

INFORME PROYECTOS— 2025

Modificación de superficies fabricadas mediante tecnología 3D para su aplicación como electrodos y materiales en aplicaciones electrocatalíticas, SUR-FA.

Informe: Final de Resultados

Número de proyecto: 22500007

Expediente: IMAMCA/2025/2

Duración: Del 01/01/2025 al 31/12/2025

Coordinado en AIDIMME por: Ana Valero



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE+i

INSTITUTO VALENCIANO
DE COMPETITIVIDAD
E INNOVACIÓN

AIDIMME
Instituto Tecnológico

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	1
3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	2
4. MEJORA EN EL DISEÑO DE ELECTRODOS: FABRICACIÓN DE ELECTRODOS POROSOS	3
5. MODIFICACIÓN SUPERFICIAL Y FUNCIONALIZACIÓN CATALÍTICA	11
5.1.1. BASE TITANIO FABRICADO MEDIANTE PBF-EB O PBF-LB, EN FORMATO PLANO O REJILLA, PARA REACCIONES DE OXIDACIÓN	13
5.1.2. BASE TITANIO CON NÍQUEL, EN FORMA DE CAPA (TI_NI) PARA REACCIONES DE OXIDACIÓN	15
5.1.3. BASE SUSTRATO NO CONDUCTOR METALIZADO CON NÍQUEL QUÍMICO O ELECTROQUÍMICO	17
5.1.4. BASE COBRE EN PBF-EB Y EN PBF-LBG, EN FORMATO PLANO O REJILLA.....	19
5.1.5. BASE SUSTRATO NO CONDUCTOR METALIZADO CON COBRE QUÍMICO O ELECTROQUÍMICO	22
6. MEJORA EN EL DISEÑO DE REACTORES: DISEÑO DE REACTORES/DISPOSITIVOS PARA ESTUDIOS ELECTROCATALÍTICOS	24
7. CONCLUSIONES	26

1. Introducción

La fabricación aditiva (Additive Manufacturing, AM) ha emergido como una herramienta clave para el diseño avanzado de electrodos porosos en dispositivos electroquímicos, permitiendo un control geométrico sin precedentes sobre la porosidad, la conectividad y la tortuosidad de las estructuras internas. A diferencia de los métodos convencionales, la AM posibilita la fabricación directa de arquitecturas periódicas, como estructuras tipo celosía (lattice) y superficies mínimas triplemente periódicas (TPMS), que influyen de forma determinante en el transporte de masa, la distribución de corriente y la resistencia iónica del electrodo.

Las arquitecturas lattice, como Octet Truss, Diamond o Dodemedium, se basan en barras y nodos discretos, ofreciendo elevada rigidez mecánica y buena conectividad de la fase sólida. Sin embargo, estas estructuras suelen presentar cuellos hidráulicos reducidos y mayor tortuosidad. Por el contrario, las arquitecturas TPMS, como las basadas en geometrías tipo giroide (por ejemplo, FLEXA), presentan superficies continuas sin nodos abruptos, lo que favorece un transporte iónico más homogéneo y una menor resistencia hidráulica.

En proyectos anteriores, desde AIDIMME, se ha podido constatar que electrodos tipo lattice metálicos impresos en 3D han sido empleados como soportes electrocatalíticos, mostrando incrementos sustanciales en densidad de corriente y estabilidad operativa frente a electrodos planos en diversas aplicaciones electroquímicas.

A través del proyecto **SUR-FA**, AIDIMME ha estudiado la utilización de electrodos con este tipo de tecnología desde el diseño y selección de las estructuras hasta su fabricación, modificación y funcionalización. De esta forma, AIDIMME se posiciona en el diseño y fabricación de electrocatalizadores funcionales robustos y de alta eficiencia para su uso en distintos procesos industriales como son la generación de energía, valorización de residuos o electrosíntesis avanzada.

2. Objetivos del proyecto

El objetivo principal de SUR-FA era la creación de electrocatalizadores y dispositivos electroquímicos personalizados con geometrías complejas, porosidad adaptada, superficie activa optimizada y formación de estructuras jerárquicas a nivel nano-micro utilizando fabricación aditiva (FA).

Para alcanzar el objetivo principal del proyecto se han planteado tres objetivos específicos para la mejora de los electrocatalizadores:

1) Fabricación de electrodos porosos

Desarrollo de nuevos electrodos mediante procesos de fabricación aditiva: fusión por haz de electrones en lecho de polvo (PBF-EB), fusión por haz láser en lecho de polvo (PBF-LB) y fusión multijet (MJF). Potenciando su versatilidad mediante el diseño para control de porosidad y área efectiva; el tipo de material y la tecnología seleccionada para su fabricación

2) Modificación superficial y funcionalización catalítica.

Modificación de la superficie de sustratos metálicos a través de técnicas electroquímicas, químicas, térmicas y/o sol-gel para potenciar y/o generar actividad electrocatalítica.

2) Diseño de reactores/dispositivos

Diseño y fabricación de dispositivos para facilitar el estudio específico en cada aplicación mediante procesos de fabricación aditiva.

3. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en SUR-FA se pueden dividir en tres grandes bloques:

- Mejora en el diseño de electrodos:
 - Diseño y fabricación distintos soportes de electrodo variando su geometría estructura y porosidad. Se realizó su selección en programa de diseño y se fabricaron en Poliamida mediante FA-MJF en distintos formatos para su validación. Finalmente, se seleccionaron cuatro de ellos para su validación en cobre y titanio utilizando tecnología PBF-EB/M.
- Modificación superficial de soportes de FA mediante capas electrocatalíticas. Generación de un catálogo de electrodos clasificados por aplicación electrocatalítica.
- Mejora en el diseño de reactores:
 - Diseño y fabricación de distintos reactores para la optimización de las modificaciones superficiales de los electrodos fabricados mediante técnicas electroquímicas, optimización del flujo, disposición de electrodos y parámetros superficie/volumen.

4. Mejora en el diseño de electrodos: fabricación de electrodos porosos

Los electrodos porosos son fundamentales en dispositivos electroquímicos como electrólisis, baterías, supercapacitores o reactores de flujo debido a sus propiedades estructurales que afectan directamente la transferencia de masa, transporte iónico y conducción electrónica. Tradicionalmente, la porosidad se controlaba de forma estadística o mediante recubrimientos, pero la fabricación aditiva (AM) permite diseñar y fabricar arquitecturas porosas con control geométrico preciso a escala meso-macro.

La AM posibilita en el campo de los electrodos porosos conseguir:

- Geometrías complejas imposibles por métodos convencionales.
- Control de poro tamaño, forma y conectividad.
- Optimización de propiedades electroquímicas y mecánicas.

Estos factores son críticos en aplicaciones como el flujo de electrolito, difusión de reactivos y transformación electroquímica en electrocatalizadores o generadores de energía.

En SUR-FA se han estudiado diversos métodos de fabricación que permiten fabricar electrodos con arquitecturas detalladas:

- Powder Bed Fusion (PBF) mediante haz de electrones como fuente térmica para metales como titanio o cobre.
- Melting Jet Fusion para poliamida.

Estos métodos controlan variaciones de porosidad y estructuras internas de forma más precisa que técnicas convencionales (como la mezcla de polvos o el sinterizado).

El diseño y la fabricación de los electrodos porosos se ha enfocado a potenciar sus propiedades estructurales para la transferencia de masa, transporte iónico y conducción electrónica. La porosidad puede ser controlada mediante fabricación aditiva (AM) ya que permite diseñar y fabricar arquitecturas porosas con control geométrico preciso a escala meso-macro generando soportes robustos, precisos y específicos para cada aplicación.

Para la selección de las estructuras porosas, se estudiaron las dos grandes familias existentes, las basadas en generación de celosías (lattices) y las basadas en estructuras de superficies mínimas triples periódicas (TPMS).

- ✓ Las estructuras tipo *Lattice* (celosía) están constituidas por barras y nodos repetitivos y entre ellas se han escogido sus dos geometrías clásicas más

representativas, las cúbicas centradas en el cuerpo (BCC) y las cúbicas centradas en las caras (FCC). Se seleccionaron debido a que tienen un diseño intuitivo y fácilmente controlable por parámetros como tamaño de la celda, abertura del poro o grosor de barra. Suelen utilizarse principalmente para electrodos metálicos porosos optimizados para canalización de fluido. Sus principales características enfocadas a la fabricación de electrodos se pueden expresar en:

- Ventajas: relativamente fáciles de fabricar y robustas mecánicamente.
- Desventajas: pueden presentar picos de tensión local en nodos y mayor tortuosidad que soluciones continuas.

De esta familia de estructuras se preseleccionaron entre más de 20 distintas, cuatro centradas en el cuerpo (BCC) las BCC-nodos, G3, X-cross y G8; y otras cuatro centradas en las caras (FCC), Diamante, Dodemedium, Octet-truss y rombic dodecaedro; según se muestra en la siguiente figura.

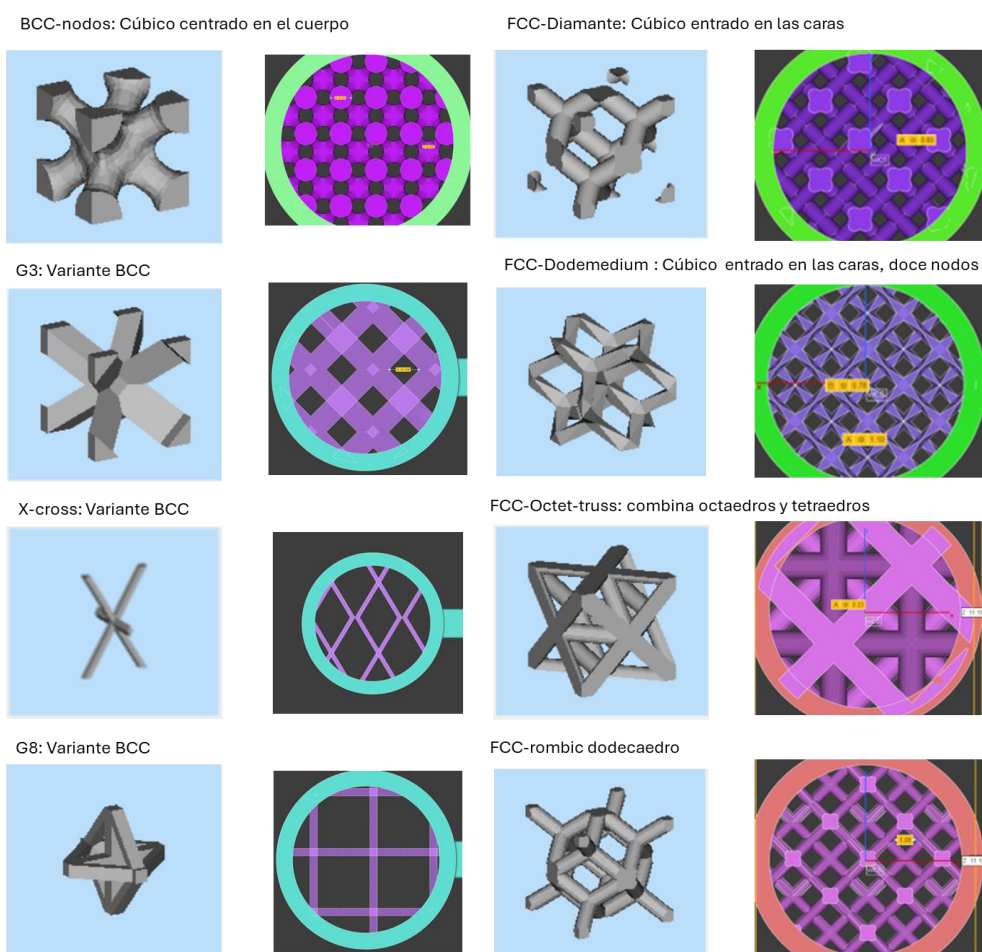


Figura 1. Selección de celdillas y estructuras en un electrodo de 1 cm² de área lineal.

- ✓ Las estructuras tipo *TPMS* (Superficies mínimas triples periódicas) son superficies periódicas con mínima curvatura media y conectividad fluida en 3D, estas características las hacen especialmente útiles para generar canales continuos sin nodos abruptos, lo que favorece el flujo de fluidos y el transporte de masa. Se suelen utilizar en intercambiadores de calor o sistemas que necesiten un transporte continuo de calor, dirección de flujo o corriente. Las estructuras más utilizadas son las de tipo giroide. Sus principales características enfocadas a la fabricación de electrodos se pueden expresar en:

- Ventajas: Mayor homogeneidad de flujo, menor tortuosidad efectiva, superficie interna optimizada.
- Desventajas: puede ser más difícil de fabricar a altas resoluciones sin post-procesado.

De esta familia se preseleccionó la de tipo giroide denominada FLEXA, Figura 2.

FLEXA: estructura superficie mínima triple periódica

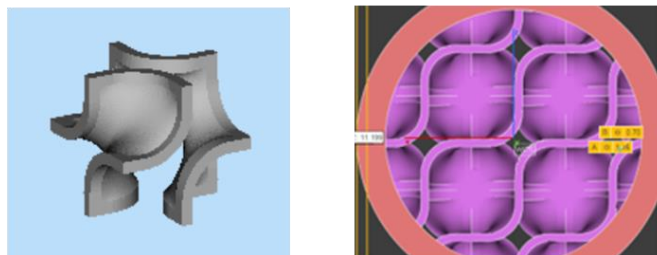


Figura 2. Selección de celdilla y estructura en un electrodo de 1 cm² de área lineal.

La metodología seguida en el proyecto se llevó a cabo en cuatro pasos, Figura 3:

- ✓ Selección de celdilla/estructura básica y selección de parámetros de diseño para electrodos. Se preseleccionaron 20 celdillas posibles.
- ✓ Diseño de la estructura en formato electrodo de diferentes geometrías, con tamaños de 1, 20 y 100 cm² de área lineal por cara. Se obtuvieron 9 diseños posibles, de los cuales se seleccionaron para su fabricación 4.
- ✓ Se fabricaron 7 modelos distintos de los 4 tipos seleccionados y se obtuvieron 4 fabricaciones validadas en poliamida (PA) mediante MJF (Multi Jet Fusion) en las tres geometrías distintas.
- ✓ Finalmente se validaron los cuatro tipos de electrodos seleccionados en las mejores condiciones de fabricación obtenidos en PA tanto en cobre como en titanio.

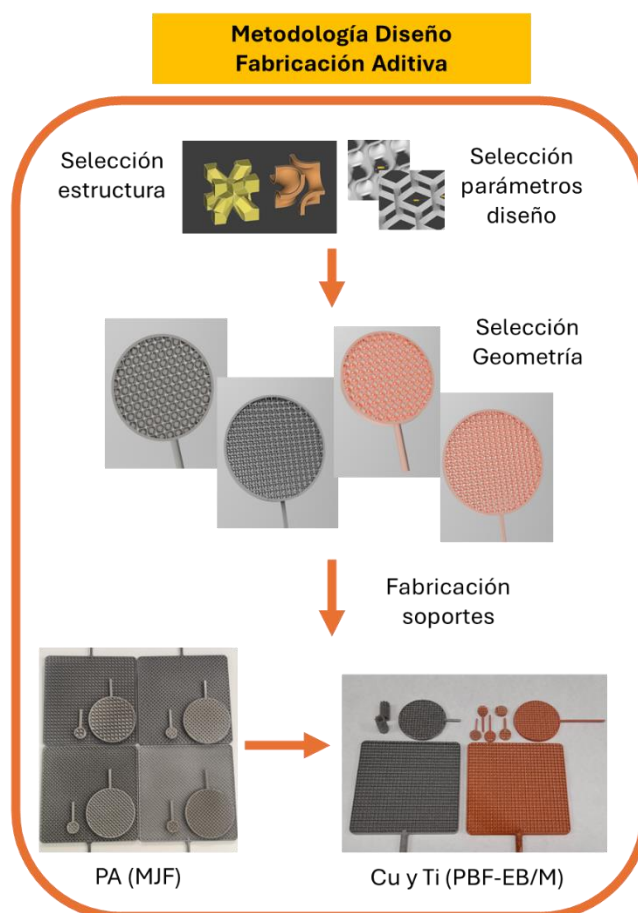


Figura 3. Metodología utilizada en el diseño y fabricación de electrodos porosos.

De todas las estructuras preseleccionadas se descartaron todas las derivadas de una configuración de lattice con disposición centrada en el cuerpo ya que los acabados de los diseños presentaban en las caras puntas y dificultad en el cierre de la estructura o falta de continuidad. De las estructuras con configuración centrada en las caras se seleccionaron tres de ellas: Diamond, Dode-medium y Octet-truss.

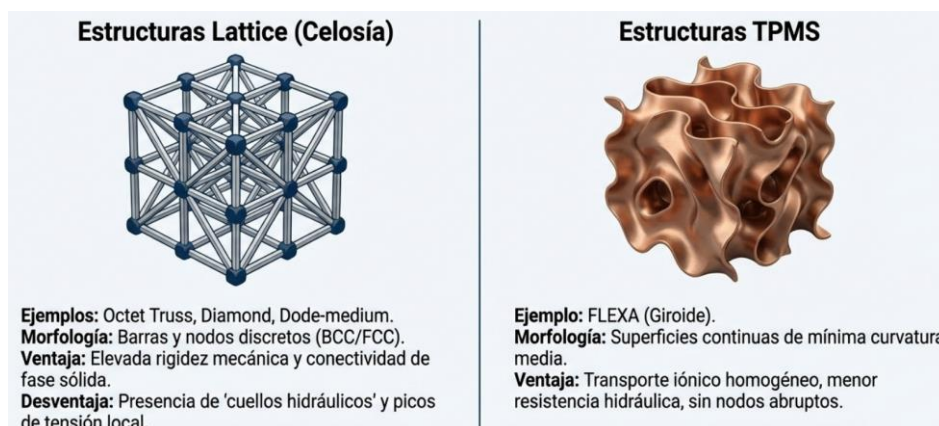


Figura 4. Imagen conceptual comparativo de las dos familias de tipo de estructuras estudiadas en el proyecto y los diseños seleccionados.

Las tres estructuras de Lattice seleccionadas y la de TPMS, FLEXA, se fabricaron en poliamida debido a que eran las cuatro con mayor potencial inicial para su uso como electrodos porosos, Figura 4. Para ello se realizaron diseños con el mismo espesor y rango de superficie y tamaño de poro y posteriormente se fabricaron en distintas tecnologías y materiales, Figura 5 y Figura 6.

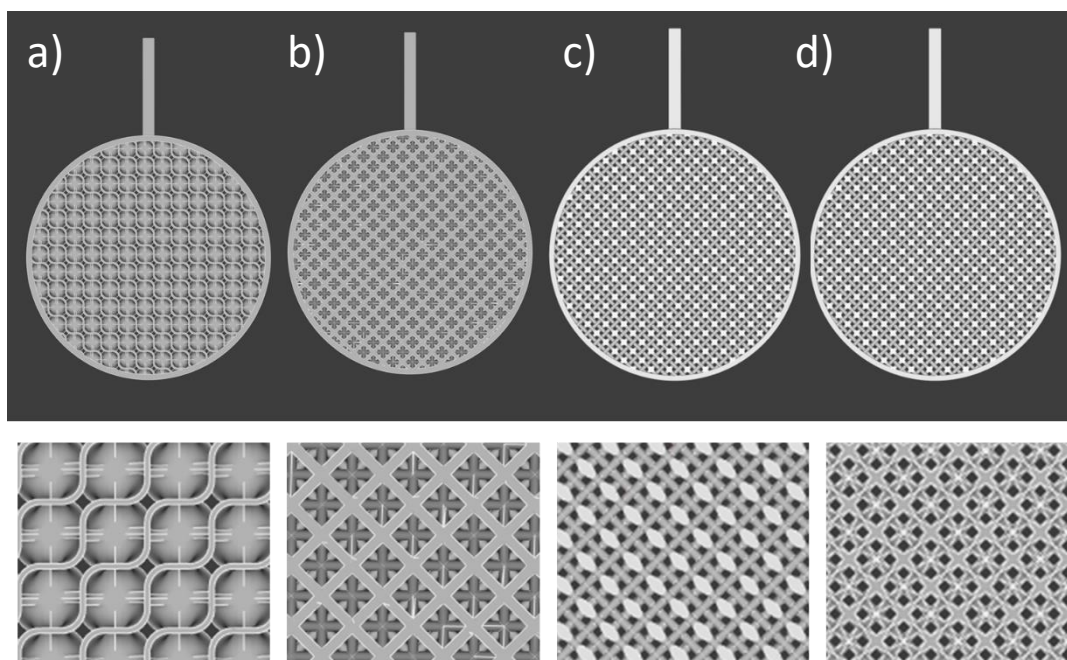


Figura 5. Detalle de las imágenes de las cuatro estructuras seleccionadas y el diseño de los electrodos en formato de 50 mm de diámetro: a) Flexa (TPMS); b) Octet Trust (Lattice FCC); c) Diamond 20 (Lattice FCC) y d) Dode-medium (Lattice FCC).

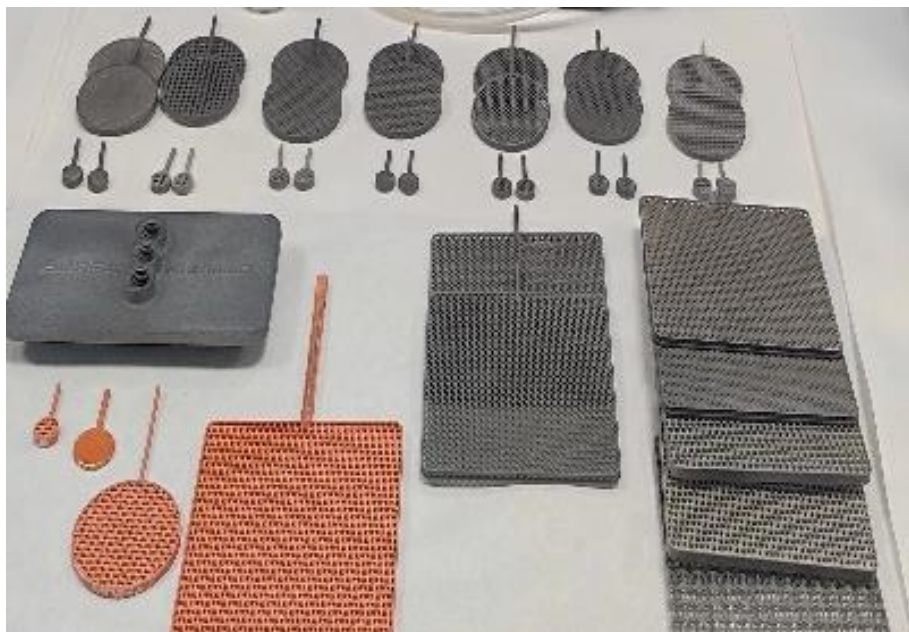


Figura 6. Electrodo fabricados en poliamida en diversas estructuras, tamaños y porosidad junto a uno de los electrodos fabricados en cobre en distintas geometrías.

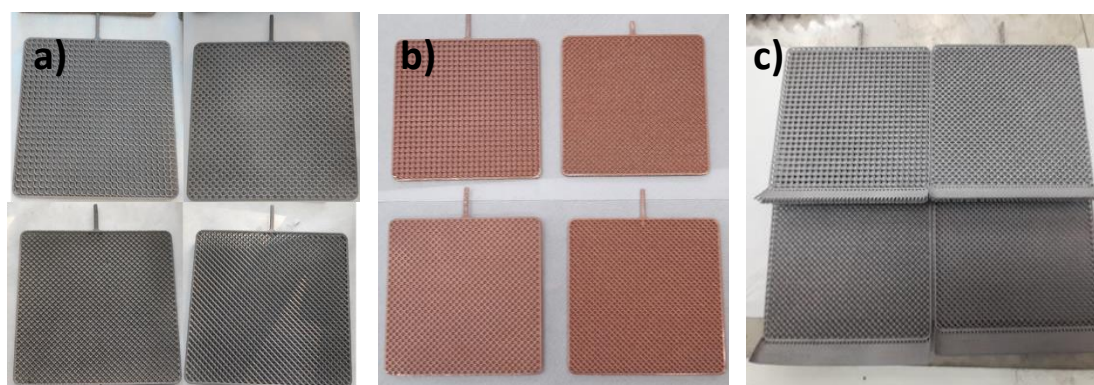


Figura 7. Electrodo 100x100 mm fabricados en los cuatro tipos de estructuras estudiadas en a) PA mediante MJF, b) en cobre mediante PBF-EB/M y c) en titanio mediante PBF-EB/M.

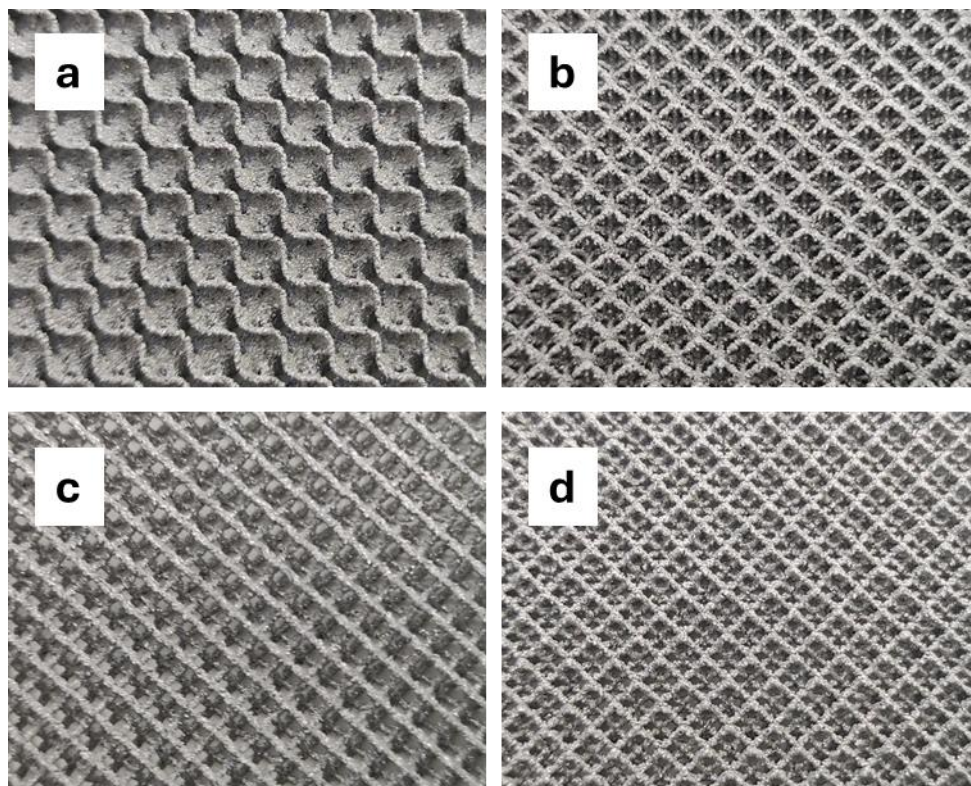


Figura 8. Detalle de las superficies de los electrodos fabricados en titanio con las cuatro estructuras, a) Flexa, b) Octet-truss, c) Diamond y d) Dode-medium.

Del estudio realizado en cuanto al diseño se ha podido comparar los siguientes parámetros, Tabla 1 y evaluado según los principales criterios para electrodos porosos, Tabla 2.

Tabla 1. Comparativa de los valores obtenidos mediante programa de diseño.

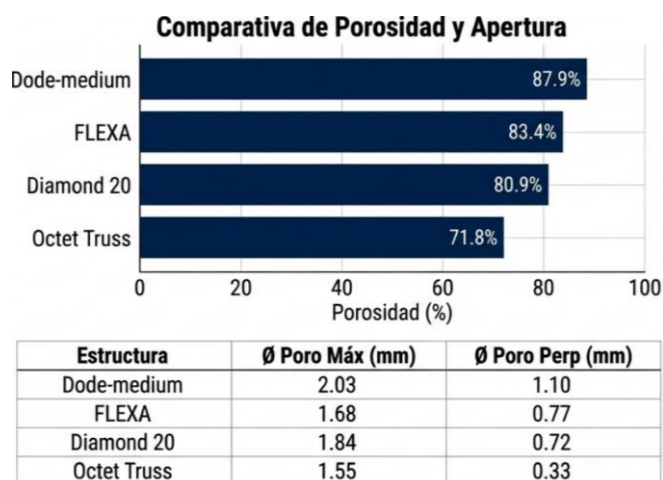


Tabla 2. Evaluación de los electrodos según criterios de diseño de electrodos porosos.

Criterio	Octet Truss	FLEXA	Diamond 20	Dode-medium
Porosidad	 Media	 Alta	 Alta	 Muy alta
Transporte iónico	 Bajo	 Muy alto	 Alto	 Muy alto
Tortuosidad	 Alta	 Baja	 Media	 Baja
Área accesible	 Media	 Muy alta	 Alta	 Alta
Robustez mecánica	 Muy alto	 Media	 Alta	 Media

Evaluación de resultados

- ✓ El electrodo **Octet Truss** es el que mayor volumen de sólido presenta con una porosidad del 72%, esto se corresponde con los poros perpendiculares más pequeños con una gran diferencia. Es un tipo de configuración con alta tortuosidad ya que su poro máximo es mucho mayor que su poro perpendicular lo que hace que el flujo se redirija aumentando el mezclado y el tiempo de residencia dentro de la estructura. Presenta alta rigidez mecánica. Para los electrodos, presenta el más bajo transporte iónico lo que podría suponer una mayor caída de potencial y riesgo de zonas heterogéneas en el transporte convectivo.
- ✓ El electrodo tipo **FLEXA** presenta una porosidad alta, 83%, con un diámetro de poro tanto en su paso perpendicular como en el transversal bastante grandes, con canales continuos, suaves y direccionados para generar un flujo dinámico sin mucha pérdida de carga y máximo contacto con la superficie. Para el diseño de electrodos presenta excelente conectividad 3D, muy buena homogeneidad, baja tortuosidad y muy buen compromiso de área, es la estructura más equilibrada y robusta.
- ✓ El electrodo tipo **Diamond 20**, presenta porosidad alta, 80% con un diámetro de poro transversal similar al de FLEXA y canales bien definidos, aunque con nodos. Para los electrodos presenta un buen flujo y mayor resistencia y estabilidad que FLEXA. Muy buena alternativa si se necesita estabilidad geométrica.

- ✓ La estructura **Dode-medium** es la que presenta mayor porosidad, llegando a un 88% y mayor diámetro de poro tanto en la dirección transversal como en tamaño de poro máximo dentro de la estructura. Para el diseño de los electrodos estas características generan muy baja resistencia hidráulica, excelente mojabilidad, menor área sólida conductora y menor rigidez mecánica que las otras dos estructuras de lattice, presentando el mayor transporte de electrolito iónico de los cuatro.

De este tipo de análisis se comprueba que se han podido diseñar y fabricar cada una de las estructuras seleccionadas con los parámetros de diseño fijados. Cada una de ellas presenta unas características distintas que pueden ser válidas para distintas aplicaciones con fines electroquímicos como electrocatalizadores y electrodos porosos avanzados. A modo de esquema se muestra en la siguiente imagen cada una de las estructuras, sus potencialidades puestas como objetivos y recomendaciones de uso para electrodos porosos.

Objetivo: Máxima Eficiencia de Transporte Recomendación: FLEXA Baja tortuosidad, flujo continuo, sin zonas muertas. 	Objetivo: Estabilidad Mecánica y Flujo Recomendación: Diamond 20 Buen compromiso entre robustez y paso de fluido. 
Objetivo: Máximo Volumen de Electrolito Recomendación: Dode-medium Porosidad extrema (88%), mínima resistencia hidráulica. 	Objetivo: Alto Mezclado / Turbulencia Recomendación: Octet Truss Alta tortuosidad para forzar la interacción fluido-sólido. 

Figura 9. Matriz de decisión según parámetros de diseño y estructuras estudiadas.

5. Modificación superficial y funcionalización catalítica

Tras la fabricación de los electrodos porosos, se llevaron a cabo diversas modificaciones superficiales con el objetivo de incrementar su área activa electrocatalítica. Estas modificaciones permiten aumentar la micro- y nano-rugosidad de la superficie, así como mejorar el anclaje de los catalizadores durante la funcionalización posterior. El proceso

de modificación y funcionalización depende del tipo de material del electrodo y de la aplicación o catalizador empleado. A modo de ejemplo, en la siguiente figura se muestra un electrodo de PA antes y después del proceso completo de modificación superficial, que incluye las etapas de limpieza, metalizado con cobre y funcionalización catalítica para su uso como electro-cátodo.

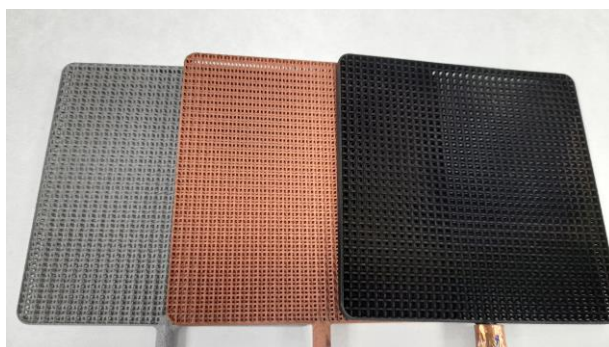


Figura 10. Electrodos de 100x100 mm fabricados en PA con estructura Dode-medium y modificados superficialmente para su uso como electro-cátodo.

Las modificaciones superficiales obtenidas en SUR-FA, muestran que esta metodología permite obtener electrodos porosos con un elevado potencial electrocatalítico. Dichos electrodos presentan una arquitectura jerárquica, lo que da lugar a superficies electrocatalíticas altamente robustas y optimizadas para aplicaciones avanzadas que requieren altas prestaciones y elevada eficiencia, Figura 11.

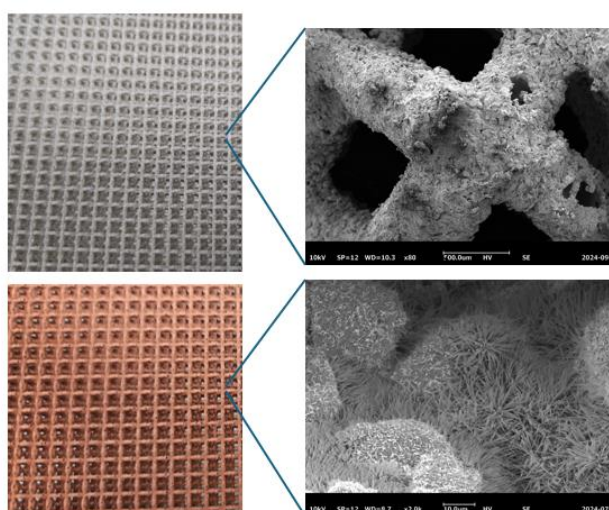


Figura 11. Detalle de las estructuras obtenidas tras la fabricación y modificación superficial de los electrodos de cobre.

5.1. Catálogo de electrodos

A continuación, se recopilan en forma de catálogo diversos sustratos metálicos fabricados con tecnologías de fabricación aditiva y modificados mediante técnicas térmicas y/o electroquímicas desde AIDIMME para su aplicación directa como electrodos en procesos electro-fotocatalíticos tanto para reacciones de oxidación como para reacciones de reducción.

Se han dividido según el material base con el que se fabrican y su posible aplicación según la modificación posterior o dopaje.

5.1.1. Base Titanio fabricado mediante PBF-EB o PBF-LB, en formato plano o rejilla, para reacciones de oxidación

Los electrodos en base Titanio se obtienen a partir de dos tecnologías distintas con ciertas diferencias en cuanto al proceso de fabricación. La principal diferencia es la rugosidad que se alcanza en ellas debido a la granulometría del polvo del que se parte, la de PBF-EB alcanza rugosidades en torno a las 30 micras mientras que en el caso de PBF-LB las rugosidades son en torno a las 10 micras.

Tras la fabricación, hay diversos pre-tratamientos que nos permiten adecuar la superficie según el acabado o aplicación requerida. De manera general, se realizan limpiezas para la eliminación de óxidos, inclusiones o defectos del tratamiento de fabricación para asegurar su homogeneidad o para aumentar los anclajes posteriores de los recubrimientos o dopajes.

A continuación, se muestran, a modo de ejemplo las microestructuras en la superficie de ambas tecnologías de fabricación.

Ti-PBF-EB/M



Figura 12. Estructuras de las superficies de soportes de titanio fabricados con tecnología PBF-EB.

Ti-PBF-LB/M

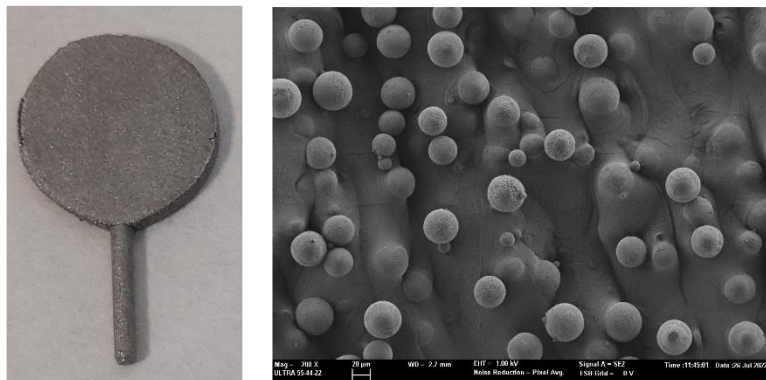
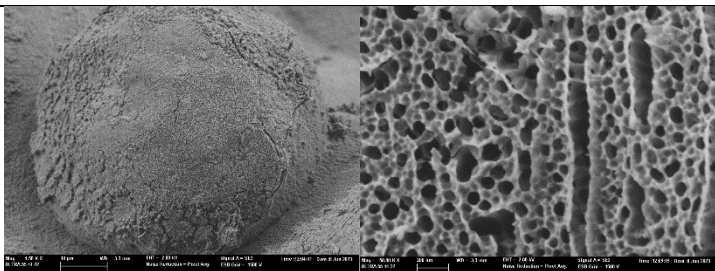
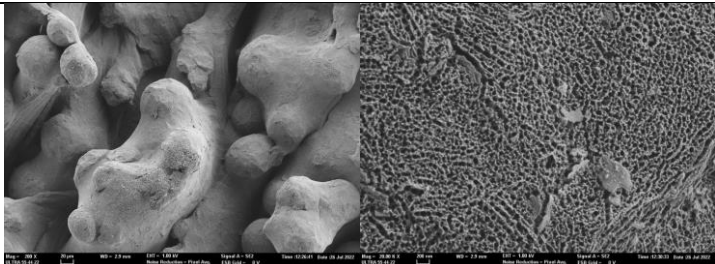
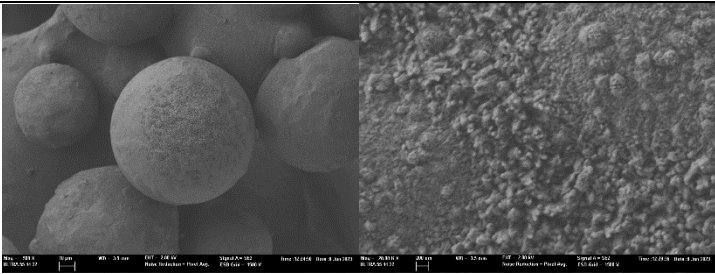
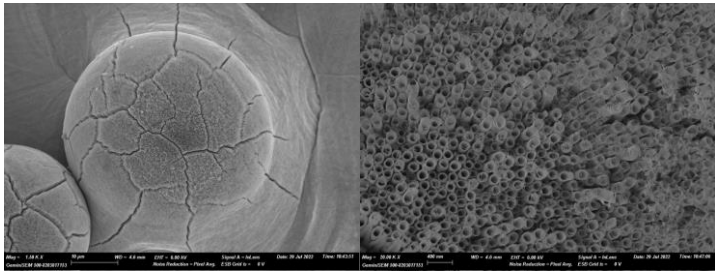
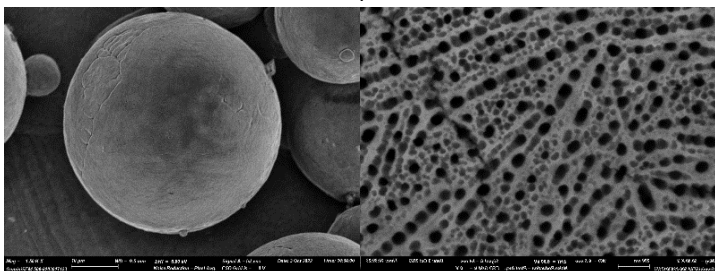
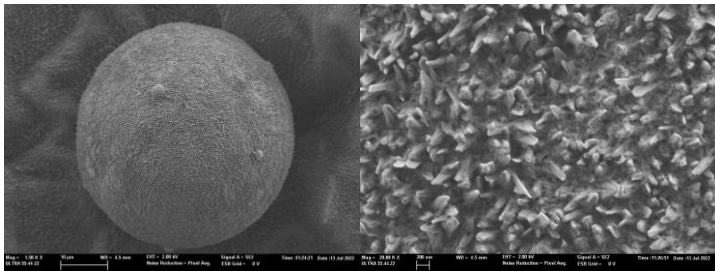


Figura 13. Estructuras de las superficies de soportes de titanio fabricados con tecnología PBF-LB.

En cuanto a las modificaciones superficiales, se distinguen, por una parte, las que consiguen aumentar su superficie generando nanoestructuras controladas como es el caso de superficies nanoporosas, con nanotubos, nano escamas, etc.; y por otra parte, las que consiguen eliminar cualquier imperfección y rugosidad de la misma consiguiendo superficies lisas incluso brillantes, estas son los acabados tipo pulido y se utilizan principalmente con fines estéticos y para la protección de la corrosión. Algunas de estas modificaciones sobre el titanio se muestran a continuación, Tabla 3:

Tabla 3. Modificación de sustratos de titanio. Detalle de las microestructuras obtenidas.

Tecnología de fabricación	Tratamiento/dopaje	Apariencia	Microestructura
PBF-EB	PC_60		
PBF-EB	OP_15		

PBF-EB	TT_800		
PBF-LB	PC_60		Nanotubos 
PBF-LB	OP_15		Nanoporos 
PBF-LB	TT_800		Escamas 

5.1.2. Base Titanio con níquel, en forma de capa (Ti_Ni) para reacciones de oxidación

Para obtener superficies catalíticas en aplicaciones electroquímicas se suelen realizar dopajes. Sobre los sustratos de titanio se ha realizado la incorporación de níquel tanto en forma de recubrimiento como en forma de nanopartículas sobre distintos soportes modificados. A continuación, se muestran algunas de las modificaciones obtenidas tras los dopajes con níquel, Tabla 4 en forma de recubrimiento y en la Tabla 5 en forma de nanopartículas.

Tabla 4. Modificación de sustratos de titanio. Recubrimientos de níquel.

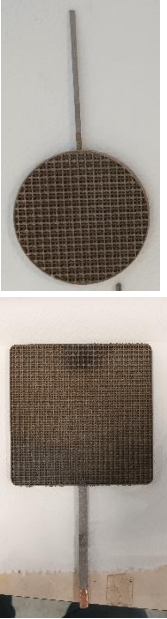
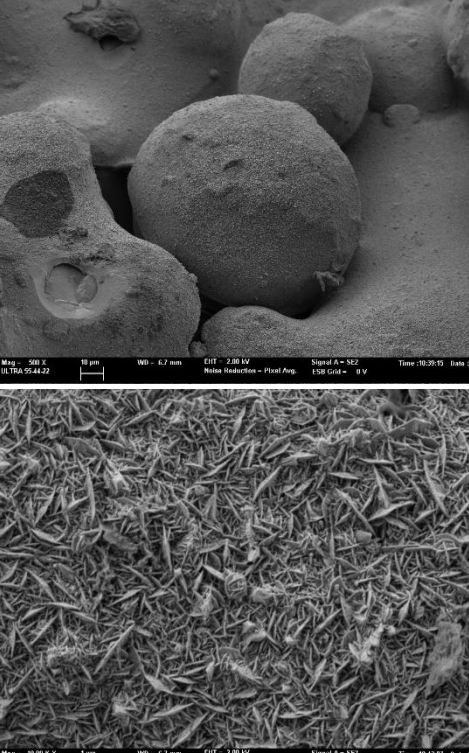
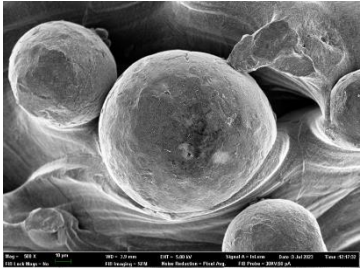
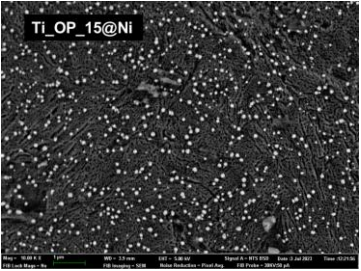
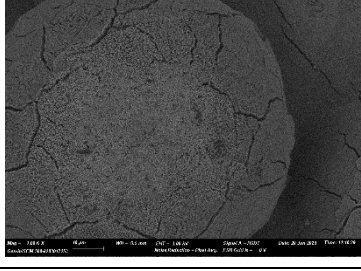
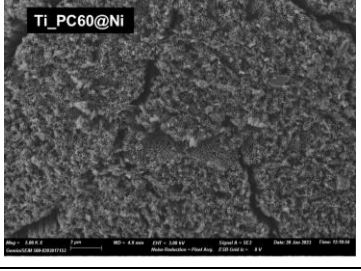
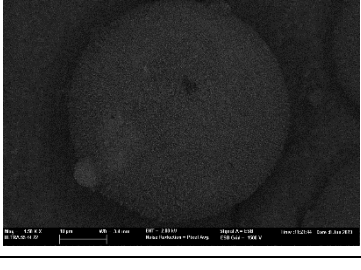
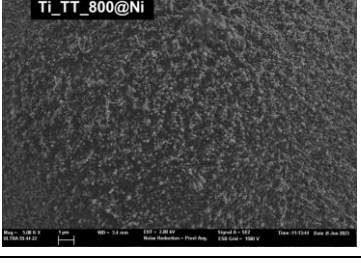
Tecnología de fabricación	Tratamiento /dopaje	Dimensiones	Apariencia	Microestructura
PBF-EB	Sin tratamiento/ Ni_EQ	Ø 50 mm 100 mm x 100 mm		

Tabla 5. Modificación de sustratos de titanio. Dopajes de nanopartículas de níquel.

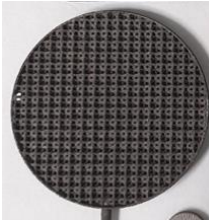
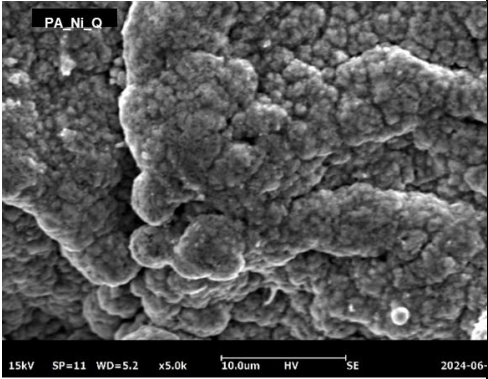
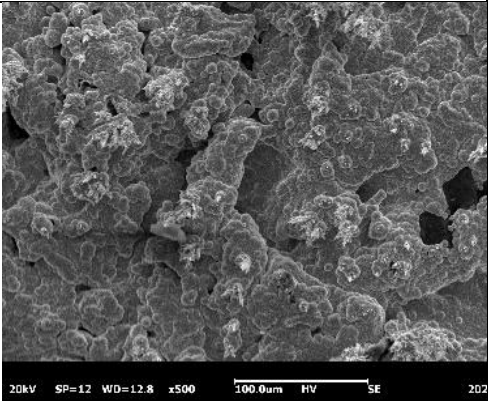
Tecnología de fabricación	Tratamiento /dopaje	Apariencia	Microestructura
PBF-LB	OP_15 /Ni_EQ		 
PBF-LB	PC_60 /Ni_EQ		 
PBF-LB	TT_800 /Ni_EQ		 

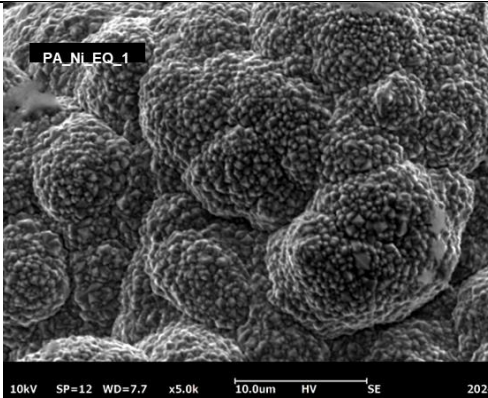
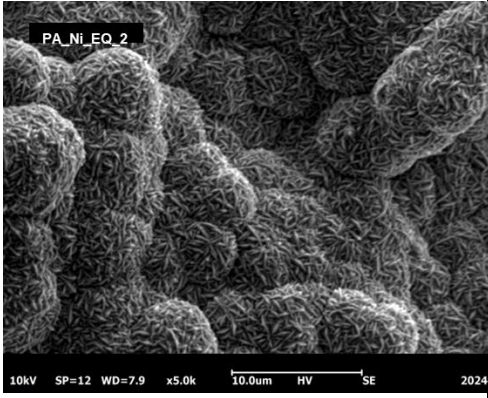
5.1.3. Base sustrato no conductor metalizado con níquel químico o electroquímico

Además de los sustratos metálicos también se han realizado modificaciones superficiales sobre sustratos no conductores que han sido metalizados con níquel para su uso en reacciones de oxidación. Estos sustratos se fabrican mediante tecnologías 3D de fusión de polvo cuyo tamaño de partícula es de 60 micras. Se han realizado recubrimientos químicos y/o electroquímicos, sobre sustrato plano y en formato rejilla en diversos tamaños, desde de 1 cm² hasta 200 cm² de superficie lineal.

A continuación, se muestran algunas de las superficies de estas estructuras y de sus recubrimientos, Tabla 6.

Tabla 6. Modificación de sustratos de poliamida. Recubrimientos de níquel químico/electroquímico.

Tratamiento /dopaje	Apariencia	Microestructura
Ni_Q		
Ni_Q		
Ni_Q		
Ni_EQ_1		

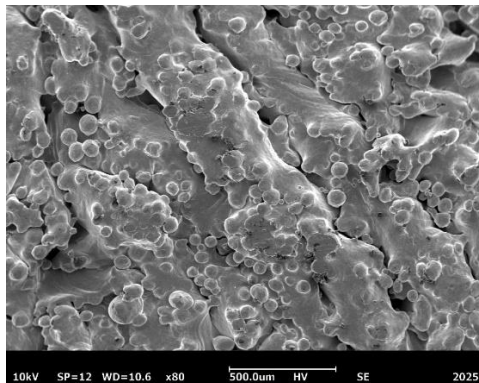
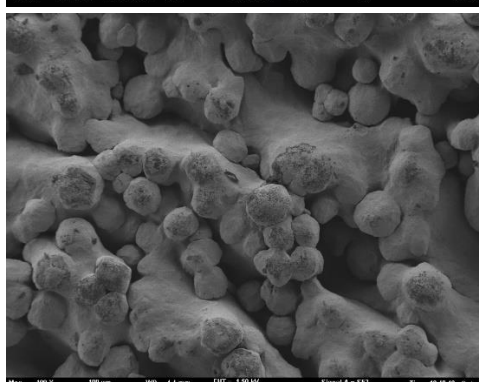
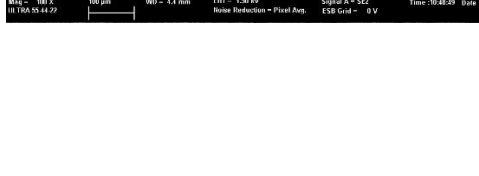
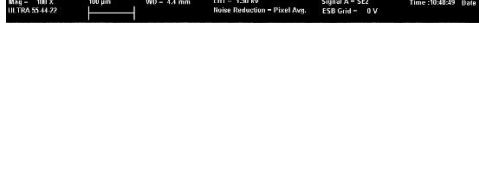
		
Ni_EQ_2		 

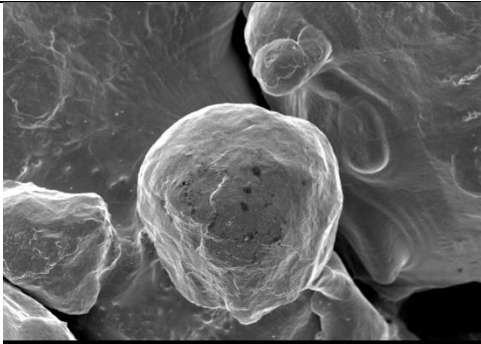
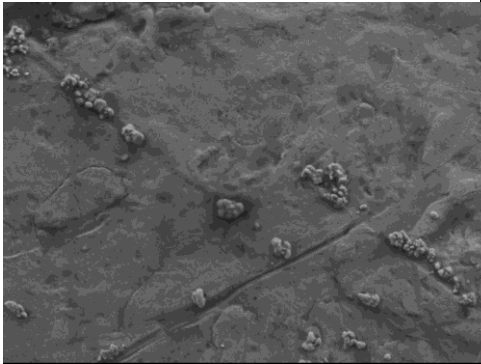
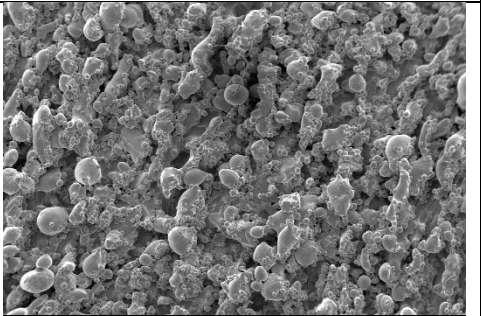
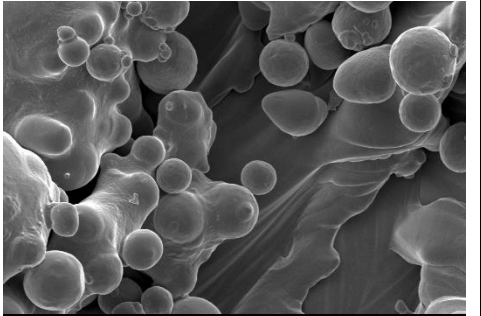
5.1.4. Base Cobre en PBF-EB y en PBF-LBG, en formato plana o rejilla

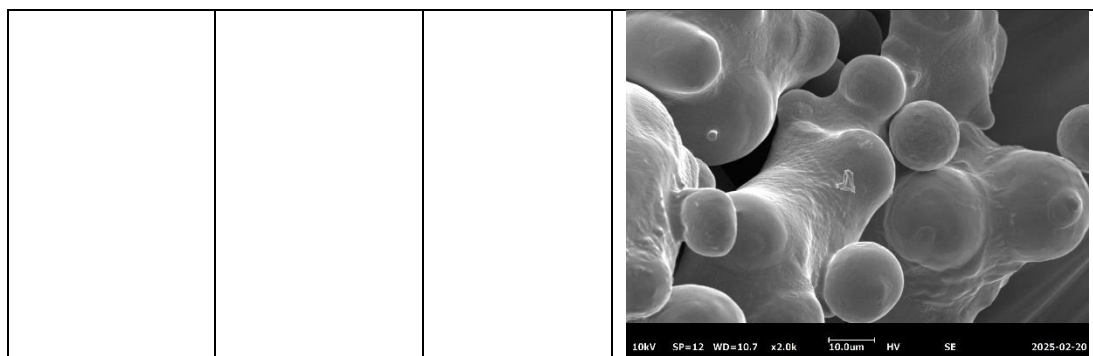
Los sustratos en base cobre se obtienen a partir de dos tecnologías distintas con ciertas diferencias en cuanto al proceso de fabricación. La principal diferencia es la rugosidad que se alcanza en ellas debido a la granulometría del polvo del que se parte, la de PBF-EB tiene una granulometría de 45 a 100 μm mientras que en el caso de PBF-LBG es de 15 a 45 μm .

Como en el caso del sustrato titanio, tras su fabricación, hay diversos tratamientos que permiten realizar limpiezas sobre su superficie para la eliminación de óxidos, inclusiones o defectos del tratamiento de fabricación para asegurar su homogeneidad o para aumentar los anclajes posteriores de los recubrimientos o dopajes.

Tabla 7. Sustratos de cobre de diferentes geometrías y tamaños, sin tratamiento.

Tecnología de fabricación	Dimensiones	Apariencia	Microestructura
PBF-EB	Ø 11 mm		
PBF-EB	Ø 11 mm		
PBF-EB	Ø 20 mm		
PBF-EB	Ø 50 mm		

PBF-EB	100 mm x 100 mm		 10kV SP=12 WD=10.6 x1.0k 50.0um HV SE 2025-02-20  Mag = 20.00 K X 200 um WD = 4.6 mm EHT = 15.00 kV Prime Production - Pixel Avg. Signal A - SE2 Time 19:38:37 Date 25-02-20
PBF-LBG	Ø 20 mm		 10kV SP=12 WD=10.7 x80 500.0um HV SE 2025-02-20  10kV SP=12 WD=10.7 x1.0k 50.0um HV SE 2025-02-20

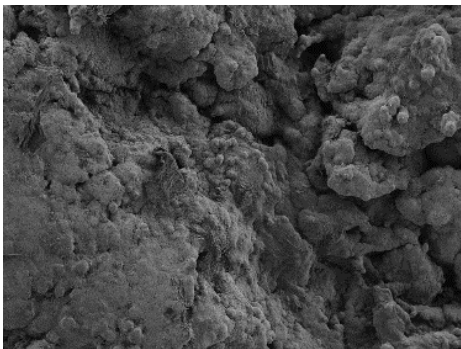
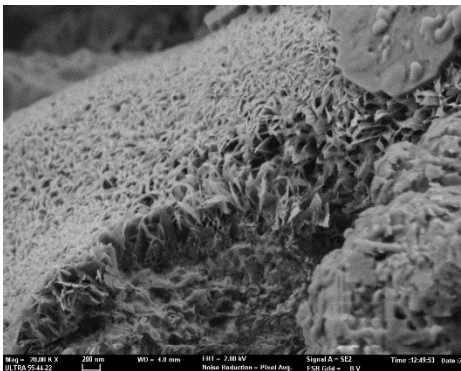
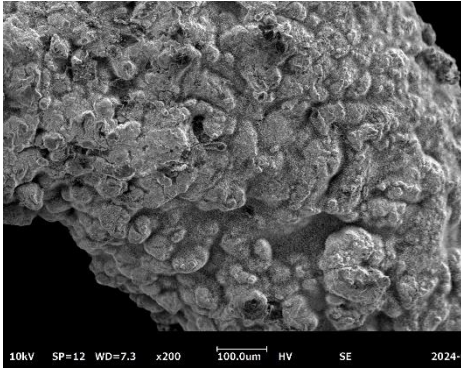
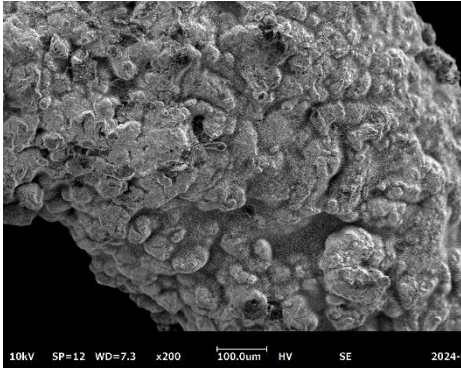


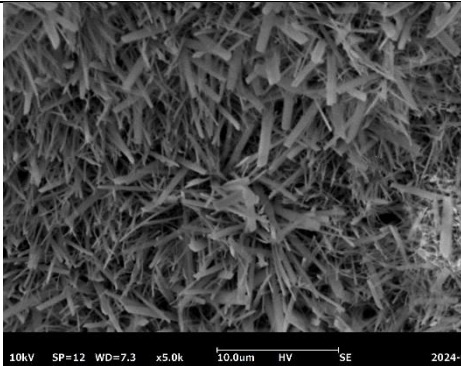
5.1.5. Base sustrato no conductor metalizado con cobre químico o electroquímico

En el caso de sustratos en base cobre también se han obtenido mediante sustratos no conductores metalizados con cobre. Estos sustratos se fabrican mediante tecnologías 3D de fusión de polvo cuyo tamaño de partícula es de 60 micras. Se han realizado recubrimientos químicos y/o electroquímicos, sobre sustrato plano y en formato rejilla en diversos tamaños, desde de 1 cm² hasta 200 cm² de superficie lineal.

A continuación, se muestran algunas de las superficies obtenidas tras las metalizaciones y tras su modificación superficial, Tabla 8.

Tabla 8. Modificación de sustratos de poliamida fabricadas mediante MJF.
Recubrimientos de cobre químico/electroquímico y su modificación superficial.

Tratamiento /dopaje	Dimensiones	Apariencia	Microestructura
Cu_Q	Ø 11 mm		
Cu_Q	Ø 50 mm		
Cu_Q	100 mm x 100 mm		
Cu_Q_Ox	Ø 10 mm		
Cu_Q_Ox	Ø 50 mm		

Cu_Q_Ox	100 mm x 100 mm		
---------	--------------------	---	--

6. Mejora en el diseño de reactores: Diseño de reactores/dispositivos para estudios electrocatalíticos

En **SUR-FA** se ha realizado el diseño de dispositivos y reactores fabricados mediante tecnologías 3D para realizar los procesos de modificación superficial y sus caracterizaciones de forma más reproducible.

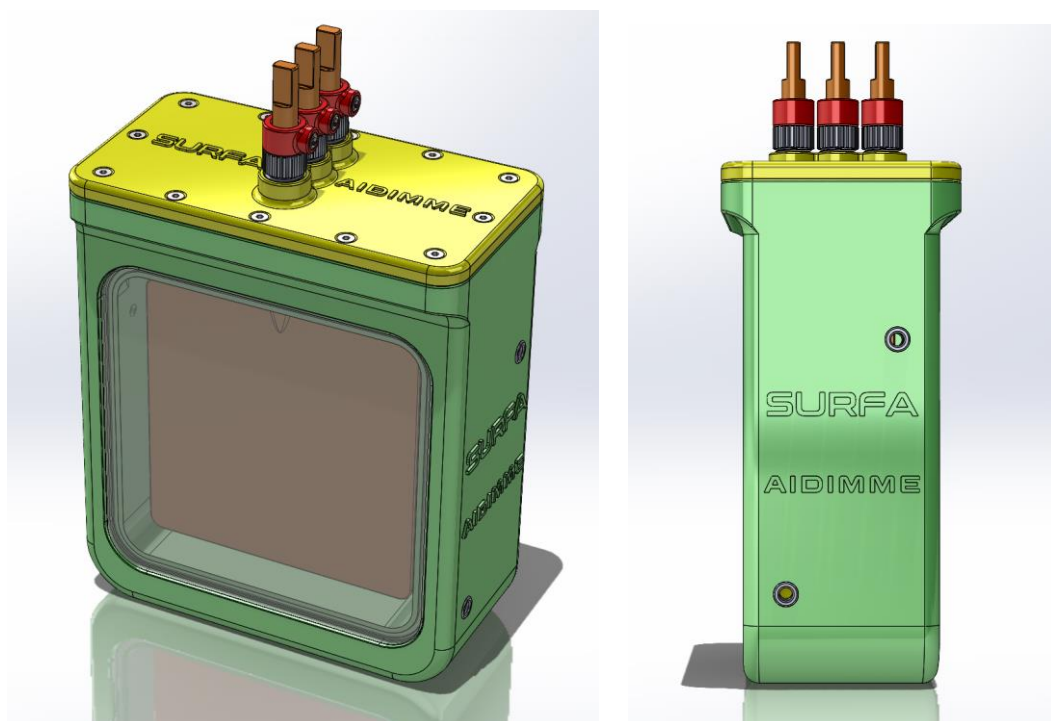


Figura 14. Imágenes de la celda diseñada para modificación de superficies de electrodos 100x100mm.

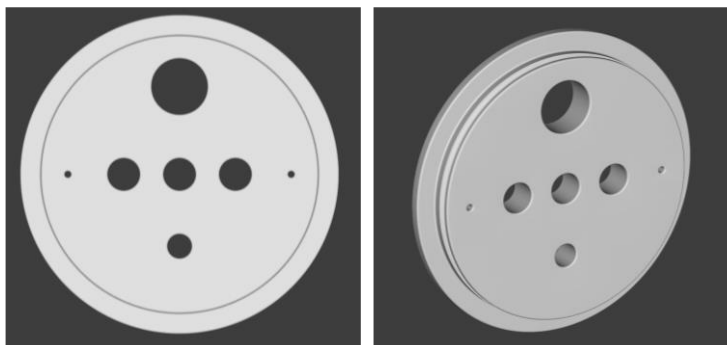


Figura 15. Imágenes de la tapa diseñada para modificación de superficies de electrodos 1-2 cm de diámetro.

En la siguiente figura se muestran algunas de los dispositivos fabricados en el proyecto.

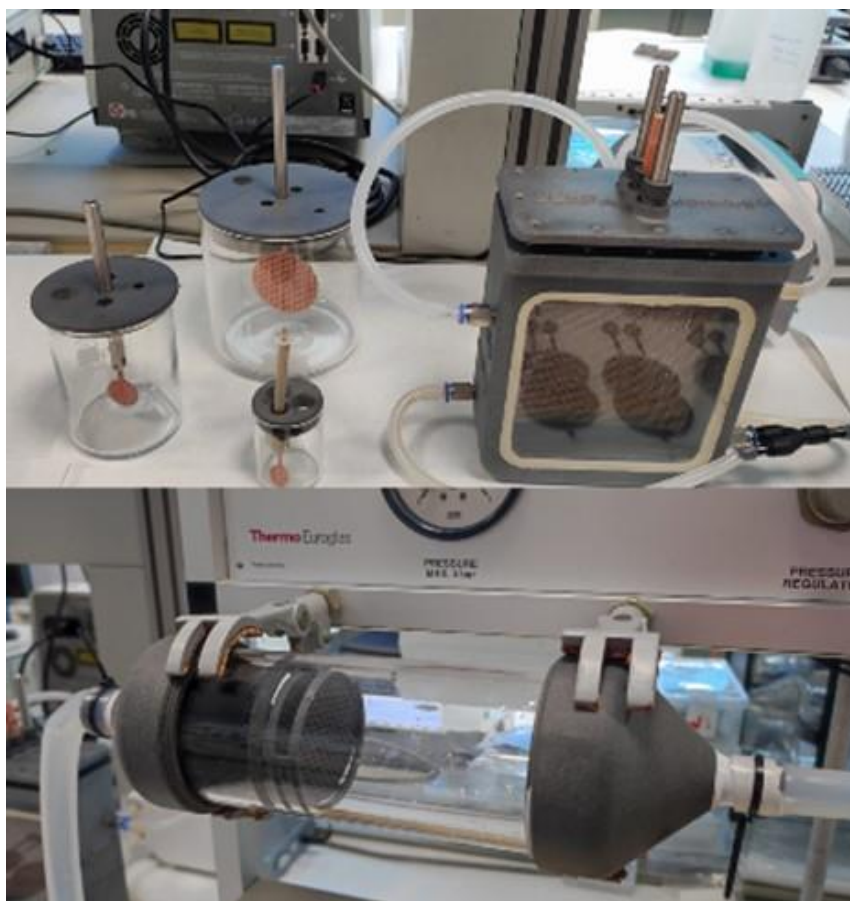


Figura 16. Dispositivos fabricados en SUR-FA para realizar las modificaciones superficiales y sus caracterizaciones.



Figura 17. Celda fabricada en el proyecto.

7. Conclusiones

Se han diseñado y fabricado cuatro tipos diferentes de electrodos porosos mediante dos tipos de tecnologías de fabricación aditiva, MJF y PBF-EB/M, empleando materiales la poliamida, el cobre y el titanio. Los resultados muestran que la modificación de estructuras en la etapa de diseño permite generar superficies con diferente potencial electrocatalítico. Cada tipo de electrodo presenta características específicas que pueden aprovecharse en diversas aplicaciones electrocatalíticas, en función de las prestaciones requeridas en cada caso. Las principales características obtenidas en cada una de ellas han sido:

- **FLEXA (TPMS)**, combina alta porosidad, baja tortuosidad y geometría continua, favoreciendo transporte de masa lo que se traduce en eficiencia electroquímica.
- **Diamond 20 (Lattice FCC)**, es más robusta y fabricable que la FLEXA y mantiene un buen equilibrio entre porosidad y soporte mecánico.
-

- **Dode-medium (Lattice FCC)**, maximiza flujo ya que presenta el máximo de porosidad, pero presenta menor continuidad electrónica.
- **Octet Truss (Lattice FCC)**, aunque mecánicamente fuerte, limita el transporte de masa debido a diámetros transversales reducidos y su alta tortuosidad, en reactores de flujo con presión puede presentar altos tiempos de residencia y mezclado.

Además, **SUR-FA** ha validado una metodología para la fabricación de electrodos porosos mediante tecnologías 3D y su posterior modificación superficial. Esta metodología permite obtener superficies homogéneas con una arquitectura porosa jerárquica, la cual incrementa su superficie activa y, en consecuencia, mejora de forma significativa su eficiencia electrocatalítica en aplicaciones de altas prestaciones.

AIDIMME

Instituto Tecnológico

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

aidimme@aidimme.es
www.aidimme.es