

EVALUACIÓN CONTINUA DE DIFERENTES RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS DE SUELO UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAYO DE FRICCIÓN

Grant Davidson

Tile Council of North America, Estados Unidos de América

RESUMEN

La norma ANSI A326.3, *American National Standard Test Method for Measuring Dynamic Coefficient of Friction of Hard Surface Flooring Materials*, (Método normalizado de ensayo estadounidense para medir el coeficiente de fricción dinámico de recubrimientos de suelo duros) se revisó en 2021 para incluir cinco "clasificaciones de uso de producto" (ver Tabla 1, abajo). Desde la publicación de esta norma, en febrero de 2022, los fabricantes han estado proponiendo clasificaciones para que sus productos la cumplan.

Clasificación	Categoría de referencia	Criterio
Interior, Seco	ID	$\geq 0,42$ DCOF* en seco (según la Sección 10.1)
Interior, Mojado	IW	$\geq 0,42$ DCOF* en húmedo (según la Sección 9.1) o declarado por el fabricante
Interior, Mojado Plus	IW+	Declarado por el fabricante
Exterior, Mojado	EW	Declarado por el fabricante
Aceites/Grasas	O/G	Declarado por el fabricante

Tabla 1: Clasificación de uso de producto

El criterio "0,42" del coeficiente de fricción dinámico (DCOF) en seco y en húmedo se mantiene desde la versión de 2017 de A326.3 y ha sido utilizado por la industria de baldosas cerámicas de los EE. UU. durante 10 años. El nuevo requisito "declarado por el fabricante" (Sección 3.4) permite a los fabricantes definir sus propios criterios internos de selección, que se pueden basar en los resultados de cualquier método de medida de la fricción. Como los fabricantes pueden definir valores límite usando cualquier metodología, se ha iniciado una investigación en el Tile Council of North America (TCNA) (Consejo Cerámico de Norteamérica) para evaluar diferentes baldosas cerámicas en función de tres diferentes métodos de medida de fricción:

- 1) ANSI A326.3 (ensayo de DCOF en seco con un tribómetro BOT 3000E).
- 2) DIN/EN 16165 Anexo B (ensayo del valor "R" usando una rampa "alemana").
- 3) DIN/EN 16165 Anexo C (ensayo de resistencia al deslizamiento con un péndulo) con la aportación de algunos resultados de ASTM E303 a efectos comparativos.

La presente investigación ampliará el trabajo presentado en la IEA Conference de junio de 2023 en Toronto e incluye posteriores investigaciones realizadas en el TCNA. Para Qualicer 2024 se esperan los resultados de 100 productos. Este trabajo es el primero de estas características, en el que se comparan resultados de ensayos sobre diferentes baldosas cerámicas con declaraciones de fabricantes reales según ANSI A326.3. Por tanto, es de esperar que tenga implicaciones significativas sobre el futuro desarrollo de ANSI A326.3. Además, los fabricantes podrán utilizar las conclusiones de este trabajo para definir mejor sus declaraciones A326.3 y entender mejor cómo funcionan los diferentes métodos de ensayo y dispositivos con ciertos productos en función de las características superficiales de estos productos.

INTRODUCCIÓN

Si se utilizan individualmente, las medidas de la fricción superficial (por ejemplo, coeficiente de fricción dinámico, valores de ensayo del péndulo, valores R del ensayo de la rampa) se pueden percibir equívocamente como el único indicador de la resbaladidad de una superficie. Aunque tales medidas son útiles para la evaluación de la tracción relativa de una superficie, hay muchos otros aspectos relacionados con la resistencia al deslizamiento que deberían considerarse, especialmente por los fabricantes, prescriptores y consumidores de baldosas cerámicas (y todos los otros tipos de recubrimientos de suelo duros). Para proporcionar un criterio normalizado que permita la consideración de diferentes factores relacionados con la resistencia al deslizamiento, y para facilitar una mejor información sobre dónde se pueden usar estos productos, basada en sus características de resistencia al deslizamiento, el método normalizado de ensayo ANSI A326.3, *American National Standard Test Method for Measuring Dynamic Coefficient of Friction of Hard Surface Flooring Materials*, (*Método de ensayo normalizado estadounidense para medir el coeficiente de fricción dinámico de recubrimientos de suelo duros*) requiere que los productos se clasifiquen en una o más de las cinco "clasificaciones de uso de producto".

Este sistema único de clasificación está basado en las declaraciones del fabricante, lo que significa que los fabricantes deben definir su propio criterio interno para clasificar sus productos basándose en múltiples parámetros relacionados con la tracción.

Como hay muchos métodos de ensayo de fricción que se pueden usar como parte de un criterio interno de selección, se inició una investigación para evaluar las baldosas cerámicas usando tres métodos muy conocidos para medir la fricción superficial: ANSI A326.3 usando un equipo BOT 3000E, DIN/EN 16165¹ Anexo B usando una rampa de ángulo variable y DIN/EN Anexo C usando un péndulo. En septiembre de 2023 se habían recogido cerca de 100 productos, 59 de los cuales habían sido evaluados por los tres métodos. Cuando todos los productos recogidos se hayan ensayado por todos los métodos, se analizarán los resultados en busca de tendencias y conocimientos relativos a la clasificación de uso de producto declarada, ciertas características superficiales y otros factores.

ANTECEDENTES

La presentación de Davidson en Qualicer 2022 señalaba que el coeficiente de fricción dinámico (DCOF) se presenta a menudo erróneamente como el único indicador de la resbaladidad de una superficie². De forma análoga, los valores obtenidos en los ensayos del péndulo y de la rampa corresponden a condiciones de ensayo específicas y no representan un valor único aplicable a todos los aspectos de la resistencia al deslizamiento. En muchas ocasiones, estos valores solos no son suficiente para determinar dónde se pueden instalar los productos. Sin embargo, cuando se relacionan o se comparan con otros factores relacionados con la tracción, tales como el drenaje de líquidos o la presencia de texturas/perfiles tridimensionales, se puede obtener una imagen más completa relacionada con el uso del producto.

La norma ANSI A326.3³, que contiene un método de ensayo para medir el coeficiente de fricción dinámico (DCOF⁴) de recubrimientos de suelo duros en el laboratorio y en suelos reales, requiere que los productos estén clasificados en una o más de las cinco clasificaciones de uso de producto mostradas en la **Tabla 1**. Este sistema único no se parece a ningún otro del mercado norteamericano y requiere que los fabricantes definan criterios internos de selección de producto para su clasificación, basados en múltiples parámetros relacionados con la tracción⁵. En consecuencia, los fabricantes no están limitados a usar un criterio único de medida, ni se les requiere el uso de un tribómetro específico (algunos de los cuales pueden producir valores engañosos dependiendo de las características de la superficie que midan⁶).

¹ DIN/EN 16165 se titula *Determination of slip resistance of pedestrian surface – Methods of evaluation* y contiene métodos de ensayo con una rampa de ángulo variable (descalzo y calzado), un péndulo y un tribómetro.

² Davidson, G. (2022, June). *Slip Resistance—Advancements in Product Use Categories for Hard Surface Flooring and Adoption of Standards into North American Building Codes*. Qualicer 2022, Castelló, España.

³ La norma ANSI A326.3 se publicó inicialmente en 2017. Se basaba esencialmente en criterios previamente normalizados y publicados en ANSI A137.1 e incluye un método de ensayo para medir el coeficiente de fricción dinámico (DCOF) en seco y en húmedo de recubrimientos de suelo duros en el laboratorio o en los suelos reales. En 2021, fue actualizada para proporcionar cinco categorías de uso de producto para recubrimientos de suelo duros. Se puede descargar una copia gratuita de ANSI A326.3 en <https://tcnatile.com/resource-center/dynamic-coefficient-of-friction/>.

⁴ El DCOF, como se define en la ANSI A326.3, es la relación de la fuerza necesaria para mantener una superficie ya en movimiento deslizándose sobre otra superficie, dividida por el peso (o fuerza normal) del objeto que se desliza. Este valor puede cambiar con la presencia de diferentes contaminantes tales como polvo, agua, jabón, aceite o grasa.

⁵ Para más información sobre las declaraciones de los fabricantes, véase las Secciones 3.0 and 4.0 de ANSI A326.3.

⁶ La estructura/textura superficial, que puede mejorar la tracción al caminar debido al trabado mecánico, puede dar lugar a que algunos tribómetros realizan el ensayo por los "picos" de la superficie, midiendo solamente ciertos puntos altos en vez de hacer contacto constante a lo largo del recorrido de la medida. De forma análoga, las juntas de colocación y los cantos de las baldosas pueden afectar los resultados.

Clasificación	Categoría de referencia	Criterio
Interior, Seco	ID	$\geq 0,42$ DCOF* en seco (según a Sección 10.1)
Interior, Mojado	IW	$\geq 0,42$ DCOF* en húmedo (según la Sección 9.1) o declarado por el fabricante
Interior, Mojado Plus	IW+	Declarado por el fabricante
Exterior, Mojado	EW	Declarado por el fabricante
Aceites/Grasas	O/G	Declarado por el fabricante

Tabla 1: Clasificación de uso de producto

Este concepto es como la regla de trabajo alemana ASR A1.5⁷ que relaciona los grupos "R"⁸ obtenidos según DIN/EN 16165 Anexo B con varios escenarios de uso, con la diferencia clave que el nuevo sistema de ANSI A326.3 no se basa en un único método de ensayo y permite que se consideren varios factores

Dado el reciente desarrollo del sistema de uso de producto, hay interés por parte de los fabricantes cerámicos en Norteamérica en avanzar en la comprensión del efecto de ciertas características superficiales sobre las medidas de los equipos de ensayo utilizados habitualmente. Además, actualmente no se dispone de investigaciones que comparen los resultados obtenidos utilizando metodologías de ensayo conocidas con las clasificaciones A326.3 declaradas por el fabricante.

ALCANCE DEL ESTUDIO

El objetivo clave de esta investigación era evaluar diferentes baldosas cerámicas usando tres métodos muy conocidos para medir la resistencia a la fricción. Los resultados se utilizarán para buscar tendencias y perspectivas relacionadas con las clasificaciones de uso de producto ANSI A326.3 asignadas a cada una de las baldosas.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

RECOGIDA DE PRODUCTOS

Comenzando en marzo de 2023, diferentes productos cerámicos (no porcelánicos), porcelánicos y de gres rústico (*quarry tile*) fueron donados por diferentes fabricantes que comercializan baldosas en el mercado norteamericano. Para septiembre de 2023, se habían recogido 100 productos, aunque es posible que el número aumente antes del congreso Qualicer 2024. A septiembre de 2023, se han ensayado 59 productos mediante tres diferentes metodologías, descritas en las siguientes secciones de este trabajo.

⁷ La ASR A1.5 es una Regla Técnica alemana para Lugares de Trabajo que relaciona los grupos "R" con aplicaciones específicas del recubrimiento de suelo.

⁸ Los grupos "R" o valores "R", derivan de los ángulos a los que operadores humanos, con arnés y llevando calzado normalizado, "resbalan" en una rampa con inclinación creciente, impregnada de aceite.

ENSAYO DE DCOF EN HÚMEDO SEGÚN ANSI A326.3

La metodología utilizada para evaluar el DCOF en húmedo para cada producto fue ANSI A326.3 Sección 9.0⁹. El ensayo consiste en un tribómetro automático tipo patín (para esta investigación se usó un BOT 3000E), utilizando un patín SBR con una solución de lauril sulfato de sodio al 0,05% (SLS) para determinar el valor del DCOF en húmedo en cuatro direcciones diferentes. El error de operación está limitado por el uso de una superficie de referencia.

ENSAYO DE LA RAMPA SEGÚN DIN/EN 16165 ANEXO B

La metodología utilizada para determinar el valor de "R" para cada tipo de producto fue DIN/EN 16165 Anexo B⁹. El ensayo consiste en determinar el ángulo de deslizamiento de dos personas que, calzadas con zapatos normalizados, pasean sobre un plano cubierto previamente de forma uniforme con aceite. El ángulo medio de deslizamiento obtenido del ensayo de múltiples operarios se usa para expresar el grado de deslizamiento como un valor "R".

ENSAYO DEL PÉNDULO SEGÚN DIN/EN 16165 ANEXO C

La metodología utilizada para determinar el valor del ensayo del péndulo (PTV₉₆) para cada producto fue DIN/EN 16165 Anexo C.⁹ El ensayo requiere el uso de un equipo de fricción por péndulo para medir la pérdida de energía mientras una suela de caucho normalizada se desliza sobre una probeta de ensayo. El material utilizado fue Slider 96 y todas las superficies se ensayaron en húmedo, en condiciones de laboratorio. Se ignoró el criterio de planitud contenido en la Sección C.3.4 a efectos de la investigación, para entender mejor cómo afectan ciertos patrones de textura superficial a los resultados.

Hay otras normas de ensayo del péndulo además de la DIN/EN 16165 Anexo C. Un método comúnmente utilizado es el ASTM E303 *Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester (Método normalizado de ensayo para medir las características de fricción superficial con el equipo de péndulo británico)*.

DIN/EN 16165 Anexo C requiere la preparación del sensor usando papel abrasivo P400 y lámina abrasiva rosa; ASTM E303 requiere el uso de un paño de carburo de silicio 60. El trabajo de Bowman, Strautins y Do¹⁰ demostró que la preparación de los patines tenía un impacto significativo sobre los resultados del péndulo sobre piedra. Para evaluar este efecto sobre las baldosas cerámicas, se obtuvieron resultados de ASTM 303 sobre unos cuantos productos, para comparar el efecto de la preparación de un patín 96 con paño de carburo de silicio 60 y con papel abrasivo P400 y lámina abrasiva rosa.

⁹ Se utilizará la misma metodología para medir los productos que no se han ensayado a septiembre de 2023.

¹⁰ Bowman, R., Strautins, C., Do, M. (2005). Beware of conflicting stone slip resistance reports. *Discovering Stone*, (7), 26-34.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Desglose de productos

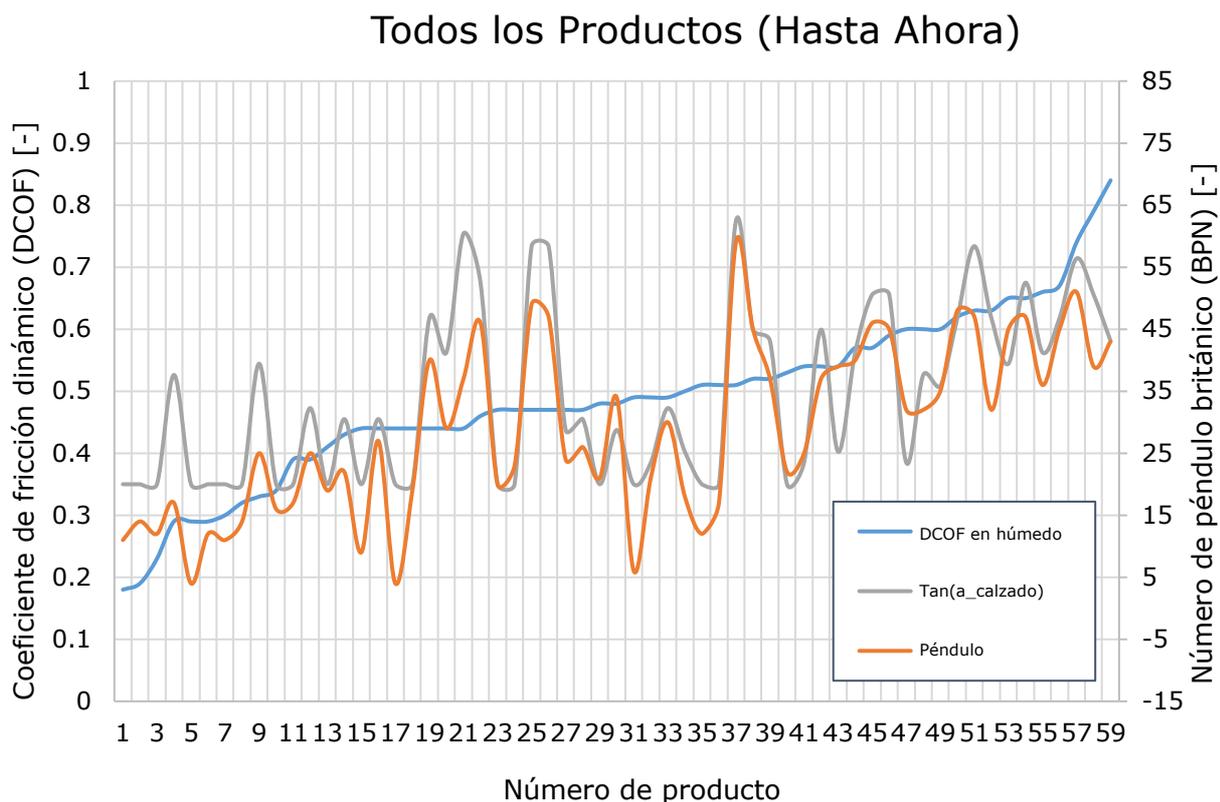
La **Tabla 2** muestra el desglose de las clasificaciones de uso de productos A326.3 para los 59 productos que se han ensayado completamente por las tres metodologías. Los 59 productos ensayados cubren un amplio rango de tipos de textura superficial. Las descripciones por los fabricantes de las texturas superficiales de los productos incluían, entre otras, pulido, satinado, vidriado, brillante, esmaltado, mate, lapeado, relieve, no pulido, texturado, pisado y abrasivo.

Categoría de referencia	Número de productos ensayados
ID	17
IW	20
IW+	7
EW	8
O/G	7

Tabla 2: Desglose de productos ensayados por su clasificación A326.3

RESULTADOS PRELIMINARES

En la **Gráfica 1** se muestran los resultados de los ensayos de DCOF en húmedo, rampa y péndulo para 50 productos, a septiembre de 2023.



Gráfica 1: Resultados preliminares

Los resultados se ordenan en base al DCOF en húmedo de menor a mayor. Los valores de α_{calzado} resultantes obtenidos del ensayo DIN/EN 16165 Anexo B se convirtieron a valores de coeficiente de fricción tomando la tangente del ángulo^{11,12}. Los resultados del péndulo se representan sobre su propio eje "y". Se muestran los valores individuales de todos los productos, sin tener en cuenta la clasificación de uso de producto declarada ni las características superficiales definidas. Es de destacar que hay áreas en las que los resultados de los tres métodos se solapan, otras en las que divergen y otras en las que uno de los métodos no se alinea con los otros dos.

En la **Tabla 3** se muestran los resultados de DIN/EN 16165 Anexo C en comparación con ASTM E303 (para diez productos seleccionados al azar).

Número de producto	Resultados de DIN/EN 16165 Anexo C (PTV ₉₆)	Resultados promedio de ASTM E303 (BPN)
4	17	28
8	14	19
11	17	24
14	22	35
33	30	45
34	18	24
44	40	47
45	46	53
48	32	41
56	45	50

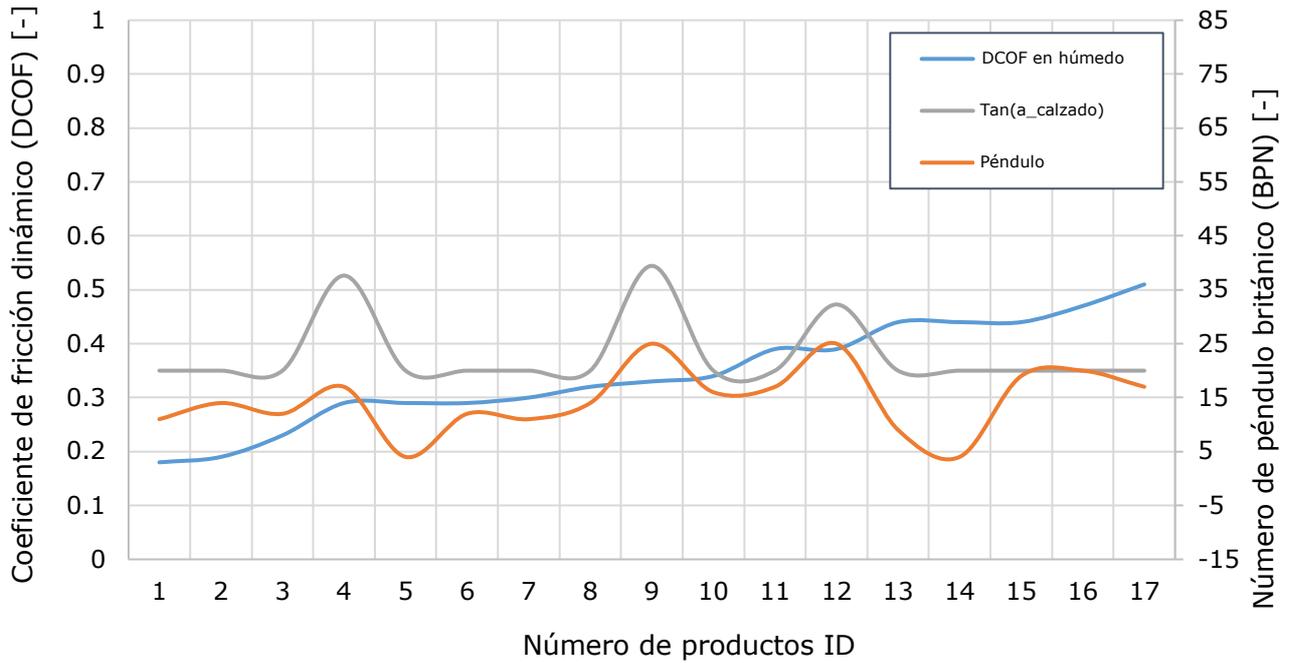
Tabla 3: Resultados de DIN/EN 16165 Anexo C frente a ASTM E303

Los resultados de la **Tabla 3** muestran claramente un efecto similar de la preparación del sensor al demostrado por Bowman, Strautins y Do. El uso de paño de carburo de silicio 60 para la preparación del sensor, en lugar de papel abrasivo P400 y lámina abrasiva rosa produce generalmente resultados del péndulo significativamente más altos. Los fabricantes deben tener cuidado si se basan en los resultados de las pruebas ASTM E303 como parte de un criterio interno de selección para sus clasificaciones de uso de producto ANSI A326.3: el acondicionamiento con paño de carburo de silicio 60 da como resultado un sensor más rugoso que puede no ser capaz de medir correctamente las muestras.

¹¹ En su trabajo titulado *System oriented concept for testing and assessment of the slip resistance of safety, protective and occupational footwear*, Jens Sebald utilizó la ecuación $\alpha = \tan^{-1}(\mu)$ para convertir los ángulos de la rampa al coeficiente de fricción dinámico.

¹² La línea de $\tan(\alpha_{\text{calzado}})$ se ha desplazado hacia arriba con 0,35 unidades en el eje del DCOF, por motivos de visualización.

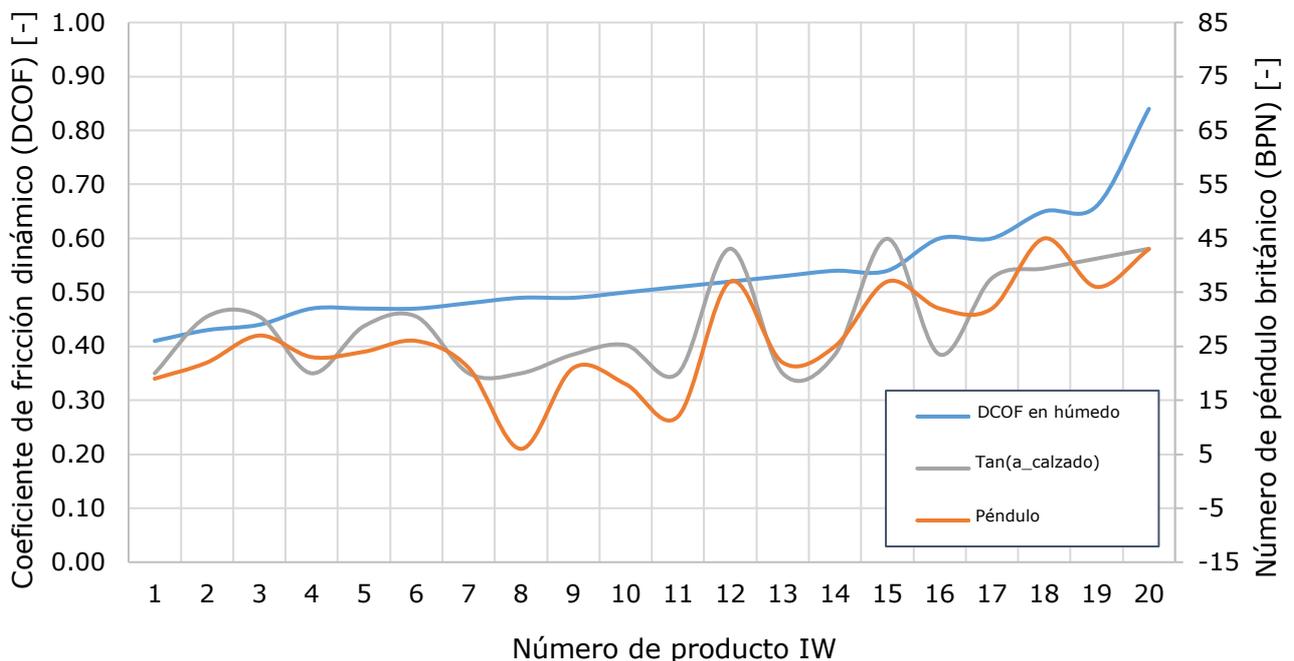
Interior, Resultados de Producto Seco



Gráfica 2: Interior, Resultados de Producto Seco (ID)

Hay algunas divergencias entre los resultados de los tres métodos de ensayo utilizados sobre los productos ID. Sin embargo, estos productos se van a instalar en áreas donde el suelo permanecerá seco. Aunque un futuro aspecto a considerar sería evaluar la textura superficial de estos productos, los resultados de los tres métodos son relativamente bajos, debido principalmente a que la mayor parte de las superficies son pulidas o muy lisas.

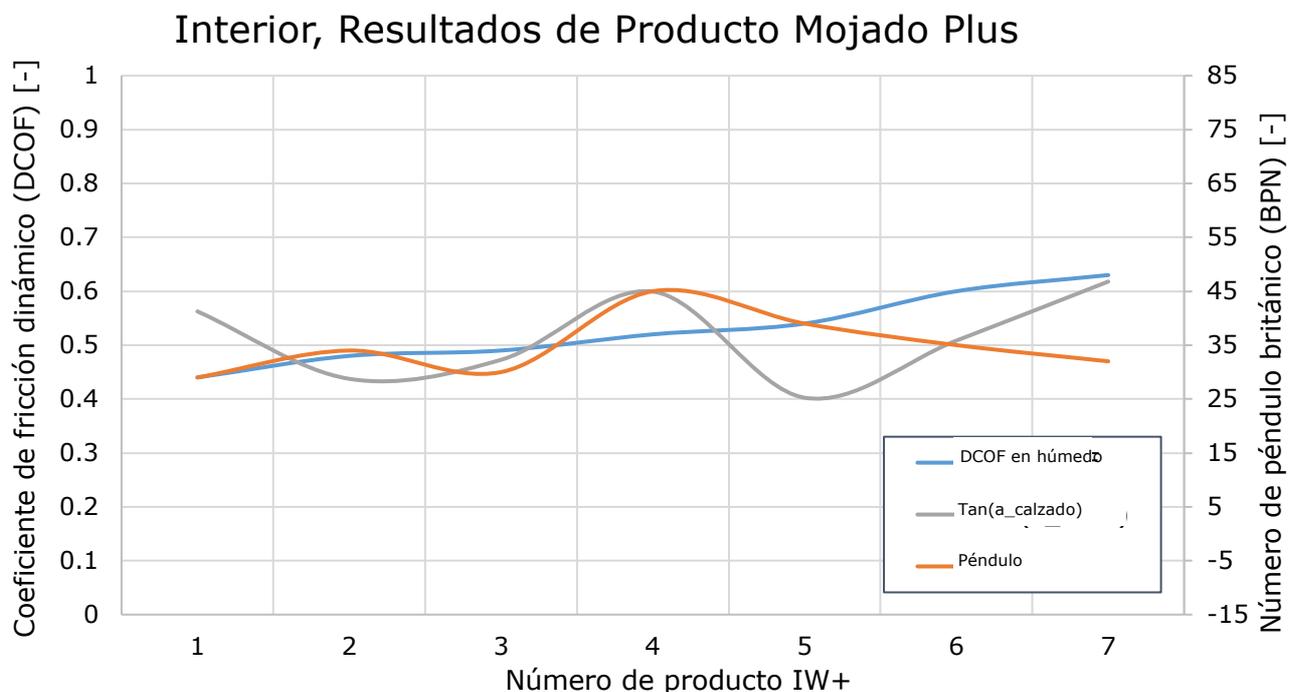
Interior, Resultados de Producto Mojado



Gráfica 3: Interior, Resultados de Producto Mojado (IW)

El criterio para los productos IW es que deben ser declarados por el fabricante o tener un valor mínimo de DCOF en húmedo de 0,42 o superior según ANSI A326.3. Atendiendo únicamente al criterio de 0,42, solo el primer producto de la **Gráfica 3** no cumple el criterio. Los otros productos lo cumplían, pero hay varias áreas en las que los resultados de la rampa y del péndulo eran considerablemente más bajos que los resultados de DCOF. Hay dos factores clave a considerar en adelante con este trabajo:

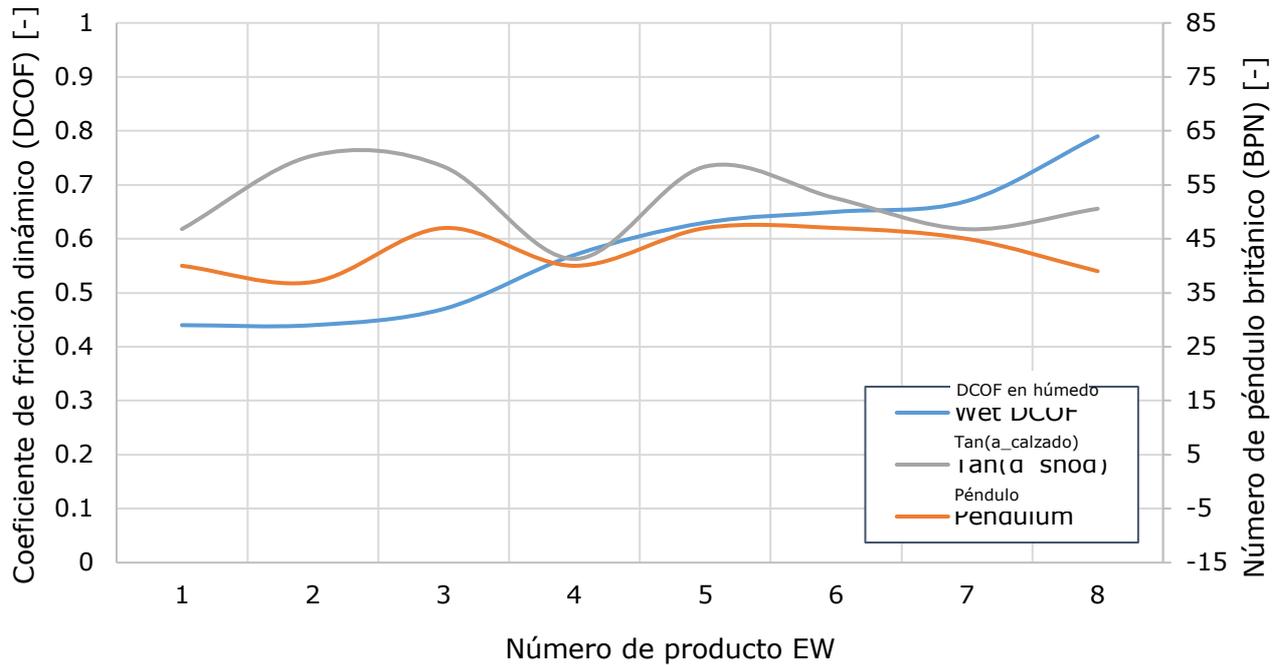
- 1) **Textura superficial del producto:** Los productos IW presentaban un amplio intervalo de acabados definidos por el fabricante y la observación cualitativa mostraba un amplio intervalo de texturas entre los productos. Sin embargo, el papel que juega la textura sobre la diferencia entre los resultados de los ensayos de los tres métodos todavía no se ha evaluado en este estudio. Los factores específicos relacionados con la textura se deben evaluar más adelante.
- 2) **Contaminantes de ensayo:** La norma ANSI A326.3 requiere la utilización de solución SLS al 0,05%, DIN/EN 16165 Anexo B de aceite de motor y DIN/EN 16165 Anexo C de agua potable. Un aspecto que se evaluará más adelante es cómo se ven afectados los resultados de cada método por el uso de los diferentes contaminantes. Por ejemplo, los resultados de la rampa usando agua potable o la solución SLS sobre productos no clasificados como "Aceites/Grasas" darían información valiosa sobre la tracción de la superficie para productos destinados a áreas con presencia de contaminantes de base acuosa.



Gráfica 4: Interior, Resultados de Producto Mojado Plus (IW+)

Los productos IW+ requieren una declaración del fabricante, lo que significa que el fabricante tiene que definir su propio criterio interno de selección de producto. Es de destacar que se han ensayado cuatro productos de mosaico, todos ellos clasificados como IW+. Los otros tres productos fueron designados por el fabricante como acabado superficial "mate", pero el grado de textura superficial variaba. Además de investigar los factores clave mostrados en la **Gráfica 3**, una investigación sobre cómo afectan los cantos del mosaico a los resultados de los ensayos por los tres métodos daría una información valiosa.

Exterior, Resultados de Producto Mojado



Gráfica 5: Exterior, Resultados de Producto Mojado (EW)

Los productos EW requieren una declaración del fabricante. La mayoría de los productos presentan un profundo grado de patrón superficial aleatorio o intencionado y todos los resultados fueron relativamente altos para los tres métodos. Más adelante, dada la naturaleza de la textura superficial observada, el ensayo de espacio de desplazamiento según DIN 51130:2023-03 *Testing of floor coverings – Determination of the displacement space (Ensayo de recubrimientos de suelo – Determinación del espacio de desplazamiento)* daría información valiosa, además de posterior investigación de otros factores relacionados con la textura.

Resultados de Producto Aceites/Grasas

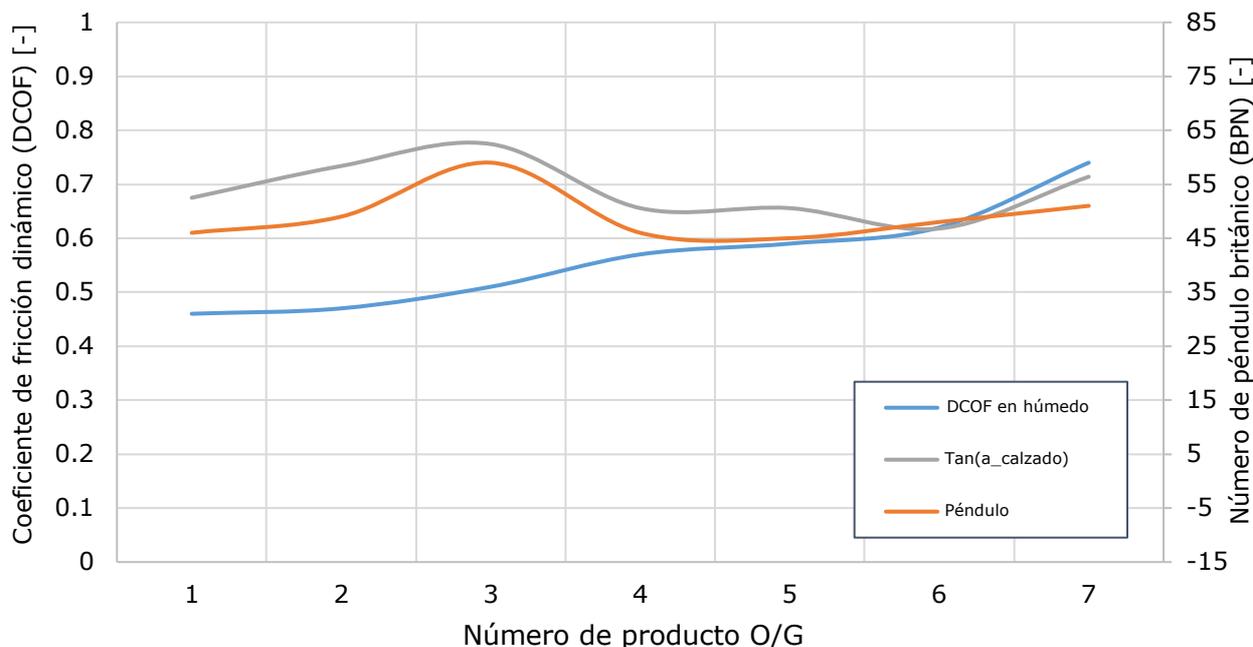


Gráfico 6: Resultados de Producto Aceites/Grasas (O/G)

Los productos O/G requieren una declaración del fabricante. La mayor parte de los productos presentan un profundo grado de patrón superficial aleatorio o intencionado o tienen bastante abrasivo embebido en su superficie y todos los resultados fueron relativamente altos para los tres métodos. En concreto, varios de los productos eran de gres rústico (*quarry tiles*), que generalmente se instalan en áreas donde el pavimento estará expuesto a aceites y grasas. Al igual que para la categoría EW, más adelante se evaluarán los resultados de DIN 51130 y otros factores relacionados con la textura.

PRÓXIMOS PASOS

Aunque los resultados de los primeros 59 productos ensayados son reveladores, hay muchos más productos que ensayar. El número de productos que faltan podría impactar significativamente en las representaciones de las **Gráficas 1 a 6**. Se espera que esos resultados estén disponibles para Qualicer 2024, con información adicional sobre las características físicas de textura superficial. Una vez esté terminada la investigación, será útil para la comprensión del comportamiento de ciertos tipos de producto en función del método de medición. Esta información podría utilizarse para definir posteriormente las clasificaciones declaradas por el fabricante en ANSI A326.3 y ayudar al fabricante a comprender los diferentes métodos de ensayo y cómo utilizarlos como parte de su criterio interno de selección de producto. Esto también sería beneficioso para los prescriptores, dando como resultado una mejor prescripción del recubrimiento de suelo y, en consecuencia, menos accidentes potenciales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] American National Standards Institute (ANSI). *American National Standard Test Method for Measuring Dynamic Coefficient of Friction of Hard Surface Flooring Materials*. ANSI A326.3-2021, Anderson, SC: Tile Council of North America.
- [2] ASTM International. 2022. *Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*. ASTM E303-22, West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [3] Astrachan, Eric (2016). Research Supporting an ANSI American National Standard for Slip Resistance. *Tile Initiative*, 2-9.
- [4] Bowman, R., Strautins, C., Do, M. (2005). Beware of conflicting stone slip resistance reports. *Discovering Stone*, (7), 26-34.
- [5] Davidson, Grant. *Assessment of Various Ceramic Tile Floor Coverings Using Different Friction Test Methods*. June 2023. PowerPoint Presentation.
- [6] Davidson, Grant. (2022, June). *Slip Resistance—Advancements in Product Use Categories for Hard Surface Flooring and Adoption of Standards Into North American Building Codes*. Qualicer 2022, Castelló, Spain.
- [7] German Institute for Standardization (DIN). *Determination of slip resistance of pedestrian surfaces – Methods of evaluation*. DIN EN 16165:2021-12, Berlin: German Institute for Standardization.
- [8] German Institute for Standardization (DIN). *Testing of floor coverings – Determination of the displacement space*. DIN EN 51130:2023-03, Berlin: German Institute for Standardization.
- [9] Sebald, Jens. *System oriented concept for testing and assessment of the slip resistance of safety, protective and occupational footwear*. Berlin: Pro Business GmbH, 2009.