

CATALIZADOR DE COBRE Y CERIO EN 3D: NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA PURIFICACIÓN EFICIENTE DE HIDRÓGENO VERDE

DATOS DE CONTACTO:

Relaciones con la Empresa
Oficina de Transferencia de Resultados de la Investigación-OTRI
Universidad de Alicante
Tel.: +34 96 590 99 59
Email: areaempresas@ua.es
<http://innoua.ua.es>

RESUMEN

Investigadores del *Departamento de Química Inorgánica* de la Universidad de Alicante han desarrollado un nuevo tipo de catalizador basado en una estructura monolítica con canales internos que se caracteriza porque está formado por un sustrato activo metálico de cobre y por una capa intermedia de óxido de cobre sobre la que se deposita una fase dispersa de óxido de cerio.

La principal ventaja respecto a los actuales catalizadores monolíticos radica en que tanto la estructura monolítica de cobre, como la capa intermedia y la fase dispersa, presentan actividad catalítica, lo que lo convierte en un catalizador muy activo y selectivo, especialmente indicado para eliminar de forma eficiente el monóxido de carbono presente en las corrientes ricas en hidrógeno procedentes del reformado de hidrocarburos.

Se buscan empresas interesadas en adquirir esta tecnología para su explotación comercial.



INTRODUCCIÓN

La fabricación convencional de monolitos como soportes catalíticos se basa en sustratos cerámicos o metálicos inertes sobre los que se deposita una fase activa, normalmente un metal noble o una mezcla de óxidos. En estos sistemas, la mayor parte de la masa del lecho no participa en la reacción, lo que obliga a emplear volúmenes de catalizador mayores para alcanzar la conversión deseada. Además, los monolitos tradicionales fabricados por extrusión están formados por canales rectos y paralelos, lo que restringe la transferencia de masa y la generación de turbulencia, factores críticos para la eficiencia de procesos como la oxidación selectiva de monóxido de carbono (CO PROX) en corrientes ricas en hidrógeno.

Por otra parte, la impresión 3D ofrece la posibilidad de diseñar monolitos con canales internos con geometrías complejas, favoreciendo la turbulencia y la difusión radial. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha logrado combinar esta tecnología con un monolito de cobre cuya propia estructura sea catalítica.

La propuesta de la presente invención supera las limitaciones anteriormente descritas al fabricar un catalizador monolítico de cobre con una estructura interna de canales específicamente diseñados para optimizar el proceso químico, donde el propio cobre actúa como soporte activo. Al someterlo a un proceso de sinterizado en atmósfera inerte y posterior exposición al aire, se forma una capa intermedia de óxido de cobre sobre la superficie interna del monolito. Sobre esta capa se deposita una fase dispersa de óxido de cerio (CeO_2), ya sea puro o dopado con otros metales. De esta manera, la actividad catalítica se distribuye en tres capas: el cobre metálico, el óxido de cobre intermedio y el óxido de cerio disperso, creando una interfaz $\text{CeO}_2/\text{CuO}/\text{Cu}$ que favorece el intercambio redox y la movilidad de oxígeno, esencial para la oxidación del monóxido de carbono (CO) sin consumir

hidrógeno (H_2). De este modo, la masa total del monolito contribuye directamente a la reacción catalítica, reduciendo el volumen del reactor necesario y mejorando la eficiencia térmica y mecánica.

En conjunto, la tecnología propuesta ofrece una solución integral que incrementa la actividad catalítica, optimiza la transferencia de masa y permite la fabricación de monolitos con geometrías personalizadas, superando el actual estado de la técnica.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA

La tecnología consiste en un catalizador monolítico de cobre (Cu) que, a diferencia de los soportes actuales, posee actividad propia gracias a su composición y a la disposición de sus fases activas. El núcleo del material es un bloque sólido de cobre fabricado mediante impresión tridimensional con un filamento que contiene, al menos, 80% de cobre y un polímero termofusible (por ejemplo, ácido poliláctico -PLA-). Tras la impresión, el filamento se somete a un proceso de despolimerización, eliminando el PLA y dejando una estructura metálica con canales internos que puede diseñarse de forma homogénea o heterogénea. En la siguiente fase, el monolito se sinteriza en atmósfera inerte a temperaturas entre 550°C y 1060°C con la pieza inmersa en polvo de alúmina y cubierta por carbón sinterizado para limitar la oxidación. Al retirarse del horno y exponer el monolito al aire, se deposita de forma natural una capa de óxido de cobre (CuO) sobre la superficie interna de los canales (véase Figura 1).

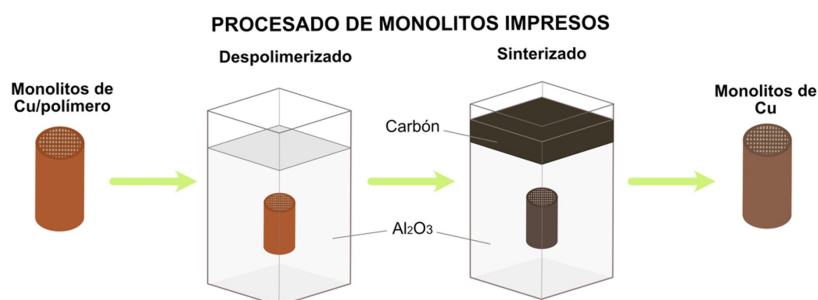


Figura 1: Esquema de fabricación de los monolitos de cobre fabricados con tecnología de impresión 3D, abarcando el despolimerizado de la pieza, seguido del sinterizado en atmósfera inerte.

El paso siguiente (véase Figura 2) consiste en cubrir la superficie externa del monolito con una capa de teflón, lo que evita que el polvo de la fase activa se adhiera a la parte exterior y garantiza que la carga se concentre únicamente en los canales internos. Se prepara una suspensión de óxido de cerio (CeO_2), puro o dopado con metales nobles, en un medio de dispersión adecuado. La suspensión se introduce en el monolito mediante inmersión controlada de éste, o por infiltración gota a gota, y se deja secar en un dispositivo giratorio para asegurar una distribución uniforme dentro de los canales. Tras el secado a temperatura ambiente y un tratamiento térmico de estabilización, la capa de óxido de cerio queda fijada sobre la capa de óxido de cobre, generando una interfase lábil $CeO_2/CuO/Cu$ que es la responsable de la actividad catalítica.

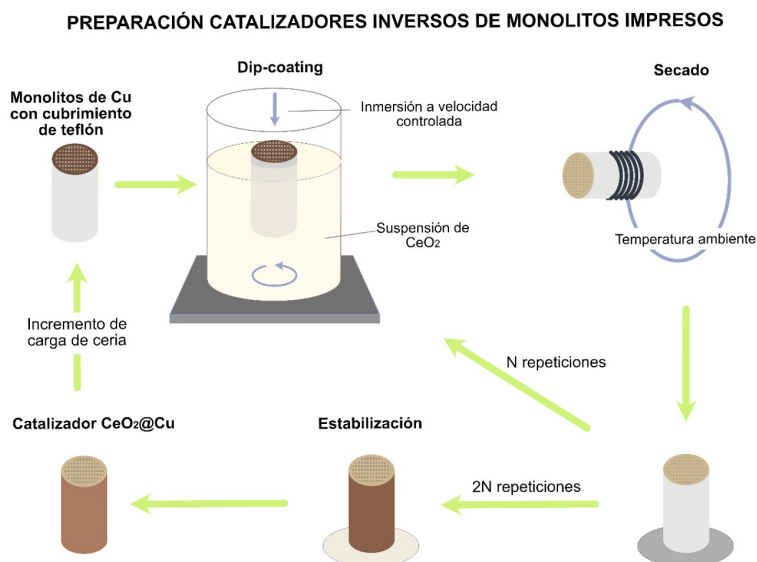


Figura 2: Esquema del procedimiento de depósito de CeO_2 sobre los monolitos de cobre fabricados con la tecnología de impresión 3D.

El resultado es un catalizador donde la mayor parte de la masa es activa, y la fase de cerio constituye sólo un 0,1%–5% del peso total. La estructura monolítica permite que la reacción ocurra en todo el volumen del lecho, reduciendo la caída de presión y mejorando la transferencia de calor y de masa. Los canales internos pueden diseñarse con geometrías complejas: “honeycomb” con canales rectos paralelos, “matriz simétrica” con canales de sección constante pero tortuosos, y “matriz asimétrica” con sección variable a lo largo del flujo (véase Figura 3).

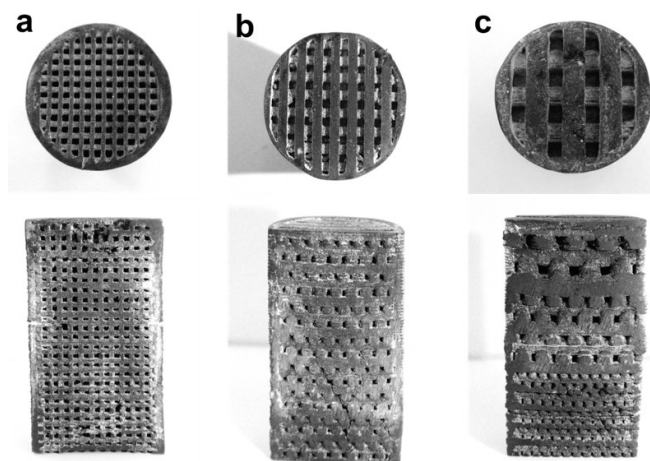


Figura 3: Fotografías de frente y de corte transversal de los catalizadores monolíticos obtenidos en tres configuraciones diferentes: (a) canales rectos paralelos "honeycomb" con distribución homogénea de los canales internos, (b) matriz uniforme "simétrica" con distribución homogénea de los canales internos y (c) matriz decreciente "asimétrica" con distribución heterogénea de los canales internos.

En conjunto, la patente describe el proceso de fabricación completo, que consiste en: impresión 3D, despolimerización, sinterización, pasivación, recubrimiento superficial del monolito con teflón, preparación de la suspensión, deposición, secado giratorio y estabilización térmica, y cada etapa está optimizada para maximizar la actividad catalítica y la durabilidad del monolito.

VENTAJAS Y ASPECTOS INNOVADORES

VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA

Esta tecnología presenta las siguientes **ventajas**:

- 1) El monolito activo posee una **mayor proporción de superficie catalítica por volumen**, reduciendo la cantidad de material necesario.
- 2) Al utilizar cobre, metal barato y abundante, **se reducen los costes de material** frente a los catalizadores que contienen metales nobles, sin sacrificar el rendimiento.
- 3) La capa de CuO intermedia mejora la adhesión del CeO₂, lo que facilita la transferencia de electrones y **aumenta la actividad catalítica**.
- 4) La dispersión de CeO₂ proporciona sitios de oxidación adicionales y **promueve la selectividad hacia CO₂ sin oxidar el hidrógeno**.
- 5) El diseño 3D de los canales permite optimizar la turbulencia y la difusión radial, reduciendo la temperatura de inicio de la reacción y **mejorando la eficiencia térmica**.
- 6) El monolito de cobre tiene conductividad térmica y mecánica superiores, lo que **reduce la pérdida de presión** respecto a los monolitos cerámicos.
- 7) **Escalabilidad**: la impresión 3D permite la producción de piezas de cualquier geometría, tamaño y forma, adaptándose a las diferentes configuraciones del reactor.
- 8) **Compatibilidad con los procesos químicos existentes**: se puede integrar en las líneas de reformado y sistemas de purificación de hidrógeno ya existentes, sin cambios estructurales significativos.

La alta actividad y selectividad de este novedoso catalizador, combinadas con la menor caída de presión y la robustez térmica, hacen que esta tecnología sea muy atractiva para la **industria energética y medioambiental**.

ASPECTOS INNOVADORES DE LA TECNOLOGÍA

Este novedoso catalizador combina una estructura monolítica de cobre con una capa intermedia de CuO y una fase dispersa de CeO₂ (puro o dopado). **Toda la masa**, no solo la fase activa, **es catalítica**, lo que aumenta la superficie útil y reduce la caída de presión.

El proceso de sinterizado en atmósfera inerte y la posterior pasivación crean una interfase CeO₂/CuO/Cu altamente activa para la oxidación selectiva de CO en corrientes ricas en hidrógeno, con **mayor actividad y selectividad** que los monolitos tradicionales sobre soportes inertes.

Además, la fabricación del monolito por **impresión 3D** permite crear **diseños de canales homogéneos o heterogéneos**, generando turbulencia y mejor difusión radial. Esta flexibilidad en el diseño abre la puerta a **adaptaciones específicas para cada proceso químico industrial**, posicionando la tecnología como una opción competitiva y escalable para la próxima generación de sistemas de purificación de hidrógeno.

Por tanto, la innovación radica en que la mayor parte de la masa del lecho catalítico es activa, lo que reduce el volumen necesario del reactor y mejora la transferencia de calor y masa. Esta innovación abre la puerta a **procesos más eficientes y compactos** en la

ESTADO ACTUAL

La tecnología se encuentra desarrollada a **escala de laboratorio con prototipos funcionales**. Se han fabricado monolitos de cobre mediante impresión 3D, seguido de sinterizado y tratamiento de pasivación que genera una capa intermedia de óxido de cobre. Sobre esta capa se depositan partículas de óxido de cerio, obteniéndose una estructura con actividad catalítica distribuida tanto en la propia matriz metálica, como en la capa intermedia y en la fase dispersa.

Experimentos de oxidación selectiva de monóxido de carbono (CO PROX) en corrientes ricas en hidrógeno muestran que los diseños tortuosos presentan una **temperatura de inicio de reacción más baja y una mayor conversión al 50% (T_{50})** que en el monolito con diseño "honeycomb", con una reducción de aproximadamente el 7% (véase Figura 4):

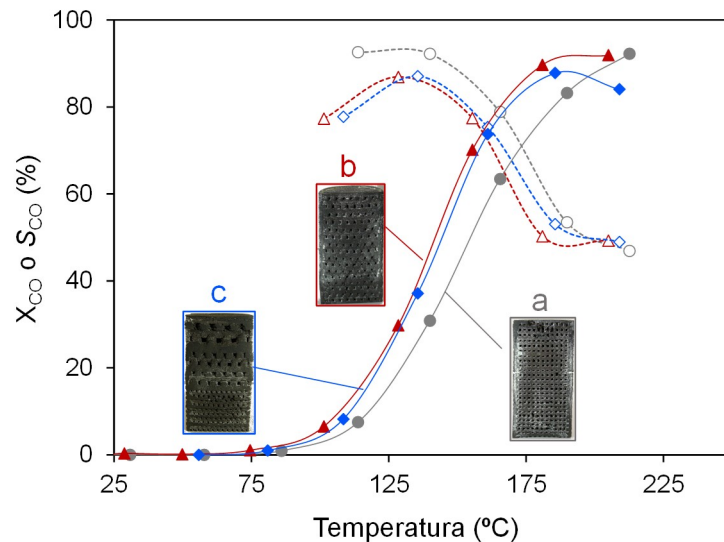


Figura 4: Resultados de actividad CO-PROX en experimentos catalíticos de CO-PROX en lecho fijo (100 mL/min 1% CO, 1% O_2 , 30% H_2) expresados como conversión de CO (línea sólida) y selectividad hacia CO_2 (línea punteada) para catalizadores de cobre monolíticos. Comparación de los diferentes diseños: "honeycomb" (a), "simétrico" (b) y "asimétrico" (c).

Además, la sinterización a temperaturas altas (1050 °C) reduce la reserva de oxígeno en el cobre, lo que mejora la selectividad hacia el CO_2 al evitar la oxidación del hidrógeno (véase Figura 5):

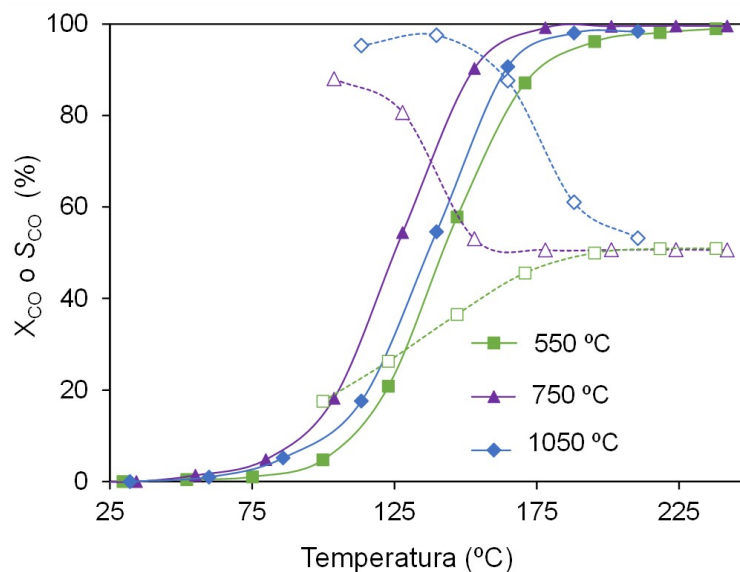


Figura 5: Resultados de actividad CO-PROX en experimentos catalíticos de CO-PROX en lecho fijo (100 mL/min 1% CO, 1% O_2 , 30% H_2) expresados como conversión de CO (línea sólida) y selectividad hacia CO_2 (línea punteada) para catalizadores de cobre monolíticos. Comparación de la actividad de los catalizadores sintetizados a diferentes temperaturas de sinterización.

Finalmente, los monolitos se caracterizaron por microscopía electrónica de barrido (véase Figura 6).

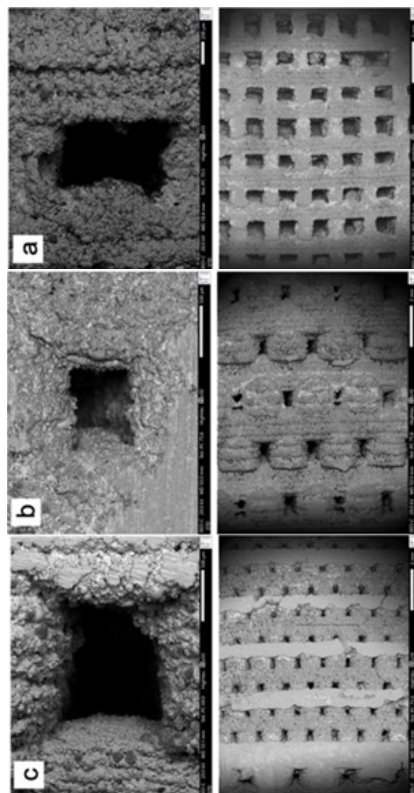


Figura 6: Imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) del corte transversal de los catalizadores monolíticos $\text{CeO}_2/\text{CuO}/\text{Cu}$ con los siguientes diseños: (a) canales rectos paralelos "honeycomb", (b) matriz uniforme "simétrica" y (c) matriz de paso decreciente "asimétrica".

APLICACIONES DE LA OFERTA

Esta innovación ofrece un catalizador monolítico de cobre con cerio para la eliminación selectiva de monóxido de carbono en corrientes ricas en hidrógeno. Sus aplicaciones abarcan sectores relevantes para el medio ambiente y el control de emisiones en la **industria química y petroquímica**.

Entre los principales sectores de aplicación, podemos encontrar:

- **Purificación de hidrógeno** en plantas de reformado de hidrocarburos (gas natural, biogás, etc.) mediante CO PROX.
- **Pre-tratamiento de gases** para celdas de combustible (hidrógeno puro para PEM, SOFC, etc.).
- **Control del monóxido de carbono** en procesos de síntesis química (metanol, amoníaco, etc.).
- **Descontaminación de gases industriales** que contienen monóxido de carbono e hidrógeno (industria petroquímica, refinerías, etc.).
- Aplicaciones de energía renovable donde se requiere **hidrógeno libre de impurezas de CO** para almacenamiento y transporte.

COLABORACIÓN BUSCADA

Se buscan empresas interesadas en adquirir esta tecnología para su explotación comercial mediante **acuerdos de licencia de la patente**.

Perfil de empresa buscado:

- Empresas con capacidad de producción y comercialización de **catalizadores avanzados**, especialmente en sectores de energía, petroquímica o medio ambiente.
- Empresas que lleven a cabo procesos de **reformado de hidrocarburos** que busquen optimizar la purificación de la corriente de hidrógeno.
- Compañías que operen en la producción de **combustibles limpios y sostenibles** (metano, metanol, etc.) que requieran sistemas de eliminación de monóxido de carbono con alta selectividad.

Tipos de empresas buscadas:

1. Fabricantes de catalizadores industriales.

2. Proveedores de equipos y soluciones para la producción de hidrógeno verde.
3. Empresas de reformado de hidrocarburos y gas natural.
4. Compañías de tratamiento de gases industriales y de emisiones.
5. Fabricantes de sistemas de combustión y generación de energía con enfoque en bajas emisiones.
6. Empresas de I+D+i en catálisis y materiales avanzados.
7. *Start-ups* tecnológicas enfocadas en economía circular y captura de CO₂.
8. Proveedores de soluciones de purificación de gases para la industria alimentaria y farmacéutica.
9. Empresas de ingeniería y consultoría en procesos químicos que busquen incorporar tecnologías de catalizadores de alto rendimiento.
10. Organizaciones gubernamentales y agencias de financiación que apoyen la transición energética y la reducción de emisiones.

DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

La presente invención se encuentra protegida mediante **solicitud de patente**:

- *Título de la patente: "Catalizador, procedimiento de fabricación del catalizador y uso del mismo".*
- *Número de solicitud: P202531128.*
- *Fecha de solicitud: 2 de diciembre de 2025.*

SECTORES DE APLICACIÓN (4)

Contaminación e Impacto Ambiental
Materiales y Nanotecnología
Tecnología Química
Transporte y Automoción