechtrgrößen', *Quality Engineering* 5/2006, pp. 40 – 43.
- [23] Engel, u., '3D-Oberflächenanalyse – Methoden, Kenngrößen, Anwendungen', *Mat.-wiss. U. Werkstofftech.* 31 (2000), pp. 747 – 753.
- [24] SlipSTD Publicly Available Specification (SlipSTD PAS): Classification of hard floor coverings according to their contribution to reduce the risk of pedestrian slipping, Julio de 2009 (www.slipstd.com).