

**MEMORIA DESCRIPTIVA
DE LA
PATENTE DE INVENCION**

Sobre:

**“PROCEDIMIENTO DE REDUCCION ELECTROQUIMICA
DE DIÓXIDO DE CARBONO A ÁCIDO FÓRMICO”**

Solicitada por:

Comisión Nacional de Energía Atómica

con domicilio en Av. Del Libertador 8250, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

&

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

con domicilio en Godoy Cruz 2290, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Inventores:

Federico Andrés VIVA

Jhon Faber ZAPATA CARDONA

Cecilia Andrea ALBORNOZ

Por el plazo de:

20 años

PROCEDIMIENTO DE REDUCCIÓN ELECTROQUÍMICA DE DIÓXIDO DE CARBONO A ÁCIDO FÓRMICO

- [1] La presente invención se refiere a un procedimiento de reducción electroquímica de dióxido de carbono (CO_2) a ácido fórmico (CH_2O_2), que comprende el empleo de un electrocatalizador de dióxido de cerio (CeO_2) dopado con cobre (Cu) en medio acuoso.

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCIÓN

- [2] El campo técnico al cual pertenece la presente invención es el de la reducción de dióxido de carbono para el almacenamiento de energía eléctrica en un vector de energía o para la obtención de compuestos orgánicos de bajo peso molecular que se empleen como precursores de compuestos de mayor peso molecular.

ESTADO DE LA TÉCNICA

- [3] El dióxido de carbono es el producto final de la combustión de cualquier compuesto orgánico en presencia de oxígeno y al mismo tiempo es el resultado de la respiración animal. Éste se encuentra naturalmente en la atmósfera en pequeñas cantidades, aproximadamente el 0,035%. Sin embargo, desde mediados del siglo pasado hubo un aumento significativo en la cantidad atmosférica de CO_2 , donde según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la emisión de CO_2 ha crecido a una tasa del 1,9% anual alcanzando 379 ppm en 2005 y estando actualmente en el orden de 411,29 ppm. El CO_2 es uno de los responsables del denominado cambio climático que tiene como una de sus consecuencias el aumento de la temperatura global.
- [4] Por consiguiente, es de un gran interés disminuir la concentración del CO_2 en la atmósfera y de las emanaciones concentradas en el mismo perteneciente a grandes industrias como la del cemento o el aluminio.

- [5] La reducción de dióxido de carbono ha sido concebida como una forma de disminuir su emanación en las industrias altamente generadoras o reducir la concentración atmosférica.
- [6] La reducción de dióxido de carbono a metanol es el punto inicial de lo que se conoce como economía del metanol descrito en las patentes N° [US8212088B2](#) y [US8138380B2](#). El dióxido de carbono puede reducirse de forma química o electroquímica, produciendo una serie de compuestos entre los que se encuentran: monóxido de carbono, formaldehído, ácido fórmico, metanol, metano. Estos compuestos pueden emplearse como combustibles, como es el caso del metanol y el metano, o como materias primas para la producción de moléculas más complejas como polímeros e hidrocarburos, hoy en día provenientes de combustibles fósiles.
- [7] La reducción electroquímica del CO₂ es de gran interés dado que es un proceso a temperatura ambiente. Además de ser una forma conveniente de disminuir el nivel de dióxido de carbono atmosférico y que los productos de reacción puedan ser empleados para la síntesis de productos de alto valor comercial, puede también emplearse en el almacenamiento de energía a partir de fuentes sustentables [[Hori Y., Wakebe H., Tsukamoto T., Koga O., *Electrochimica Acta*, 39 \(1994\). doi: 10.1016/0013-4686\(94\)85172-7](#)].
- [8] La generación de productos a partir de la reducción electroquímica de CO₂ depende de diversos factores que definen la eficiencia y selectividad del catalizador, entre estos el electrolito, la temperatura, el potencial de electrodo y el pH [[J. Electroanal. Chem.](#), 391 (1995), pp. 141- 147, doi: 10.1016/0022-0728(95)03935-A]. Se han dedicado grandes esfuerzos al desarrollo de catalizadores homogéneos y heterogéneos para este propósito, donde uno de los desafíos está en el diseño de catalizadores con selectividad por la reducción de CO₂ en agua con la mínima generación de hidrógeno (H₂), estabilidad a largo plazo, eficiencia catalítica a bajo sobrepotencial y composiciones de materiales abundantes en la tierra [[Peidong Yang, *J. Am. Chem. Soc.*, 2015, 137 \(44\), pp. 14129–14135, doi: 10.1021/jacs.5b08212](#)].

- [9] El ácido fórmico es un compuesto de alto valor. Este es un compuesto líquido a temperatura ambiente, de baja toxicidad y peligrosidad siendo propuesto como otro posible portador de H₂, además del metanol. Asimismo, puede convertirse en metanol fácilmente por procesos probados y establecidos. Entre sus usos se encuentra la industria del cuero y de la goma, como aditivo o conservante en la industria alimenticia. La producción anual de ácido fórmico se encuentra alrededor de 600 kt.
- [10] En las patentes N° [CN103741164B](#), [US8562811B2](#), [US9315913B2](#), [US10047446B2](#) y [US9255335B2](#) se identifican las principales características requeridas por el proceso de reducción de CO₂. Éstas son un bajo potencial de reducción (en valor absoluto), una alta eficiencia farádica, lo que indica una alta selectividad y una alta densidad de corriente, lo que hace el proceso conveniente económicamente. En dichas patentes los potenciales de reducción se encuentran por debajo de 1,2 V vs. SHE (electrodo estándar de hidrógeno). La patente [US10047446B2](#) indica que la eficiencia farádica es impráctica si se encuentra por debajo del 30%, siendo preferente que se encuentre por encima del 80%. Sin embargo, en dicha patente, que se presenta como un método para obtener ácido fórmico a partir de la reducción electroquímica de CO₂, el mejor resultado presentado en los ejemplos es de un 94% pero para la formación de monóxido de carbono (CO) con un electrodo de plata (Ag).
- [11] Otro aspecto fundamental es la morfología y composición del electrocatalizador, lo cual influye en el producto de reducción y en la eficiencia. A su vez es importante, desde el punto de vista comercial, que los componentes sean ampliamente disponibles, fáciles de obtener y de bajo costo. En la patente N° [WO2014202856A1](#) se desarrolla un catalizador basado en partículas metálicas de indio (In), estaño (Sn), plomo (Pb), bismuto (Bi), cadmio (Cd) y talio (Tl) sobre un soporte conductor poroso para la electro-reducción de dióxido de carbono a ácido fórmico con una eficiencia máxima de 78%. En la patente N° [CN103741164A](#) obtienen un 80% de eficiencia en la obtención de ácido fórmico con un electrodo poroso (GDL) recubierto de Sn/Cu.

OBJETO DE LA INVENCION

[12] El objeto de la presente invención es un procedimiento para reducir electroquímicamente dióxido de carbono (CO_2) a ácido fórmico (CH_2O_2) con una eficiencia de conversión electroquímica mayor a 80%, que comprende una etapa de preparación del electrodo de reducción, el cual comprende un electrocatalizador de dióxido de cerio (CeO_2) dopado con cobre (Cu) en medio acuoso; una etapa de preparación de la celda electroquímica; y una etapa de reducción electroquímica potencioestática o galvanostáticamente.

DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

[13] Para mayor claridad y comprensión del objeto de la presente invención, se presentan las siguientes figuras de una variante del procedimiento de reducción electroquímica de dióxido de carbono a ácido fórmico:

[14] Figura 1: Microscopía de barrido electrónico del $\text{Cu}_5\text{Ce}_{95}\text{O}_{2-x}$ realizada en un microscopio ZEISS® EVO 18 SEM.

[15] Figura 2: Isotherma de adsorción y desorción de nitrógeno (N_2) a $-196\text{ }^\circ\text{C}$ para muestras de composición CeO_2 y $\text{Cu}_5\text{Ce}_{95}\text{O}_{2-x}$ realizadas en un Micromeritics® ASAP® 2020.

[16] Figura 3: Distribución de tamaño de poro obtenidas a partir de la desorción de N_2 aplicando el modelo matemático Barreto, Joyner y Halenda (BJH) para muestras de composición CeO_2 y $\text{Cu}_5\text{Ce}_{95}\text{O}_{2-x}$.

[17] Figura 4: Difracción de rayos X para muestras de composición CeO_2 y $\text{Cu}_5\text{Ce}_{95}\text{O}_{2-x}$ obtenidas en un difractor de polvo Malvern Panalytical® Empyrean® con fuente Cu y geometría Bragg-Brentano.

[18] Figura 5: Voltametría lineal en sentido catódico para muestras de composición CeO_2 y $\text{Cu}_5\text{Ce}_{95}\text{O}_{2-x}$ empleando KHCO_3 0,1 M saturado con CO_2 como electrolito a una velocidad de barrido de 10 mV/s.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

[19] La presente invención se refiere a un procedimiento de reducción electroquímica de dióxido de carbono a ácido fórmico, que comprende las siguientes etapas y pasos:

a) Etapa de preparación de electrodo de reducción:

a1) Preparar un electrocatalizador mediante un método que se selecciona entre el grupo que comprende complejación de cationes, coprecipitación [[Phys. Chem. Chem. Phys., 2017, 19, 21840, doi: 10.1039/C7CP03735J](#)], microemulsión inversa [[J. Phys. Chem. C 2011, 115, 13851–13859, doi: 10.1021/jp203882h](#)] y coprecipitación asistida por microondas [<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/ce/c1ce06188g#!divAbstract>],

- o donde dicho electrocatalizador comprende nanopartículas de dióxido de cerio (CeO_2) dopadas con cobre (Cu) entre 5 y 30% at,

a2) Preparar una suspensión que comprende dicho electrocatalizador de dicho paso a1), un aglutinante y un solvente,

- o donde dicho electrocatalizador se encuentra en concentraciones de entre 1 y 10 % m/m,
- o donde dicho aglutinante se selecciona entre el grupo que comprende politetrafluoroetileno (PTFE, $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$), polivinilidenfluoruro (PVDF, $(\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2)_n$), y Nafion[®] ($\text{C}_7\text{HF}_{13}\text{O}_5\text{S} \cdot \text{C}_2\text{F}_4$), en concentraciones de entre 5 y 40 % m/m,
- o donde dicho solvente se selecciona entre el grupo que comprende agua (H_2O), isopropanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$), n-butanol

(C₄H₁₀O), N-metil-2-pirrolidona (NMP, C₅H₉NO), y mezcla de alcoholes de bajo peso molecular hasta completar 100 % m/m,

a3) Depositar dicha suspensión de dicho paso a2) de dicho electrocatalizador sobre un sustrato mediante un método de depositado que se selecciona entre el grupo que comprende “*drop casting*”, “*spray casting*”, “*tape casting*” y “*screen printing*”,

- donde dicho sustrato para dicho electrodo se selecciona entre el grupo que comprende una lámina o malla de metales nobles como platino (Pt) u oro (Au), monolito de carbón, carbón grafitico, y lámina difusora de carbón (dícese del papel de carbón),
- donde la carga de dicha suspensión de dicho electrocatalizador sobre dicho sustrato es entre 300 y 800 µg/cm²,

a4) Secar dicha suspensión sobre dicho sustrato con medios de secado por evaporación del solvente, donde dichos medios de secado se seleccionan entre el grupo que comprende evaporación asistida por pistola de calor, horno, estufa, horno de vacío, y corriente de N₂, a una temperatura igual o menor a 80 °C, obteniéndose así dicho electrodo de reducción,

b) Etapa de preparación de celda electroquímica:

b1) Colocar dicho electrodo de reducción obtenido en dicho paso a4) en una celda electroquímica inundada con una solución acuosa de electrolito,

- donde dicha celda electroquímica comprende 2 electrodos, que comprenden dicho electrodo de reducción (cátodo) y un ánodo, o 3 electrodos, que comprenden dicho electrodo de reducción (cátodo), un ánodo y un electrodo de referencia,
- donde dicha solución acuosa de electrolito se selecciona entre el grupo que comprende bicarbonato de potasio (KHCO₃), bicarbonato de sodio (NaHCO₃), sulfato de sodio (NaSO₄), y sulfato de potasio (KSO₄),
- donde dicho electrodo de reducción (cátodo) y dicho ánodo están separados por un separador físico que se selecciona

entre el grupo que comprende un tabique poroso y una membrana, o por la propia geometría de dicha celda electroquímica,

- donde dicha membrana se selecciona entre el grupo que comprende Nafion® ($C_7HF_{13}O_5S.C_2F_4$), politetrafluoroetileno (PTFE, $(C_2F_4)_n$), polivinilidénfluoruro (PVDF, $(C_2H_2F_2)_n$), y poli(2,5-benzimidazol) (ABPBI),
- donde dicho ánodo se selecciona entre el grupo que comprende una lámina, malla, o alambre de Pt, Au, paladio (Pd) y acero inoxidable,

c) Etapa de reducción electroquímica:

c1) Forzar un flujo constante de dióxido de carbono sobre dicho electrodo de reducción (cátodo) en dicha celda electroquímica obtenida en dicha etapa b), y

c2) Obtener ácido fórmico con una eficiencia de conversión electroquímica mayor a 80% a través de la circulación de corriente eléctrica, donde el sentido de flujo es de cátodo a ánodo, ya sea a través de la aplicación de un potencial negativo de forma tal que la corriente eléctrica circula entre el cátodo (reducción), donde se genera ácido fórmico, y el ánodo (oxidación); o a través de la aplicación de un valor fijo de corriente en el sentido de cátodo a ánodo.

EJEMPLO DE REALIZACIÓN

[20] Para la reducción electroquímica de CO_2 descrita en la presente invención se llevó adelante el siguiente ejemplo de realización:

[21] Se empleó un electrocatalizador de nanopartículas de CeO_2 dopado al 5% con Cu.

[22] Las nanopartículas de CeO_2 dopado con Cu se prepararon por el método de complejación de cationes a partir de nitrato de cerio ($Ce(NO_3)_3$) y nitrato de cobre

(Cu(NO₃)₂) en presencia de ácido cítrico (C₆H₈O₇) a 80 °C, seguido por una evaporación a 250 °C y una calcinación a 500 °C.

- [23] El material obtenido con composición Cu₅Ce₉₅O_{2-x} presentó: un tamaño de partícula de 14,3 nm según se muestra en la Figura 1, un área superficial específica de 38,3 m²/g según se extrae de la Figura 2, una distribución de tamaño de poro con un pico angosto centrado en 3,8 nm según muestra la Figura 3 y una estructura cúbica con un tamaño de cristalita de 5,7 nm donde los átomos de Cu ocupan el lugar del Ce según se indica en la Figura 4.
- [24] El electrocatalizador se depositó sobre un sustrato de grafito con forma de disco de 0,2 cm² de área por medio de la técnica depósito de gota ("*drop casting*") para formar el electrodo de reducción.
- [25] Para depositar el electrocatalizador se preparó una suspensión comprendiendo 5 µg del electrocatalizador, 150 µg de fluoruro de polivinilideno (PVDF) al 5% disuelto en N-metil-2-pirrolidona (NMP) como aglutinante y 300 µg de NMP como solvente, resultando en una mezcla de 1% m/m de electrocatalizador, 33 % m/m de PVDF y 66 % m/m de NMP. La mezcla se agitó vigorosamente por 5 minutos y se depositó una gota de 100 µL sobre el sustrato de grafito. La suspensión sobre el sustrato se secó en estufa a 80 °C por 30 minutos, obteniéndose una carga sobre el sustrato de 500 µg/cm².
- [26] Se utilizó una celda electroquímica de 3 electrodos con una geometría de compartimentos separados para la reacción. Se introdujo el electrodo de reducción, un electrodo de referencia de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl) y un contraelectrodo formado por un alambre de Pt de 10 cm de largo por 0,5 mm de diámetro enrollado. La celda electroquímica se llenó con una solución de KHCO₃ 0,1 M. Previamente la solución se desgasó burbujeando N₂ por 15 minutos y se saturó con CO₂ por 15 minutos.
- [27] Se realizó una voltametría lineal en sentido catódico desde 0,2 V hasta -1,4 V vs. SHE, como muestra la Figura 5, para evaluar el perfil de corriente/potencial de la muestra Cu₅Ce₉₅O_{2-x}.

[28] La reducción electroquímica se llevó adelante en la celda aplicando un potencial de -1,0 V vs. SHE durante un periodo de 15 minutos, el cual permite obtener una cantidad medible de ácido fórmico. Durante la reacción se mantuvo un flujo de CO₂ de 2 L/min a una temperatura de 25 °C y 1 bar de presión.

[29] Se determinó la cantidad de ácido fórmico generada por medio de cromatografía iónica. Para ello, se tomó una alícuota de 5 ml y se analizó en un equipo DIONEX® ICS-5000 con una columna Metrosep A Supp 5 - 250/4,0, donde se detectó una concentración de 4,5 mg/L, obteniéndose una eficiencia de conversión electroquímica (Faradaica) de 90%.

A continuación, siguen 4 reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

Habiendo descrito y especificado la naturaleza y alcance de la presente invención, se declara reivindicar como invención de exclusivo derecho y propiedad:

- 1) Un procedimiento de reducción electroquímica de dióxido de carbono (CO_2) a ácido fórmico (CH_2O_2), **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas y pasos:
 - a) Etapa de preparación de electrodo de reducción:
 - a1) Preparar un electrocatalizador mediante un método que se selecciona entre el grupo que comprende complejación de cationes, coprecipitación, microemulsión inversa y coprecipitación asistida por microondas,
 - o donde dicho electrocatalizador comprende nanopartículas de dióxido de cerio (CeO_2) dopadas con cobre (Cu) entre 5 y 30% at,
 - a2) Preparar una suspensión que comprende dicho electrocatalizador de dicho paso a1), un aglutinante y un solvente,
 - o donde dicho electrocatalizador comprende concentraciones de entre 1 y 10 % m/m,
 - o donde dicho aglutinante se selecciona entre el grupo que comprende politetrafluoroetileno (PTFE, $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$), polivinilideno fluoruro (PVDF, $(\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2)_n$), y Nafion[®], en concentraciones de entre 5 y 40 % m/m,
 - o donde dicho solvente se selecciona entre el grupo que comprende agua (H_2O), isopropanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$), n-butanol ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$), N-metil-2-pirrolidona (NMP, $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}$), y mezcla de alcoholes de bajo peso molecular hasta completar 100 % m/m,
 - a3) Depositar dicha suspensión de dicho paso a2) sobre un sustrato mediante un método de depositado que se selecciona entre el grupo que comprende “*drop casting*”, “*spray casting*”, “*tape casting*” y “*screen printing*”,

- donde dicho sustrato para dicho electrodo se selecciona entre el grupo que comprende una lámina o malla de metales nobles como platino (Pt) u oro (Au), monolito de carbón, carbón grafitico, y lámina difusora de carbón,
- donde la carga de dicha suspensión sobre dicho sustrato es entre 300 y 800 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$,

a4) Secar dicha suspensión sobre dicho sustrato con medios de secado por evaporación del solvente, donde dichos medios de secado se seleccionan entre el grupo que comprende evaporación asistida por pistola de calor, horno, estufa, horno de vacío, y corriente de nitrógeno (N_2), a una temperatura igual o menor a 80 °C, obteniéndose así dicho electrodo de reducción,

b) Etapa de preparación de celda electroquímica:

b1) Colocar dicho electrodo de reducción obtenido en dicho paso a4) en una celda electroquímica inundada con una solución acuosa de electrolito,

- donde dicha celda electroquímica comprende 2 electrodos, que comprenden dicho electrodo de reducción (cátodo) y un ánodo, o 3 electrodos, que comprenden dicho electrodo de reducción (cátodo), un ánodo y un electrodo de referencia,
- donde dicha solución acuosa de electrolito se selecciona entre el grupo que comprende bicarbonato de potasio (KHCO_3), bicarbonato de sodio (NaHCO_3), sulfato de sodio (NaSO_4), y sulfato de potasio (KSO_4),
- donde dicho electrodo de reducción (cátodo) y dicho ánodo están separados por un separador físico que se selecciona entre el grupo que comprende un tabique poroso y una membrana, o por la propia geometría de dicha celda electroquímica,
 - donde dicha membrana se selecciona entre el grupo que comprende Nafion[®], politetrafluoroetileno (PTFE, $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$), polivinilideno fluoruro (PVDF, $(\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2)_n$), y poli(2,5-benzimidazol) (ABPBI),

- donde dicho ánodo se selecciona entre el grupo que comprende una lámina, malla, o alambre de Pt, Au, paladio (Pd) y acero inoxidable,
- c) Etapa de reducción electroquímica:
- c1) Forzar un flujo constante de dióxido de carbono sobre dicho electrodo de reducción (cátodo) en dicha celda electroquímica obtenida en dicha etapa b), y
 - c2) Circular corriente eléctrica en dicha celda electroquímica, donde el sentido de flujo es de cátodo a ánodo, hasta obtener ácido fórmico con una eficiencia de conversión electroquímica mayor a 80%.
- 2) El procedimiento de reducción electroquímica de dióxido de carbono a ácido fórmico según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho paso c2) comprende preferentemente aplicar un potencial negativo.
- 3) El procedimiento de reducción electroquímica de dióxido de carbono a ácido fórmico según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho paso c2) comprende preferentemente aplicar un valor fijo de corriente eléctrica en el sentido cátodo a ánodo.
- 4) El procedimiento de reducción electroquímica de dióxido de carbono a ácido fórmico según la reivindicación 2, **caracterizado porque** comprende preferentemente los siguientes pasos:
- a) Etapa de preparación de electrodo de reducción:
 - a1) Preparar un electrocatalizador mediante complejación de cationes, a partir de nitrato de cerio ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$) y nitrato de cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) en presencia de ácido cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) a 80 °C seguido por una evaporación a 250 °C y una calcinación a 500 °C,
 - donde dicho electrocatalizador comprende nanopartículas de dióxido de cerio (CeO_2) dopadas con cobre (Cu) al 5% at,
 - a2) Preparar una suspensión que comprende dicho electrocatalizador de dicho paso a1), un aglutinante y un solvente,
 - donde dicho electrocatalizador comprende 1 % m/m,

- donde dicho aglutinante comprende 33 % m/m de polivinilideno fluoruro (PVDF) al 5% disuelto en N-metil-2-pirrolidona (NMP),

- donde dicho solvente comprende 66 % m/m de N-metil-2-pirrolidona (NMP) hasta completar 100 % m/m,

a3) Depositar una gota de 100 μL de dicha suspensión de dicho paso a2) sobre un sustrato mediante depósito de gota (“*drop casting*”),

- donde dicho sustrato para dicho electrodo comprende un disco de grafito de 0,2 cm^2 de área,

- donde la carga de dicha suspensión de dicho electrocatalizador sobre dicho sustrato es 500 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$,

a4) Secar dicha suspensión sobre dicho sustrato en estufa a 80 °C por 30 minutos, obteniéndose así dicho electrodo de reducción,

b) Etapa de preparación de celda electroquímica:

b1) Colocar dicho electrodo de reducción obtenido en dicho paso a4) en una celda electroquímica inundada con una solución acuosa de electrolito,

- donde dicha celda electroquímica comprende 3 electrodos, que comprenden dicho electrodo de reducción (cátodo) de dicha etapa a), un ánodo que comprende un alambre de Pt de 10 cm de largo por 0,5 mm de diámetro enrollado, y un electrodo de referencia de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl),

- donde dicha solución acuosa de electrolito comprende bicarbonato de potasio (KHCO_3) 0,1 M,

- donde dichos electrodos están separados por la geometría de compartimentos de dicha celda electroquímica,

c) Etapa de reducción electroquímica:

c1) Forzar un flujo constante de 2 L/min de dióxido de carbono a una temperatura de 25 °C y 1 bar de presión sobre dicho electrodo de reducción (cátodo) en dicha celda electroquímica obtenida en dicha etapa b), y

c2) Aplicar en dicha celda electroquímica un potencial de $-1,0\text{ V}$ vs el electrodo estándar de hidrógeno (SHE), hasta obtener ácido fórmico con una eficiencia de conversión electroquímica igual a 90%.

Ing. Edgardo S. ALANIZ

Agente de la Propiedad Industrial

Matrícula N° 2282

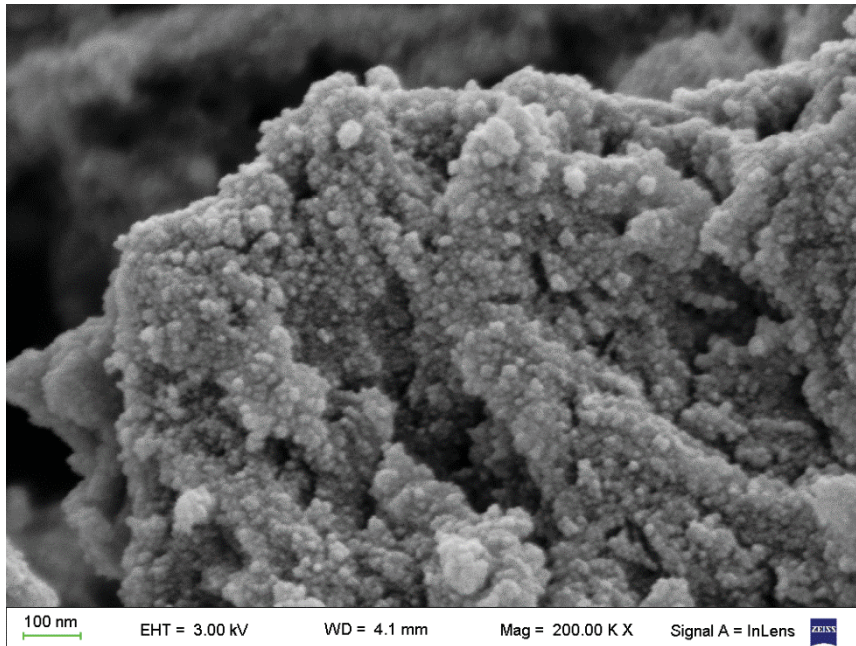


Fig. 1

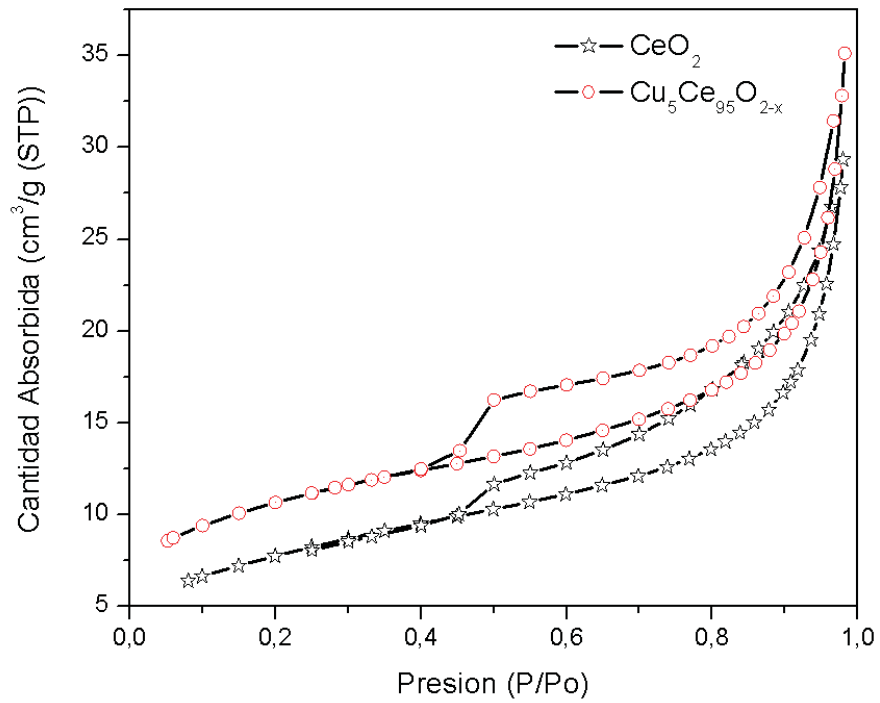


Fig. 2

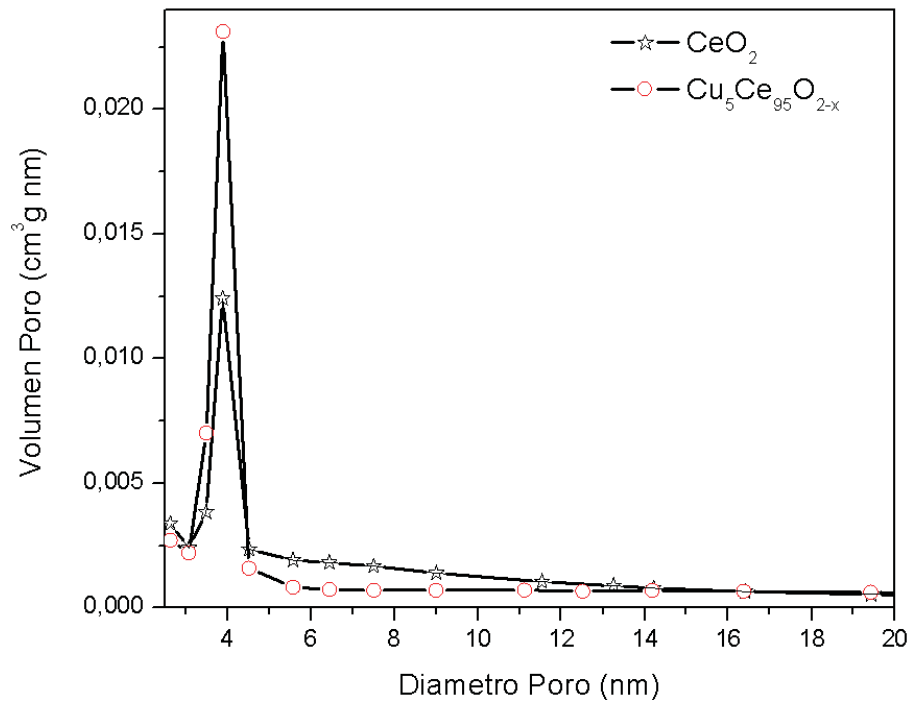


Fig. 3

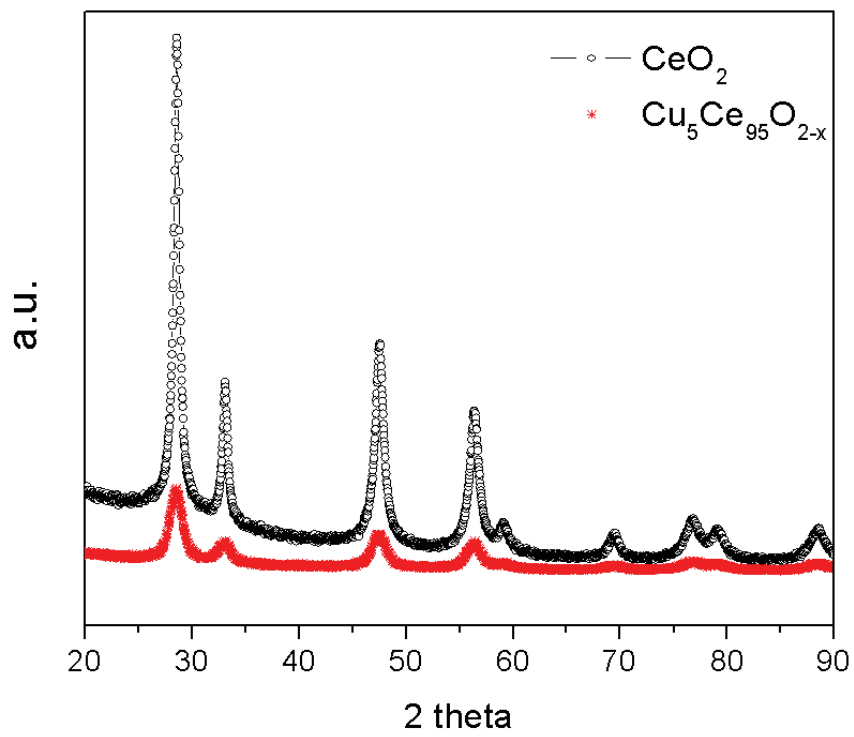


Fig. 4

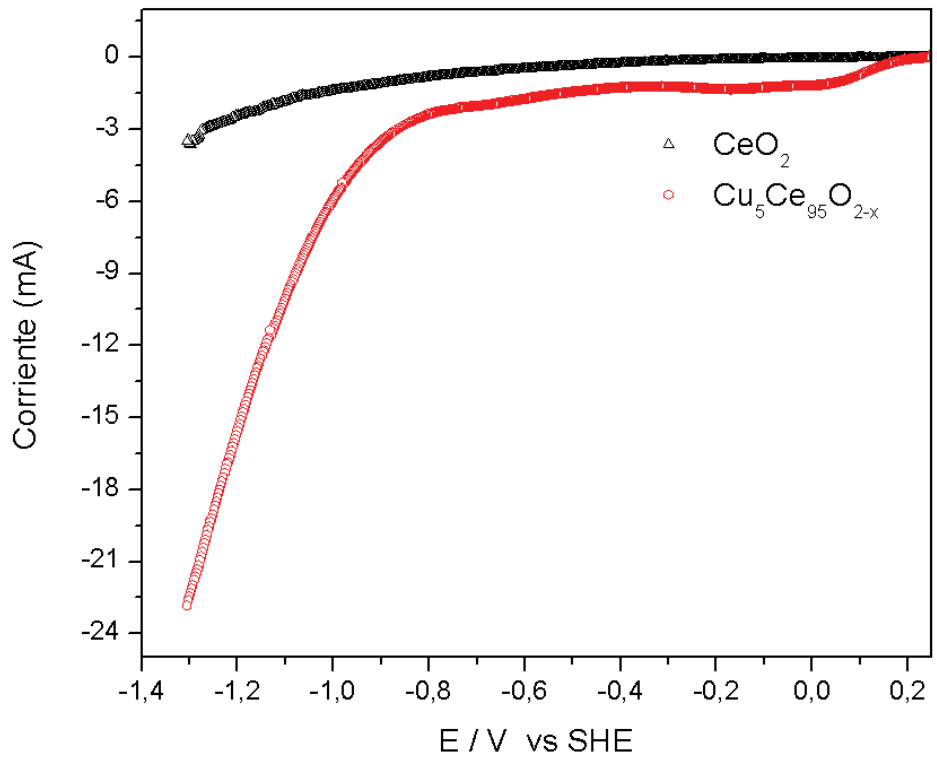


Fig. 5

RESUMEN

Procedimiento de reducción electroquímica de dióxido de carbono (CO_2) a ácido fórmico (CH_2O_2) que comprende una etapa de preparación del electrodo de reducción, el cual comprende un electrocatalizador de dióxido de cerio (CeO_2) dopado con cobre (Cu) en medio acuoso; una etapa de preparación de la celda electroquímica; y una etapa de reducción electroquímica potencioestática o galvanostáticamente para obtener ácido fórmico con una eficiencia de conversión electroquímica mayor a 80 %.