

EVALUACIÓN DEL DESGASTE ABRASIVO DE LA SUPERFICIE DE BALDOSAS CERÁMICAS SEGÚN LAS NORMAS ISO 10545 Y UNE 138001

Aline Demarch^{1,2}, **Angela Waterkemper Vieira**^{1,2}, **Djeisa Pasini**^{1,2}, **Laura Rosso**^{1,2}, **Juliana Menegon**^{1,2}, **Sergio Ruzza**², **Elidio Angioletto**¹, **Oscar Rubem Klegues Montedo**¹, **Adriano Michael Bernardin**¹

¹ Programa de Graduación de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, PPGCEM, University of the Extreme South of Santa Catarina, UNESC, Criciúma, 88806-000, Santa Catarina, Brasil

² Eliane Ceramic Tiles, Cocal do Sul, 88845-000, Santa Catarina, Brasil

RESUMEN

La norma ISO 10545 define el método PEI como el método estándar para determinar la resistencia al desgaste superficial de baldosas cerámicas. Sin embargo, el método PEI no reproduce las condiciones reales de desgaste porque los abrasivos son más agresivos que el uso cotidiano de las baldosas cerámicas. Por otra parte, la norma UNE 138001 especifica el mismo equipamiento que la ISO 10545 pero con diferentes abrasivos. Para el ensayo de desgaste, la ISO 10545 utiliza corindón como abrasivo (Mohs =9), agua y bolas de acero. La UNE 138001 utiliza cuarzo (Mohs =7) y caucho con una carga predefinida. La norma UNE 138001 está próxima a las condiciones reales de uso de las baldosas cerámicas, donde las suelas de zapatos y la arena friccionan y desgastan la superficie de las baldosas. Por lo tanto, el objeto de este trabajo era comparar el desgaste de nueve superficies cerámicas diferentes mediante los métodos de las normas ISO 10545 y UNE 138001. Se ensayaron superficies esmaltadas brillantes, pulidas, satinadas, con relieve, cubiertas con corindón y con granilla y superficies no esmaltadas pulidas, naturales y decoradas. Las muestras se sometieron a ensayos de abrasión por los dos métodos y se determinaron el brillo, la pérdida de masa y la rugosidad cada 25 revoluciones hasta un total de 1250. Como resultado, la pérdida de masa tiene una relación lineal con el número de revoluciones y el coeficiente angular es más alto para el método ISO 10545 en todas las superficies. El brillo cae exponencialmente con el número de vueltas en los dos métodos y el módulo de brillo x vuelta es dos o tres veces mayor para UNE 138001 en todas las superficies. La reducción del brillo es más intensa para el mismo número de vueltas. No hay relación de la rugosidad con el número de vueltas en el ensayo de desgaste (R^2 no es significativa). En cambio, la rugosidad aumenta para superficies lisas y disminuye para superficies rugosas en ambos métodos. Aunque el método UNE 138001 es más similar a las condiciones reales de uso de las baldosas, el cambio en el brillo superficial causado por este ensayo es más intenso que el causado por ISO 10545, probablemente debido a la carga aplicada sobre las piezas de caucho en contacto con la superficie cerámica.

1. INTRODUCCIÓN

Las baldosas cerámicas son materiales útiles que se pueden usar para cubrir diversas superficies debido a su versatilidad. Sin embargo, los requisitos de comportamiento para los pavimentos son rigurosos. Las baldosas cerámicas de pavimento deben cumplir criterios normalizados para la resistencia a la abrasión superficial, como los establecidos por la norma ISO 13006 [1], siguiendo la clasificación PEI. Pero algunos estudios [2] han demostrado que el ensayo PEI no reproduce el comportamiento real de las baldosas de pavimento durante su uso.

El método de la norma ISO 13006 [1] define esferas de acero y corindón como abrasivos y agua como medio para simular el desgaste abrasivo de la superficie de las baldosas cerámicas. El uso de corindón, un material duro (Mohs = 9) y agua difiere sustancialmente de las condiciones reales de uso de las baldosas cerámicas. Por otra parte, el método de la norma UNE 138001 [3] especifica cuarzo (Mohs = 7) como material abrasivo y caucho bajo una carga específica para simular el desgaste abrasivo de la superficie de las baldosas, una condición más similar al uso real de las baldosas.

Según Silva et al. [2], el método de la norma UNE 138001 [3] se concibió como un método simple, barato y robusto para utilizarse como referencia internacional del desgaste abrasivo. En el método UNE se cambió el procedimiento para determinar los mecanismos reales de desgaste, con respecto a la norma ISO 10545 [4]. El material abrasivo se cambió de corindón a cuarzo y se tuvieron en cuenta los cambios en el brillo y la textura de la superficie para la evaluación del desgaste de las baldosas.

En el método UNE se citaban las normas NBR 13818 [5] (anulada) y ASTM C1895-19 [6] para la determinación de la dureza Mohs. Estos métodos de ensayo no pueden proporcionar una evaluación precisa del comportamiento de las baldosas cerámicas en el uso cotidiano, a pesar de aportar una medida cuantitativa de la dureza del producto.

Hay pocos estudios y técnicas analíticas para cuantificar adecuadamente el comportamiento de las baldosas cerámicas, bien utilizando las propiedades intrínsecas del material o bien analizando el sistema constructivo como un todo. Actualmente, no hay ninguna especificación normalizada para los productos cerámicos. Cada empresa cerámica adopta su propia guía de especificaciones.

Según Kim [7], la comprensión de los comportamientos de los peatones y de su impacto sobre los pavimentos es un área que carece de conceptos y de estudios metodológicos. El flujo constante de peatones puede llevar a cambios en la superficie del pavimento, debido a factores tales como el envejecimiento, corrosión, suciedad y mantenimiento [8]. Esto da como resultado un desgaste progresivo que afecta al comportamiento de la superficie cerámica [7].

El proceso de desgaste elimina gradualmente material de la superficie de la baldosa cerámica, descubriendo, con el tiempo, irregularidades y porosidades en la capa vítrea del esmalte. Esta porosidad abierta tiende a retener suciedad, facilitando su acumulación sobre la superficie [9].

En consecuencia, este trabajo pretende estudiar la determinación de la resistencia al desgaste superficial de las baldosas cerámicas mediante dos métodos normalizados, tratando de definir el mejor método para la especificación del producto. Se analizó el cambio de rugosidad y brillo y la pérdida de masa de nueve tipos de superficies cerámicas durante el desgaste causado por cada método.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron nueve superficies cerámicas de pavimento. Sus características se describen en la Tabla 1.

Tipología	Acabado superficial
Baldosa esmaltada	Brillante
Porcelánico esmaltado	Pulido Satinado Cubierto con corindón Cubierto con granilla
	Relieve
Porcelánico no esmaltado	Pulido Natural Decorado

Tabla 1. Superficies de baldosas cerámicas

El desgaste se llevó a cabo en laboratorio, siguiendo los procedimientos de las normas ISO 10545 [4] y UNE 138001 [3]. Se utilizó un abrasímetro (Gabrielli) y el número de revoluciones se ajustó de acuerdo con cada norma específica. Se llevaron a cabo ensayos sobre todas las superficies a intervalos de 25 revoluciones, hasta 1250, sobre la misma zona de las muestras. Se ensayaron cinco probetas para cada tipo de superficie de la Tabla 1. Se determinó la media, la desviación estándar y la variabilidad entre las muestras.

Se llevaron a cabo análisis de desgaste después de intervalos de 25 revoluciones para determinar las características siguientes:

- Masa perdida en cada ciclo de abrasión de 25 revoluciones. Se utilizó una escala con una resolución de 0,001 g;
- El brillo se midió a 60° utilizando un brillómetro (Imbotec). Se usó una guía para posicionar el equipo en la misma zona sobre la superficie de las probetas;
- La rugosidad se evaluó usando un perfilómetro mecánico de contacto (Mitutoyo SJ-210). Se hicieron cinco medidas sobre cada muestra para la determinación del parámetro R_z . Se usó una guía para asegurar que se medían los cinco mismos puntos sobre la superficie de las muestras en cada ciclo de abrasión (25 revoluciones).

Se utilizaron ecuaciones de regresión para determinar la tendencia de cada propiedad. También se calcularon los correspondientes valores de R^2 para evaluar la calidad de los ajustes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se comparó gráficamente el desgaste abrasivo causado sobre las superficies de las baldosas por los métodos ISO [4] y UNE [3]. Para el análisis completo, la pérdida de masa se representa por el gráfico (a), el brillo se representa por el gráfico (b) y la rugosidad (R_z) se representa por (c). Los puntos azules muestran el desgaste causado por el procedimiento UNE y los grises el causado por el procedimiento ISO.

La pérdida de masa de las superficies cerámicas durante los ensayos de abrasión presentaba una tendencia lineal. El cambio de brillo presentaba una tendencia exponencial, pero se podía ajustar por regresión lineal. Demarch [9] demostró que las ecuaciones exponenciales representan con más precisión el cambio de brillo después de la abrasión. Respecto a la rugosidad, el parámetro R_z mostró una tendencia lineal para la mayoría de las superficies, a pesar de la gran variedad.

Como observaron Oliveira y Alarcón [10], la pérdida de masa se debe a la eliminación de material de la superficie de las baldosas debido a la acción de las partículas más duras que el material cerámico. Las partículas desgastan las superficies debido a la actuación de fuerzas normales y tangenciales sobre ellas, causando rayas, seguidas de desconchados y eliminación de material. Este proceso de fractura frágil, comúnmente observado en la mayoría de los materiales cerámicos, da como resultado la fractura sin apenas deformación plástica. Así, hay una pérdida de masa de la superficie de la baldosa, un cambio en la topografía superficial, representada por el parámetro R_z y, en consecuencia, un cambio en el brillo de las muestras. La pérdida de masa de la superficie decorada de las baldosas de gres porcelánico sin esmaltar se muestra en la Figura 1

Hasta las 500 revoluciones, el método UNE resulta en una mayor pérdida de masa comparado con el método ISO (Fig. 1(a)). En cuanto al brillo, la reducción es mayor cuando se usa el método UNE (Fig. 1(b)). No hay diferencias significativas en la rugosidad entre ambos métodos, pero con una ligera tendencia a mayores valores de R_z para el método UNE (Fig. 1(c)). Las ecuaciones de regresión se muestran en la Tabla 2.

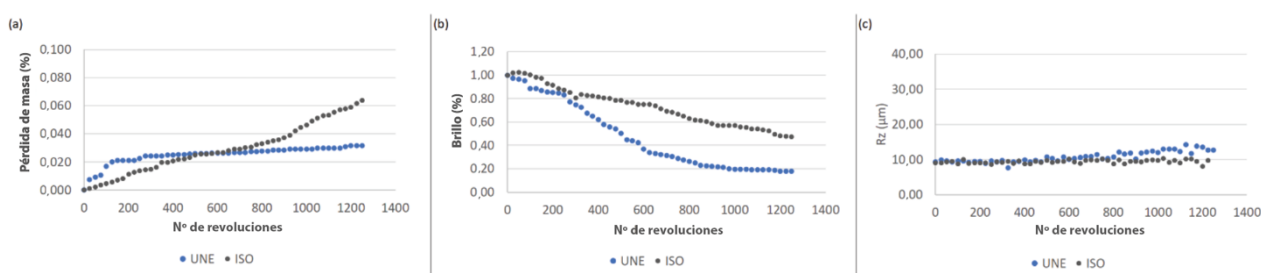


Figura 1. Pérdida de masa, brillo y R_z con los métodos ISO y UNE; gres porcelánico sin esmaltar decorado

Parámetro	Norma	Ecuación	R ²
Pérdida de masa	ISO	$y = 0,0000466904x$	0,99
	UNE	$y = 0,0000333335x$	0,88
Brillo	ISO	$y = e^{-0,0005649490x}$	0,99
	UNE	$y = e^{-0,0015293278x}$	0,98
R _z	ISO	$y = 0,00045x + 9,15$	0,12
	UNE	$y = 0,0035x + 8,550$	0,78

Tabla 2. Ecuaciones de regresión para pérdida de masa, brillo y rugosidad determinadas por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico sin esmaltar decorado

El coeficiente angular (α) de la ecuación que describe la pérdida de masa por el método ISO ($\alpha = 4,67 \times 10^{-5}$) es más alto que el del método UNE ($\alpha = 3,33 \times 10^{-5}$). En cuanto al brillo, el exponente k es considerablemente más alto para la norma UNE ($k = 15,3 \times 10^{-4}$) y la reducción de brillo es más alta para este método. El análisis del parámetro R_z no es factible, ya que el valor de R² para la ecuación de regresión de la norma ISO es bastante bajo

El desgaste abrasivo de la superficie del gres porcelánico natural no esmaltado, según los métodos de las normas ISO y UNE, se muestra en la Figura 2. El comportamiento es similar al del gres porcelánico decorado sin esmaltar. Las ecuaciones de regresión se muestran en la Tabla 3.

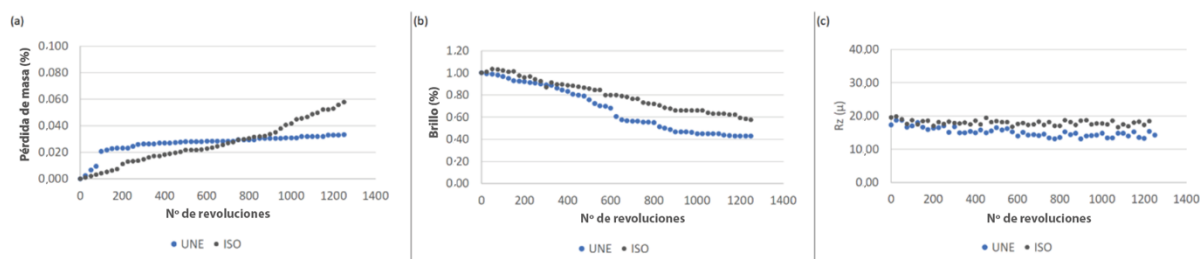


Figura 2. Pérdida de masa, brillo y R_z por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico natural sin esmaltar

Parámetro	Norma	Ecuación	R ²
Pérdida de masa	ISO	$y = 0,0000420900x$	0,99
	UNE	$y = 0,0000354870x$	0,87
Brillo	ISO	$y = e^{-0,0004083321x}$	0,99
	UNE	$y = e^{-0,0007344942x}$	0,97
R _z	ISO	$y = -0,0006x + 18,37$	0,11
	UNE	$y = -0,0029x + 17,003$	0,61

Tabla 3. Ecuaciones de regresión para pérdida de masa, brillo y rugosidad determinadas por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico natural sin esmaltar

La pérdida de masa es más alta para la norma ISO porque el coeficiente angular de la ecuación de regresión ($\alpha = 4,21 \times 10^{-5}$) es más alto que el de la norma UNE ($\alpha = 3,55 \times 10^{-5}$). Sin embargo, hasta las 700 revoluciones, la pérdida de masa es mayor para la norma UNE (Figura 2(a)). La reducción de brillo es más alta para el método UNE ($k = -7,33 \times 10^{-4}$). Respecto a la rugosidad, los valores de R^2 no son significativos para el análisis.

La pérdida de masa y brillo y el cambio de rugosidad (R_z) causados por los métodos ISO y UNE para el gres porcelánico pulido sin esmaltar se muestran en la Figura 3. Una vez más, la pérdida de masa es más alta cuando la abrasión se lleva a cabo por el método ISO. Sin embargo, hasta las 300 revoluciones la pérdida de masa es ligeramente más alta cuando se aplica el método UNE. Después, la pérdida de masa es mayor para el método ISO ($\alpha = 4,70 \times 10^{-5}$) (Tabla 4).

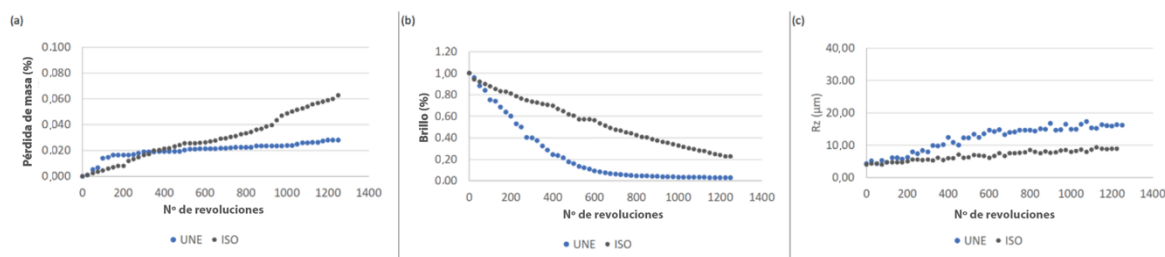


Figura 3. Pérdida de masa, brillo y R_z para los métodos ISO y UNE; gres porcelánico pulido no esmaltado

La reducción del brillo es más alta cuando el producto se ensaya según el método UNE. El valor "k" para el método UNE es tres veces más alto que para el método ISO ($k = -3,33 \times 10^{-3}$ para el método UNE, Tabla 4). La reducción del brillo es más intensa para este acabado, una superficie pulida sin esmaltar. En cuanto a la rugosidad, el parámetro R_z es mayor cuando el ensayo de abrasión se lleva a cabo según el método UNE ($\alpha = 1,01 \times 10^{-2}$) (Tabla 4), pero el modelo no es adecuado ($R^2 = 0,87$). Los valores de R_z son más altos para este acabado, una superficie pulida.

Parámetro	Norma	Ecuación	R^2
Pérdida de masa	ISO	$y = 0,0000470456x$	0,99
	UNE	$y = 0,0000276052x$	0,91
Brillo	ISO	$y = e^{-0,0011104690x}$	0,99
	UNE	$y = e^{-0,0033253055x}$	0,99
R_z	ISO	$y = 0,0041x + 4,27$	0,94
	UNE	$y = 0,0101x + 5,790$	0,87

Tabla 4. Ecuaciones de regresión para pérdida de masa, brillo y rugosidad determinadas por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico pulido no esmaltado

La pérdida de masa y brillo y la rugosidad (R_z) del gres porcelánico esmaltado pulido se muestran en la Figura 4. Para este acabado, la pérdida de masa para ambos métodos es equivalente ($\alpha = 2,96 \times 10^{-5}$ para el método ISO y $\alpha = 2,93 \times 10^{-5}$ para el método UNE, Tabla 5).

Hasta ~700 revoluciones la pérdida de masa es más alta para el método UNE. Sin embargo, el ajuste de la ecuación de pérdida de masa es menor para el método UNE ($R^2 = 0,89$)

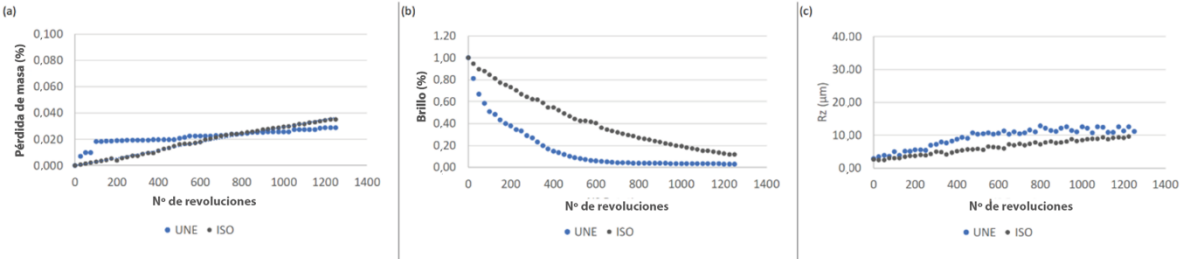


Figura 4. Pérdida de masa, brillo y R_z por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico esmaltado pulido

La reducción de brillo es mayor para el método UNE ($k = -3,56 \times 10^{-3}$, Tabla 5). Esta reducción de brillo es similar a la de la superficie pulida sin esmaltar. El parámetro R_z es más alto para el método UNE ($\alpha = 7.10 \times 10^{-3}$, Tabla 5).

Parámetro	Norma	Ecuación	R^2
Pérdida de masa	ISO	$y = 0,0000295741x$	1,00
	UNE	$y = 0,0000292943x$	0,89
Brillo	ISO	$y = e^{-0,0016604596x}$	1,00
	UNE	$y = e^{-0,0035606291x}$	0,97
R_z	ISO	$y = 0,0059x + 2,67$	0,98
	UNE	$y = 0,0071x + 4,957$	0,79

Tabla 5. Ecuaciones de regresión para pérdida de masa, brillo y rugosidad determinadas por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico pulido esmaltado

La pérdida de masa y brillo y la rugosidad (R_z) para la baldosa esmaltada brillante se muestra en la Figura 5. La pérdida de masa para este acabado es equivalente para ambos métodos ($\alpha = 4,97 \times 10^{-5}$ para el método ISO y $\alpha = 4,13 \times 10^{-5}$ para el método UNE, Tabla 6). Hasta ~800 revoluciones la pérdida de masa es mayor para el método UNE ($R^2 = 0.85$). Una vez más, la reducción de brillo es mayor para el método UNE ($k = -2,02 \times 10^{-3}$, Tabla 6). El parámetro R_z (coeficiente angular de la ecuación R_z) es más alto para el método UNE ($\alpha = 10,1 \times 10^{-3}$, Tabla 6).

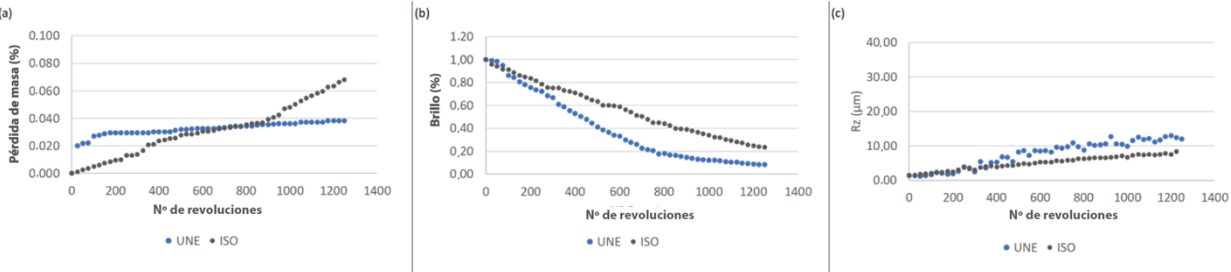


Figura 5. Pérdida de masa, brillo y R_z por los métodos ISO y UNE; baldosas esmaltadas brillantes

Parámetro	Norma	Ecuación	R ²
Pérdida de masa	ISO	$y = 0,0000496738x$	0,99
	UNE	$y = 0,0000413484x$	0,85
Brillo	ISO	$y = e^{-0,0010680631x}$	0,99
	UNE	$y = e^{-0,0020196782x}$	0,99
R _z	ISO	$y = 0,0053x + 1,76$	0,98
	UNE	$y = 0,0101x + 1,315$	0,93

Tabla 6. Ecuaciones de regresión de pérdida de masa, brillo y rugosidad determinadas por los métodos ISO y UNE; baldosas esmaltadas brillantes

La pérdida de masa y brillo y la rugosidad (R_z) del gres porcelánico esmaltado satinado se muestran en la Figura 6. La pérdida de masa para este acabado es equivalente para ambos métodos ($\alpha = 2,92 \times 10^{-5}$ para el método ISO y $\alpha = 2,64 \times 10^{-5}$ para el método UNE, Tabla 7). Hasta ~650 revoluciones la pérdida de masa es mayor para el método UNE (R² = 0,86). La reducción del brillo es mayor para el método UNE ($k = -1,17 \times 10^{-3}$, Tabla 7). El parámetro R_z es más alto para el método UNE ($\alpha = 5,5 \times 10^{-3}$, Tabla 7). Aunque la superficie es satinada, su comportamiento es como la de las superficies brillantes y pulidas, pero con menor pérdida de masa y reducción de brillo.

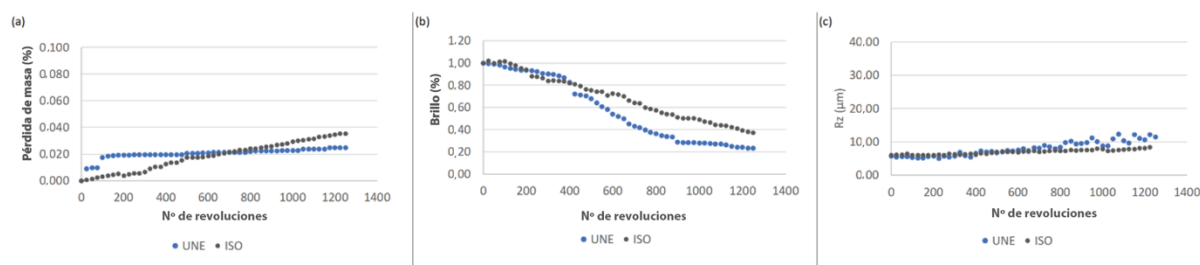


Figura 6. Pérdida de masa, brillo y R_z según los métodos ISO y UNE; gres porcelánico esmaltado satinado

Parámetro	Norma	Ecuación	R ²
Pérdida de masa	ISO	$y = 0,0000292407x$	1,00
	UNE	$y = 0,0000263768x$	0,86
Brillo	ISO	$y = e^{-0,0007055935x}$	0,99
	UNE	$y = e^{-0,0011676372x}$	0,95
R _z	ISO	$y = 0,0018x + 5,91$	0,91
	UNE	$y = 0,0055x + 4,535$	0,90

Tabla 7. Ecuaciones de regresión para pérdida de masa, brillo y rugosidad determinadas por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico esmaltado satinado

Se ensayaron tres productos destinados para uso en exteriores. Se diseñaron con una rugosidad más elevada que las otras superficies para aumentar su resistencia al deslizamiento.

La pérdida de masa, brillo y rugosidad (R_z) para el gres porcelánico cubierto con corindón se muestran en la Figura 7. Como las otras superficies, la pérdida de masa para este acabado es equivalente por los dos métodos ($\alpha = 2,75 \times 10^{-5}$ para el método ISO y $\alpha = 2,59 \times 10^{-5}$ para el método UNE, Tabla 8). Hasta ~ 800 revoluciones la pérdida de masa es mayor para el método UNE ($R^2 = 0,86$). La reducción de brillo es similar para ambos métodos ($k = -3,20 \times 10^{-4}$ para el método ISO y $k = 2,91 \times 10^{-4}$ para el método UNE, Tabla 8). El parámetro R_z no se puede analizar debido al bajo valor de R^2 .

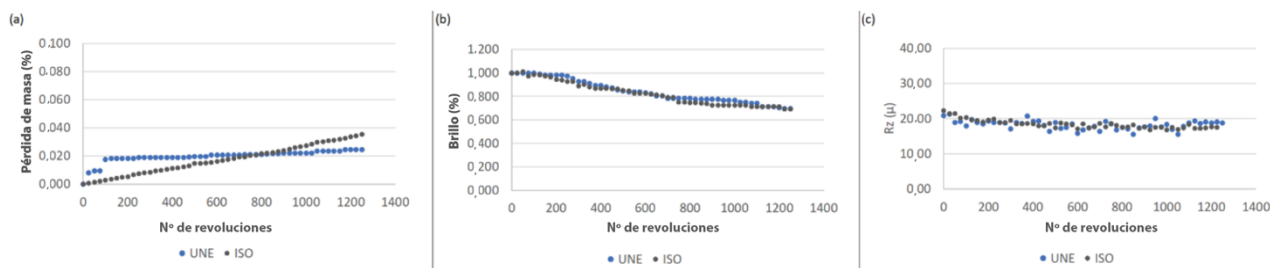


Figura 7. Pérdida de masa, brillo y R_z por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico esmaltado cubierto con corindón

Parámetro	Norma	Ecuación	R^2
Pérdida de masa	ISO	$y = 0,0000275373x$	1,00
	UNE	$y = 0,0000258993x$	0,86
Brillo	ISO	$y = e^{-0,0003196667x}$	0,98
	UNE	$y = e^{-0,0002906738x}$	0,97
R_z	ISO	$y = -0,0028x + 20,11$	0,67
	UNE	$y = -0,0011x + 18,992$	0,10

Tabla 8. Ecuaciones de regresión para pérdida de masa, brillo y rugosidad determinadas por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico esmaltado cubierto con corindón

La pérdida de masa, brillo y rugosidad (R_z) del gres porcelánico cubierto con granilla se muestra en la Figura 8. La pérdida de masa para este acabado es ligeramente mayor para el método UNE ($\alpha = 3,39 \times 10^{-5}$, Tabla 9). La pérdida de masa en todo el intervalo de revoluciones es mayor para el método UNE ($R^2 = 0,86$). La reducción de brillo es más alta para el método UNE ($k = -5,29 \times 10^{-4}$, Tabla 9). El parámetro R_z es mayor para el método UNE ($\alpha = 9,3 \times 10^{-3}$, Tabla 9), pero el valor de R^2 no es adecuado ($R^2 = 0,73$).

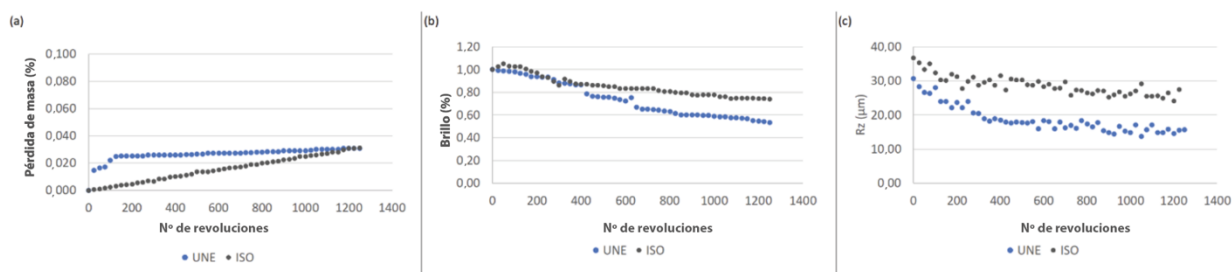


Figura 8. Pérdida de masa, brillo y R_z por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico cubierto con granilla

Parámetro	Norma	Ecuación	R ²
Pérdida de masa	ISO	$y = 0,0000249943x$	1,00
	UNE	$y = 0,0000338887x$	0,84
Brillo	ISO	$y = e^{-0,0002650938x}$	0,93
	UNE	$y = e^{-0,0005289408x}$	0,97
R _z	ISO	$y = -0,0065x + 32,69$	0,72
	UNE	$y = -0,0093x + 24,521$	0,73

Tabla 9. Ecuaciones de regresión para pérdida de masa, brillo y rugosidad determinadas por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico cubierto con granilla

La pérdida de masa, brillo y rugosidad (R_z) para la baldosa con relieve esmaltada se muestran en la Figura 9. La pérdida de masa de este acabado es equivalente para ambos métodos ($\alpha = 3,07 \times 10^{-5}$ para el método ISO y $\alpha = 2,12 \times 10^{-5}$ para el método UNE, Tabla 10). Hasta ~500 revoluciones la pérdida de masa es más elevada para el método UNE (R² = 0,87). La reducción de brillo es mayor para el método UNE ($k = -3,35 \times 10^{-4}$, Tabla 10). El parámetro R_z no se puede analizar debido al bajo valor de R².

Este producto también está recubierto por una capa que contiene corindón, lo que resulta en una superficie más rugosa. Sin embargo, el prominente relieve de este gres porcelánico influye en el proceso de desgaste. Los agentes abrasivos usados en el ensayo de abrasión superficial no interactúan de forma uniforme con la superficie debido a estas características específicas.

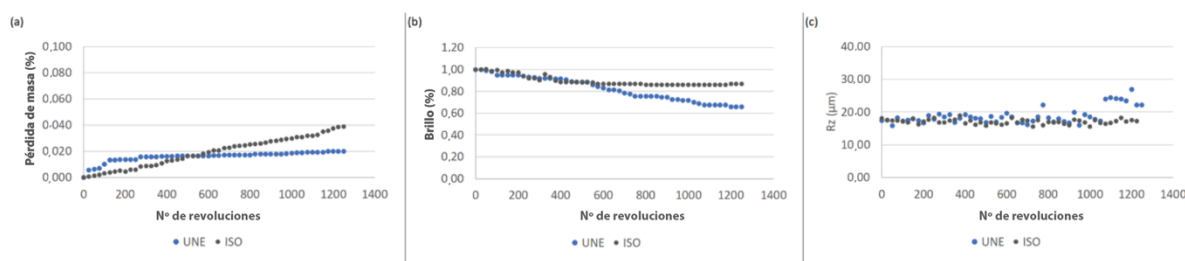


Figura 9. Pérdida de masa, brillo y R_z por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico con relieve esmaltado

Parámetro	Norma	Ecuación	R ²
Pérdida de masa	ISO	$y = 0,0000306619x$	1,00
	UNE	$y = 0,0000212126x$	0,87
Brillo	ISO	$y = e^{-0,0001610010x}$	0,74
	UNE	$y = e^{-0,0003354122x}$	0,98
R _z	ISO	$y = -0,00040x + 17,27$	0,03
	UNE	$y = 0,0039x + 16,407$	0,33

Tabla 10. Ecuaciones de regresión para la pérdida de masa y brillo y rugosidad determinadas por los métodos ISO y UNE; gres porcelánico con relieve esmaltado

En general, la reducción del brillo causada por el método UNE es más intensa que la causada por el método ISO. La abrasión resultante del uso de caucho con cuarzo como material abrasivo es más intensa que la causada con corindón + agua + esferas de acero, definida por la norma ISO. Esta norma se enfoca principalmente en el cambio de color debido al desgaste de las superficies cerámicas, sin considerar la reducción de brillo. Así, cuando se usa el método UNE, que considera la reducción del brillo, se puede obtener una evaluación más completa de los efectos de la abrasión sobre las superficies cerámicas, incluyendo tanto el cambio de color como de brillo [11].

En cualquier caso, la evaluación del desgaste no debería limitarse solo a las características de aspecto, como color y brillo, sino que también debería incluir consideraciones relacionadas con la seguridad, como la resistencia al deslizamiento. La determinación de estas características requeriría un área de desgaste más extensa. En este estudio solo se ha evaluado el cambio de rugosidad superficial. Pero solo con el análisis de la rugosidad no es posible tener una evaluación completa de la resistencia al deslizamiento.

Con respecto a los valores de R_z de las superficies recubiertas (corindón, granilla y relieve), diseñadas para obtener un alto coeficiente de fricción y, por lo tanto, alta resistencia al deslizamiento, no hay cambios relevantes en las condiciones (intervalo de revoluciones) de este estudio. En cambio, Lot et al. [12] observaron que la resistencia al deslizamiento disminuía significativamente hasta niveles inseguros después de un ensayo de desgaste de todas las superficies estudiadas.

En consecuencia, es necesario llevar a cabo estudios adicionales para cuantificar la resistencia al deslizamiento después del ensayo de desgaste. El área de desgaste definida por los métodos ISO 10545.4 y UNE 138001 es bastante limitada y se requieren diferentes enfoques para evaluar completamente la resistencia al deslizamiento con el paso del tiempo

4. CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo un estudio para comparar la resistencia al desgaste de nueve superficies cerámicas diferentes conforme a los métodos ISO 10545-7 y UNE 138001: superficies esmaltadas brillante, pulida, satinada, con relieve, cubierta con corindón y con granilla y superficies no esmaltadas pulida, natural y decorada.

Como resultado, la pérdida de masa muestra una relación lineal con el número de revoluciones para los métodos ISO 10545-7 y UNE 138001. El coeficiente angular de la ecuación para la pérdida de masa es mayor para el método ISO 10545-7 en casi todas las superficies.

La reducción del brillo muestra una tendencia exponencial para ambos métodos. El exponente de la ecuación para brillo x revolución es dos o tres veces más alto para el método 138001 en la mayoría de las superficies. La reducción del brillo después del método UNE es mayor que la causada por el método ISO. En consecuencia, la abrasión causada por el caucho + cuarzo del método UNE 138001 es más intensa que la causada usando corindón + esferas de acero + agua de la norma ISO. Además, la norma ISO solo evalúa el cambio de color, mientras obvia el cambio de brillo.

En cuanto a la rugosidad, no es posible establecer una tendencia para todas las superficies debido a los valores inadecuados de R^2 de las superficies más rugosas. Se observa una tendencia a aumentar la rugosidad en las superficies más lisas y a disminuir en las más rugosas, para ambos métodos.

Se necesitan estudios adicionales para cuantificar la resistencia al deslizamiento durante el proceso de desgaste. Dado el tamaño limitado del área de desgaste en los métodos de ensayo, se necesitan posiblemente enfoques alternativos para una evaluación integral de la resistencia al deslizamiento con el paso del tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ISO 13006, 2018. Ceramic tiles. Definitions, classification, characteristics and marking. International Organization for Standardization.
- [2] Silva M, Beltrán D, López B, 2020. Comparative study of methods for simulating wear in actual service conditions. Castellón: Qualicer Actas.
- [3] UNE 138001, 2008. Resistencia al desgaste por tránsito peatonal de pavimentos cerámicos. Recomendaciones para la selección en función del uso previsto. Norma Española.
- [4] ISO 10545-7, 1996. Ceramic tiles. Part 7: Determination of resistance to surface abrasion for glazed tiles. International Organization for Standardization.
- [5] NBR 13818, 1997. Placas cerâmicas para revestimento. Ensaios e métodos de ensaio. Determinação de dureza segundo escala Mohs. Anexo V. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [6] ASTM C1895-19, 2020. Standard test method for determination of Mohs scratch hardness of ceramic tile. American Society for Testing and Materials.
- [7] Kim I-J, 2016. A study on wear development of floor surfaces: impact on pedestrian walkway slip-resistance performance. Tribology International 95, 316-323. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2015.11.039>.
- [8] Leclercq S, Saulnier H, 2002. Floor slip resistance changes in food sector workshops: prevailing role played by "fouling". Saf Sci 40, 7, 659-73.
- [9] Demarch A, 2019. Análise da relação entre rugosidade superficial e resistência ao escorregamento de revestimentos cerâmicos submetidos ao desgaste. Criciúma, Brasil: Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense.
- [10] Oliveira A P N, Alarcon O E, 2011. Desgaste por abrasão de esmaltes cerâmicos. Cerâmica Industrial 16, 17-24.
- [11] Silva M, Feliu M, Barberá S, 2006. Propuesta de método normalizado para la determinación de la durabilidad frente al tránsito peatonal de pavimentos. Castellón: Qualicer 223-234.
- [12] Lot A V, Menegazzo A P M, Brasileiro C T, Melchiades F G, Boschi A O, 2021. Effect of pedestrian traffic on the slip resistance and visual appearance of ceramic floor tiles. Research, Society and Development 10, 4, 1-1, <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14425>.