

DESARROLLO DE BALDOSAS CERÁMICAS CON ACTIVIDAD VIRICIDA

I. Monfort⁽¹⁾, L. Guaita⁽²⁾, M. Ortells⁽¹⁾, M.D. Segarra-Maset⁽¹⁾, E. Domingo⁽²⁾, M.C. Bordes⁽³⁾, F.J. García-Ten⁽³⁾, N. López⁽³⁾

(1) Gruppo Colorobbia. España e Italia. (2) Keraben Grupo, S.A. España.

(3) Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE). Universitat Jaume I. Castellón. España.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta el momento el desarrollo de baldosas cerámicas biocidas se ha centrado principalmente en la obtención de superficies con propiedades bactericidas. Sin embargo, la reciente crisis sanitaria provocada por la expansión del virus SARS-CoV-2 a nivel mundial, ha producido un incremento en la demanda de productos capaces de ofrecer protección frente a este tipo de patógenos virales y generar entornos seguros[1][2].

Las bacterias son microorganismos procariotas de unos pocos micrómetros mientras que los virus son agentes infecciosos submicroscópicos que no se consideran organismos vivos y sólo se replican dentro de las células vivas. Los diferentes mecanismos de infección y proliferación de ambos tipos de patógenos hacen que el modo de actuación de una superficie antimicrobiana sea específico para cada microorganismo[1][3].

Con el objetivo de desarrollar superficies cerámicas con actividad viricida en el proyecto VIRUCER se han estudiado diferentes principios viricidas como el cobre, la plata y el dióxido de titanio. Además, se han evaluado metodologías de aplicación tradicional y digital. En la presente comunicación se explica expresamente el desarrollo realizado con el dióxido de titanio (TiO₂) con efecto fotocatalítico en aplicación tradicional.



El TiO₂ se ha señalado como un potente viricida alternativo a los desinfectantes químicos dada su actividad biocida de amplio espectro, su efecto prolongado en el tiempo y su elevada eficacia en pequeñas dosis[4]. La actividad biocida del TiO₂ se basa en un efecto fotocatalítico que se activa cuando recibe radiación ultravioleta (UV) produciendo la generación de especies con una elevada capacidad oxidante. Las especies oxidantes generadas ejercen un efecto tóxico sobre los microorganismos en contacto con la superficie del fotocatalizador que los inactiva e impide así su proliferación[5][6]. El espectro de la luz solar contiene una proporción pequeña de luz ultravioleta, que aproximadamente constituye un 5% de la radiación recibida durante el día. Sin embargo, ésta es suficiente para activar el efecto fotocatalítico por lo que, en las baldosas con aplicaciones exteriores en cubiertas o fachadas, las reacciones fotocatalíticas tienen lugar con una velocidad adecuada. En el caso de las baldosas con aplicación en entornos interiores, dada la baja la intensidad de radiación UV disponible, es necesario modificar el fotocatalizador dopándolo con otros elementos para obtener un material suficientemente activo en las condiciones de iluminación presentes en estos espacios[7].

Dos de las principales características que optimizan la actividad fotocatalítica del TiO_2 son el contenido de fase cristalina anatasa y el tamaño de partícula en el intervalo nanométrico. Es por ello que las aplicaciones superficiales del TiO_2 con este fin generalmente se realizan como recubrimiento nanoestructurado. En el caso de las baldosas cerámicas, debido a que se fabrican mediante un tratamiento térmico a más de $1000\,^{\circ}$ C, el desarrollo de propiedades biocidas permanentes requiere del estudio del método de incorporación más adecuado del TiO_2 a la superficie, para obtener un producto suficientemente activo y duradero validado mediante la normativa correspondiente[8][9].

En este trabajo se ha investigado el desarrollo de baldosas cerámicas viricidas mediante la aplicación de un recubrimiento de TiO_2 con actividad en entornos interiores. Para ello, se han estudiado dos sistemas de recubrimientos, que permiten anclar las nanopartículas del fotocatalizador a la superficie cerámica utilizando un tratamiento térmico a baja temperatura en un caso y un secado en el otro.

2. EXPERIMENTAL

En este estudio se han desarrollado baldosas cerámicas con actividad viricida basadas en un efecto fotocatalítico. Para ello, se ha utilizado una suspensión de nanopartículas de TiO_2 dopado con nitrógeno (TiO_2 -N) que resulta activo ante la luz visible[10]. La obtención de las superficies se ha realizado aplicando la suspensión fotocatalítica sobre un modelo de baldosa cerámica cocida industrialmente cuyo uso va destinado a revestimiento. Para ello, se ha estudiado la metodología de anclaje de las nanopartículas a la superficie más adecuada utilizando como capa intermedia una suspensión acuosa de un vidrio fundente y una suspensión basada en nanopartículas de SiO_2 .

En primer lugar, se investigó el anclaje de las nanopartículas de TiO_2 a la superficie cerámica utilizando una suspensión acuosa de un vidrio fundente. Para ello, se llevó a cabo la aplicación del vidrio en suspensión mediante un aplicador automático de velocidad regulable con un espesor de capa de 30 μ m sobre las piezas cerámicas cocidas, y a continuación se pulverizó la suspensión de TiO_2 -N con un gramaje de $60g/m^2$.



Las piezas aplicadas se trataron térmicamente en un horno eléctrico ensayándose cuatro temperaturas máximas 500, 550, 600 y 650°C (TV-500, TV-550, TV-600 y TV-650).

Las propiedades fotocatalíticas de las piezas obtenidas se evaluaron siguiendo la variación de concentración que experimenta una disolución acuosa de 5ppm de Rodamina B (RB) cuando se expone a la radiación UV estando en contacto con la superficie de las piezas aplicadas. La exposición de la disolución de RB a la radiación se realizó en una cámara de insolación con una lámpara que emite radiación UV con una intensidad de radiación UVA de 10 W/m². La determinación de la absorbancia para obtener la concentración de las disoluciones de RB se realizó utilizando un espectrofotómetro visible. La influencia de la fotólisis en la disminución de la concentración del compuesto se determinó ensayando la probeta sin recubrimiento (TR) y un vidrio sodocálcico en paralelo a las piezas aplicadas.

En segundo lugar, se estudió el desarrollo de las superficies viricidas utilizando como capa intermedia una suspensión acuosa basada en nanopartículas de SiO_2 (primer). Para la obtención de las superficies se pulverizó de manera sucesiva el primer de SiO_2 (6 g/m²) y la suspensión fotocatalítica de TiO_2 -N (60 g/m²) sobre la pieza cerámica. La superficie aplicada se secó a una temperatura de 50° C. Las propiedades funcionales de la superficie obtenida (TS1) se evaluaron determinando su actividad fotocatalítica con RB según el método indicado anteriormente. Además, se analizó la microestructura del recubrimiento mediante técnicas de microscopía. Para ello, se obtuvo una probeta por fractura fresca de las piezas aplicadas, y se observó, fotografió y analizó, en sección transversal con un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (MEB) equipado con un sistema de microanálisis por dispersión de energías de rayos X (EDX).

Finalmente, la actividad viricida de la superficie se determinó según la norma ISO 18061:2014 que describe la metodología de ensayo para productos de construcción con materiales fotocatalíticos incorporados en la masa del material o con recubrimientos fotocatalíticos aplicados en la superficie[11]. La metodología descrita en ella valida la actividad viricida de la superficie mediante la cuantificación de la reducción de la infectividad del virus bacteriófago Q-beta tras la exposición a la luz UV. La intensidad de radiación UV empleada en los ensayos fue solo de 0,25 mW/cm² que equivale a la exposición a la luz en un espacio interior tras una ventana. El virus bacteriófago O-beta es un tipo de virus que infecta exclusivamente a bacterias, no a animales ni a humanos y su comportamiento sirve como modelo de los virus Influenza. En este ensayo 6 réplicas de la muestra con el material fotocatalítico se inocularon con una suspensión de bacteriófago Q-beta de título conocido y se expuso a la radiación UV durante un periodo de 8 horas, determinándose el título del bacteriófago existente en las piezas mediante el recuento de unidades formadoras de placas (UFP). Para ello, se recuperó el bacteriófago mediante el lavado de las piezas y las soluciones de lavado resultantes se mezclaron con suspensiones de Escherichia coli, bacteria sensible al bacteriófago Qbeta. Las mezclas de las soluciones de ensayo y la bacteria receptora se sembraron en placas de agar y se incubaron para obtener los recuentos de las unidades formadoras de placa. El título de bacteriófago (UFP) obtenido de las piezas con material antiviral fotocatalítico irradiadas se comparó con el obtenido de las piezas sin fotocatalizador utilizadas como control, y con el de las muestras tratadas y no tratadas con el material fotocatalítico mantenidas en la oscuridad mediante el mismo periodo de tiempo, y se calculó el valor de la actividad antiviral fotocatalítica con irradiación UV.



Los resultados del ensayo se expresan como letalidad vírica que representa en forma porcentual la inactivación de microorganismos atribuible solo al efecto fotocatalítico de la muestra, eliminando tanto la reducción que se produce en el control sin fotocatalizador expuesto a la radiación, como la que se produce cuando la muestra fotocatalítica permanece en la oscuridad.

Con el fin de determinar las condiciones de uso, se estudió la influencia del gramaje de TiO_2 -N aplicado en la actividad de la superficie. Para ello, se aplicaron piezas manteniendo el gramaje de la suspensión de SiO_2 y reduciendo el de la suspensión de TiO_2 -N a 30 g/m². Las piezas obtenidas (TS2) se caracterizaron determinando sus propiedades fotocatalíticas y su actividad viricida mediante los métodos descritos anteriormente.

Finalmente se realizó un ensayo de desgaste para evaluar la durabilidad de las superficies desarrolladas en condiciones de uso interior. Con este fin se aplicaron piezas con la suspensión de SiO_2 y el recubrimiento de TiO_2 -N con unos gramajes de 6 y 40 g/m² sobre la pieza cerámica. El ensayo de desgaste se realizó utilizando el método de desgaste acelerado propuesto por C.J. Strautins [12] con el objetivo de evaluar cambios en la resistencia al deslizamiento de pavimentos. Este método se basa en el equipo Gardco para ensayos de lavabilidad y desgaste del sector de pinturas, que utiliza un deslizador de movimiento lineal horizontal para arrastrar un elemento abrasivo sobre la superficie del pavimento, alternando el sentido del desplazamiento. Dada la deformabilidad del elemento abrasivo, este método genera una abrasión superficial y podría constituir una alternativa para la simulación del desgaste real [13]. Considerando la aplicación final de las superficies desarrolladas para baldosas de revestimiento, en este trabajo los ensayos se realizaron sometiendo a la superficie a 100 ciclos de desplazamiento del deslizador utilizando agua y una bayeta como elemento abrasivo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DESARROLLO DE SUPERFICIES CON VIDRIO FUNDENTE

El desarrollo de las superficies cerámicas con el recubrimiento de TiO₂-N utilizando el vidrio como recubrimiento de anclaje se realizó según el método indicado en el apartado 2, obteniéndose a partir de ellas probetas cocidas a 500, 550, 600 y 650°C. Tras la cocción se observó que en las muestras TV-500 y TV-550 no se había producido la sinterización del vidrio y como consecuencia la superficie tenía un aspecto pulverulento y el recubrimiento se desprendía con facilidad.

La caracterización de las superficies en las que se había logrado anclar el recubrimiento (TV-600 y TV-650) se realizó determinado su actividad fotocatalítica con el objeto de comprobar la funcionalidad desarrollada por el recubrimiento y el efecto del tratamiento térmico sobre ella. La evaluación de la actividad fotocatalítica de las piezas se realizó siguiendo la degradación de una disolución acuosa de RB en contacto con la superficie cuando se expone a la radiación UV. La Figura 1a muestra la variación de concentración de RB con el tiempo de exposición a la radiación en las piezas TV-600 y TV-650 junto con la de una pieza sin recubrimiento (TR) y la del vidrio utilizado como blanco. Las curvas obtenidas indican una disminución de la concentración de RB con el tiempo de exposición en todas las muestras, siendo la del vidrio y la de la pieza TR, que se debe exclusivamente a la fotólisis del colorante, menor que las de las piezas con recubrimiento.



La mayor degradación de RB obtenida en estas piezas indica su actividad fotocatalítica, resultando menos efectiva la muestra cocida a 650°C (TV-650) posiblemente debido a que a esta temperatura que se ha producido la transformación de parte del TiO_2 de anatasa en rutilo (a partir de 600°C).

En el caso del blanco (TR) y del vidrio, la variación de la concentración con el tiempo se ajusta a una cinética de orden cero con una ecuación del tipo adjunto, donde k es la constante de velocidad de la reacción.

$$C = C_0 - k \cdot t(1) \tag{1}$$

El ajuste de los valores experimentales a la ecuación anterior proporciona la constante de velocidad de la degradación fotolítica (producida por la propia radiación) que sufre la RB (Tabla 1).

Muestra	C ₀ (ppm)	k .10 ² (ppm/h)	r²
TR	4,6	69,7	0,979
Vidrio	4,6	70,0	0,991

Tabla 1. Parámetros del ajuste a la ecuación cinética de orden cero obtenidos para la disolución de RB de la probeta sin recubrimiento (TR) y del vidrio.

La degradación fotocatalítica de RB sigue una ecuación que corresponde a una cinética de pseudoprimer orden[14].

$$-\frac{dc}{dt} = k' \cdot C \quad \xrightarrow{\text{integrando}} \quad ln\left(\frac{c_0}{c}\right) = k' \cdot t \tag{2}$$

La representación de los datos correspondientes al $ln(C_0/C)$ frente al tiempo da lugar a una recta (Figura 1b), cuya pendiente es la constante de velocidad k' o constante de actividad fotocatalítica. A modo de comparación, y únicamente como referencia respecto a las piezas con recubrimiento, en la gráfica se ha incluido la recta que se obtiene a partir de los valores de concentración de la pieza TR y del vidrio. En la Tabla 2 se muestran las constantes de actividad fotocatalítica calculadas mediante el ajuste de los datos a la ecuación cinética. Los valores obtenidos confirman la mayor actividad de la pieza TV-600 y la disminución de la eficacia fotocatalítica con el aumento de la temperatura de cocción en la pieza TV-650.

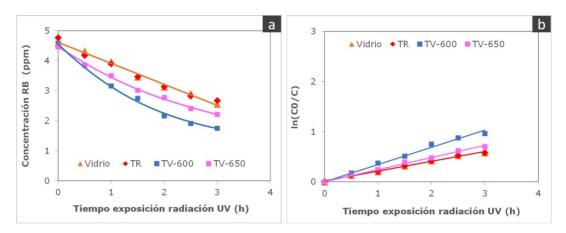


Figura 1 a) Variación de la concentración de RB, b) Variación del In (C₀/C) con el tiempo de exposición a la radiación UV obtenidas para las piezas TV-600 y TV-650, TR y el vidrio.

Muestra	k' 10 ² (h ⁻¹)	r²
TV-600	34	0,996
TV-650	24	0,998

Tabla 2. Constante de actividad fotocatalítica y coeficientes de regresión lineal del ajuste cinético obtenidos para las piezas TV-600 y TV-650.

Los resultados obtenidos muestran que, con la suspensión de vidrio fundente ensayada, la temperatura óptima de obtención del recubrimiento de doble capa desarrollado es de 600° C. A temperaturas inferiores el recubrimiento intermedio no forma un vidriado y no ancla las nanopartículas, mientras que a temperaturas superiores se produce una reducción de la eficacia fotocatalítica posiblemente debido a la transformación del TiO₂ de anatasa en rutilo [9][15].

3.2. DESARROLLO DE SUPERFICIES CON UN RECUBRIMIENTO INTERMEDIO DE SIO₂

Con el fin de evitar el efecto de la temperatura del post-tratamiento térmico en la eficacia fotocatalítica, se estudió el desarrollo de las superficies utilizando una suspensión acuosa basada en nanopartículas de SiO_2 que, tras la aplicación y el secado de la capa, permite obtener una adhesión suficiente de las nanopartículas de TiO_2 -N sin precisar un tratamiento térmico adicional.

La aplicación del recubrimiento se realizó siguiendo la metodología indicada en el apartado 2 depositando un gramaje de 60 g/m² de la suspensión fotocatalítica sobre el recubrimiento intermedio previamente depositado, obteniéndose de este modo la pieza denominada TS1.

La actividad fotocatalítica de la pieza TS1 se evaluó mediante el método de degradación de RB indicado anteriormente. La Figura 2a muestra la disminución de la concentración de RB obtenida en la disolución en contacto con la pieza TS1 comparada con la de la pieza sin recubrimiento (TR) y la del vidrio utilizado como blanco. La acusada degradación del colorante obtenida para la muestra TS1 respecto al vidrio y a la pieza TR evidencia la actividad fotocatalítica de la superficie desarrollada.



En la Figura 2b se han representado los datos correspondientes al $\ln(C_0/C)$ de la pieza TS1. A partir del ajuste de los valores experimentales a la ecuación cinética (2) se obtuvo la constante de actividad fotocatalítica de la superficie, resultando un valor de 0,75 h⁻¹ (Tabla 3). Esta constante resulta claramente superior a 0,34 h⁻¹ que es la obtenida para la muestra TV-600 (Tabla 2) preparada con el mismo gramaje de TiO₂-N, lo que pone de manifiesto la influencia del tratamiento térmico en la eficacia fotocatalítica de la superficie desarrollada.

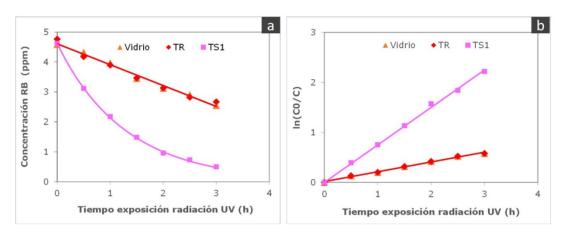


Figura 2. a) Variación de la concentración de RB, b) Variación del In (C₀/C) con el tiempo de exposición a la radiación UV obtenidas para las piezas TS1, TR y el vidrio.

Muestra	k′ 10² (h ⁻¹)	r²
TS1	75	0,999

Tabla 3. Constante de actividad fotocatalítica y coeficientes de regresión lineal del ajuste cinético obtenidos para la pieza TS1.

Con el fin de caracterizar la microestructura del recubrimiento desarrollado, se llevó a cabo un análisis mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) de la pieza en sección transversal. La figura siguiente muestra las micrografías obtenidas a distintos aumentos, en ellas se observan las dos capas que componen el recubrimiento aplicado sobre la superficie de la pieza cocida. En los análisis EDX de dichas capas, señaladas como zonas 1 y 2 en la Figura 3b, se detecta una mayor proporción de SiO_2 en la capa inferior (Figura 3c) y de TiO_2 en la superior Figura 3d). El distinto espesor de las capas resulta lógico dado que el gramaje de la suspensión de TiO_2 -N depositado (60 g/m²) es 10 veces superior al de la suspensión de SiO_2 (6 g/m²).

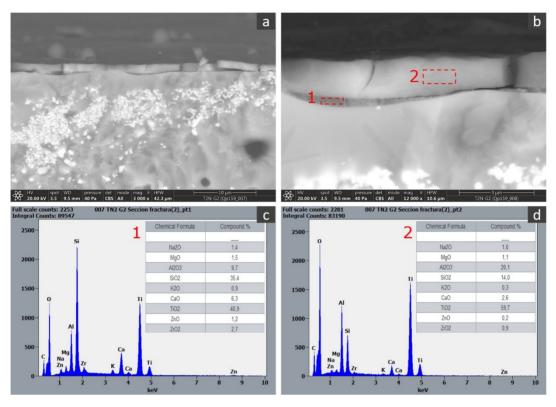


Figura 3. Micrografía MEB de la sección de la muestra TS1 a distintos aumentos (a y b). Análisis EDX (%peso) de las partículas y la zona señaladas (c y d).

La validación de la actividad viricida se realizó siguiendo la metodología descrita en la norma ISO 18061:2014, que describe el método de ensayo específico para superficies fotocatalíticas en productos de construcción como las baldosas cerámicas. Los resultados obtenidos mostraron la actividad viricida de la superficie TS1 obteniéndose una letalidad viral del 97% de los virus inoculados. Este parámetro representa la inactivación de microorganismos atribuible solo al efecto fotocatalítico de la muestra eliminando tanto la reducción obtenida en la pieza sin recubrimiento (TR) expuesto a la radiación, como la obtenida cuando la pieza permanece en la oscuridad. En este punto cabe señalar que la norma de ensayo utilizada no establece un valor de letalidad viral a partir del cual una superficie se considere viricida, si no que cuanto mayor es dicho parámetro mayor es la actividad de la superficie.

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL GRAMAJE DE TIO2-N APLICADO

Con el fin de comprobar la influencia del recubrimiento de TiO_2 -N aplicado en la actividad de las superficies desarrolladas, se prepararon piezas siguiendo la metodología descrita anteriormente disminuyendo el gramaje de la suspensión fotocatalítica a la mitad (30 g/m²). La caracterización de las propiedades funcionales de la pieza obtenida (TS2) se realizó determinando su actividad fotocatalítica y viricida.

En la Figura 4a se muestran las curvas que representan la degradación de RB en función del tiempo de exposición a la radiación UV obtenida para la pieza TS2, junto con la de la pieza sin recubrimiento (TR) y la del vidrio utilizado como blanco.



La mayor disminución de la concentración de RB en la disolución en contacto con la pieza TS2 revela la actividad fotocatalítica de la superficie. El ajuste de los valores experimentales a la ecuación cinética representado en la Figura 4b proporcionó la constante de actividad fotocatalítica del recubrimiento (Tabla 4), resultando un valor de 0,48 h⁻¹. Si se compara la actividad de la pieza TS2 con la de las piezas TS1 y TV-600 (0,75 y 0,34 h⁻¹) se observa que la reducción del gramaje de TiO₂-N aplicado produce una disminución de la efectividad de la superficie, pero ésta sigue mostrando una actividad fotocatalítica superior a la obtenida TV-600 preparada con mayor gramaje de fotocatalizador.

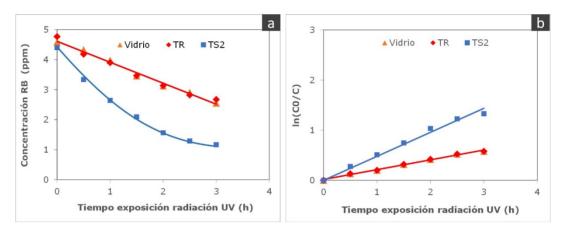


Figura 4. a) Variación de la concentración de RB, b) Variación del In (C_0/C) con el tiempo de exposición a la radiación UV obtenidas para las piezas TS2, TR y el vidrio.

Muestra	k′ 10² (h ⁻¹)	r²
TS2	48	0,996

Tabla 4. Constante de actividad fotocatalítica y coeficientes de regresión lineal del ajuste cinético obtenidos para la pieza TS2.

La actividad viricida de la pieza TS2 se determinó según la norma ISO 18061:2014 dando como resultado una letalidad viral del 93%. La elevada inactivación de los virus inoculados en la superficie pone de manifiesto que, como ya se había observado en el ensayo de actividad fotocatalítica, a pesar de haber reducido un 50% el gramaje del fotocatalizador, la superficie continúa mostrando una actividad elevada.

ESTUDIO DE LA DURABILIDAD DEL RECUBRIMIENTO

El estudio de la durabilidad del recubrimiento se realizó simulando el desgaste de la superficie en condiciones de uso interior con una bayeta y agua como se ha explicado en el apartado 2. Para ello, se prepararon las superficies obteniéndose la muestra TS3 mediante la pulverización de la suspensión de TiO_2 -N con un gramaje de $TiO_$



Las propiedades fotocatalíticas de la superficie TS3 se evaluaron para comprobar la durabilidad del recubrimiento. La Figura 5 muestra la degradación de RB con el tiempo de exposición a la radiación UV obtenida para la pieza con el recubrimiento antes (TS3) y después de realizar el ensayo de desgaste (TS3 desgaste), comparado con la de la pieza TR y la del vidrio. El efecto abrasivo producido sobre el recubrimiento se manifiesta como una menor degradación de RB y una disminución de la constante de actividad fotocatalítica en la pieza tras el desgaste (Tabla 5). No obstante, cabe señalar que, aunque existe una disminución de la eficacia, la superficie continúa siendo activa como muestra la mayor degradación que produce en la RB respecto a la de la pieza sin recubrimiento.

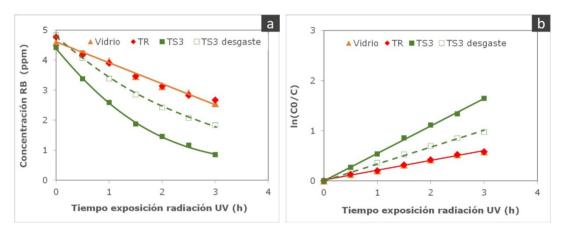


Figura 5. a) Variación de la concentración de RB, b) Variación del In (C₀/C) con el tiempo de exposición a la radiación UV obtenidas para la pieza TS3 antes y después del ensayo de desgaste, la pieza TR y el vidrio.

Muestra	k′ 10² (h ⁻¹)	r²
TS3	55	0,999
TS3 desgaste	34	0,999

Tabla 5. Constante de actividad fotocatalítica y coeficientes de regresión lineal del ajuste cinético obtenidos para la pieza TS3 antes y después del ensayo de desgaste.

Con el fin de comprobar el efecto del desgaste del recubrimiento sobre las propiedades biocidas de la superficie se determinó la actividad viricida de la superficie TS3 tras ser sometida al ensayo de desgaste, obteniéndose un porcentaje de letalidad viral del 98% de los virus inoculados. Por tanto, como ya se había observado en la caracterización con el colorante orgánico la superficie continúa siendo activa tras ser sometida a un desgaste mediante el método ensayado.



4. CONCLUSIONES

Se han desarrollado superficies cerámicas fotocatalíticas viricidas mediante la aplicación de recubrimientos de TiO₂-N sobre baldosas cocidas para revestimiento, del estudio realizado se extraen las siguientes conclusiones:

- Se ha estudiado la aplicación de un vidrio fundente como recubrimiento intermedio entre la superficie cerámica y el recubrimiento de TiO₂-N. Con la suspensión de vidrio fundente ensayada, la temperatura óptima de obtención del recubrimiento de doble capa desarrollado es de 600°C. A temperaturas inferiores el recubrimiento intermedio no ancla las nanopartículas, mientras que a temperaturas superiores se produce una reducción acusada de la eficacia fotocatalítica posiblemente debido a la transformación del TiO₂ de anatasa en rutilo.
- Se ha investigado un segundo sistema de recubrimiento utilizando una suspensión basada en nanopartículas de SiO₂ que, tras la aplicación y el secado de la capa, permite obtener una adhesión suficiente de las nanopartículas de TiO₂-N sin precisar un tratamiento térmico adicional. Las superficies obtenidas con este sistema presentan actividad fotocatalítica con radiación UV. La caracterización microbiológica de la superficie en condiciones de radiación en un ambiente interior confirmó sus propiedades viricidas, dando lugar a una letalidad vírica del 97% de los virus inoculados, ensayada según la norma ISO 18061:2014 con el bacteriófago Q-beta (virus subrogado de los virus influenza).
- La reducción del 50% del gramaje de TiO₂-N en piezas preparadas con el recubrimiento intermedio de SiO₂ disminuye la letalidad viral al 93%, pero la superficie continúa presentando una actividad viricida elevada.
- Se ha comprobado la durabilidad de la superficie desarrollada con el TiO₂-N y el recubrimiento intermedio de SiO₂, realizando un ensayo que simula el desgaste en condiciones de uso interior. La caracterización de la superficie tras el desgaste dio como resultado una letalidad viral del 98% lo que confirma la continuidad de la actividad viricida.
- Las superficies obtenidas basadas en el sistema SiO₂-TiO₂-N no requieren de un tratamiento térmico para el anclaje de las nanopartículas y resultan válidas para su uso en revestimientos en ambientes interiores y exteriores.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Valencia de Financiación (AVI) dentro del Programa de Proyectos Estratégicos en Cooperación, dirigidas al fortalecimiento y desarrollo del Sistema Valenciano de Innovación para la mejora del modelo productivo para el ejercicio 2021 a 2023.



6. REFERENCIAS

- [1] J. Rangineni. Post-pandemic emphasis on hygiene–Ceramic tile and test methods. En: Qualicer 2022: XVII Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación.
- [2] M. Mili, M., V. Hada, T. Mallick, A. Singhwane, A. Tilwari, S. Hashmi, A. Srivastava, S. Sagiri, S. Verma. Advances in Nanoarchitectonics of Antimicrobial Tiles and a Quest for Anti-SARS-CoV-2 Tiles. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 32, 3355–3367, 2022.
- [3] V. Rodríguez-Gonzalez, S. Obregon, O.A. Patrón-Soberano, C. Terashima, A. Fujishima. An approach to the photocatalytic mechanism in the TiO₂-nanomaterials microorganism interface for the control of infectious processes. Applied Catalysis B: Environmental 270, 2020, 118853.
- [4] S. Talebian, G. Wallace, A. Schroeder, F. Stellacci, J. Condeet. Nanotechnology-based disinfectants and sensors for SARS-CoV-2. Nature Nanotechnology 15, (2020) 618-621.
- [5] G.L. Guerrini. Photocatalysis and virus. From theory to applications. Journal of Photocatalysis 2, 2021, 25-34.
- [6] H.M. Coleman, C.P. Marquis, J.A. Scott, S.S. Chin, R. Amal, Bactericidal effects of titanium dioxide-based photocatalysts, Chem. Eng. J. 113 (2005) 55–63.
- [7] R. Fagan, D.E. McCormack, D.D. Dionysiou, S.C. Pillai. A review of solar and visible light active TiO₂ photocatalysis for treating bacteria, cyanotoxins and contaminants of emerging concern. Materials Science in Semiconductor Processing, 42, 2–14, 2016.
- [8] J.J. Reinosa, E. Enríquez, V. Fuertes, S. Liu, J. Menéndez, J.F. Fernández. The challenge of antimicrobial glazed ceramic surfaces. Ceramics International, 48, 7393-7404, 2022.
- [9] V. La Torre, E. Rambaldi, G. Masi, S. Nici, D. Ghezzi, M. Cappelletti, M.C. Bignozzi, Validation of antibacterial systems for sustainable ceramic tiles. Coatings, 11, 1409, 2021.
- [10] COLOROBBIA CONSULTING S.R.L. Nitrogen-doped TiO_2 nanoparticles and the use thereof in photocatalysis. WO2019211787 (A1). 2019-11-07.
- [11] ISO 18061:2014. Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics)— Determination of antiviral activity of semiconducting photocatalytic materials test method using bacteriophage Q-beta.
- [12]C.J. Strautins, Sustainable slip resistance: An opportunity for innovation. En QUALICER 2008: X World Congress on Ceramic Tile, Castellon, Spain.
- [13] G. Silva, A. Muñoz, A. Beltrán, R. Domínguez, A.M. López, M. Bañuls. Estudio comparativo de métodos para simular el desgaste en condiciones reales de uso. En Qualicer 2020: XVI Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación.
- [14]A.R. De Araujo Scharnberg, A.C.D. Loreto, T.B. Wermuth, A.K. Alves, S. Arcaro, P.A.M.D. Santos, A.D.A.L. Rodriguez, Porous ceramic supported TiO₂ nanoparticles: Enhanced photocatalytic activity for Rhodamine B degradation. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 59, 230–238, 2020.
- [15]T. Da Silva Dassoler, E. de Sousa Cordeiro, D. Hotza, A. De Noni Junior. Photocatalytic activity of ceramic tiles coated with titania supported on kaolinite. Open Ceramics, 13, 100331, 2023.