

ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE ELECTRODEPOSICION DE SILICE SOBRE ESTRUCTURAS MONOLITICAS METALICAS

A. RENNE GONZÁLEZ; I. ORDOÑEZ; R. MARTÍNEZ REY

Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander
alberthrenne@yahoo.com , rmartine@uis.edu.co

Fecha Recepción: 19 de Marzo de 2008

Fecha Aceptación: 25 de Abril de 2008

RESUMEN

El uso de reactores monolíticos tanto cerámicos como metálicos ha demostrado importantes ventajas en la hidrodinámica y el transporte de masa respecto a los reactores convencionales.

En este trabajo se evaluó el comportamiento térmico de diferentes tipos de mallas metálicas de acero inoxidable acopladas en serie de tal manera que se emulara la estructura de un reactor monolítico. El sistema consistió en un recubrimiento de sílice sobre la superficie de cada malla, obtenido mediante electroforesis de geles monofásicos empleando ortosilicato de tetraetilo y una solución de etanol-agua a condiciones básicas. Se evaluaron condiciones de electrodeposición tales como el tiempo de deposición, el tipo de contraelectrodo, el secado de los recubrimientos y la corriente suministrada a mallas metálicas de 21 mm de diámetro, 1 mm de espesor y en tres configuraciones geométricas diferentes.

Los resultados experimentales indican que las mejores condiciones de deposición fueron tiempos no mayores de 60 minutos, usando dos contraelectrodos de grafito y una corriente suministrada no superior a 380 mA. Los gradientes de temperatura axiales se cuantificaron a diferentes velocidades de flujo (500 - 5000 cm³/min estándar), para un arreglo de 10 mallas metálicas acopladas en serie con y sin depósito de sílice. Finalmente, estos resultados se compararon con los obtenidos en iguales condiciones de operación con monolitos cerámicos tipo espuma y se encontró que los gradientes de las mallas con depósito de sílice son hasta un 35% menor que los obtenidos con sustratos cerámicos.

Palabras claves: Reactor monolítico, Deposición electroforética, mallas metálicas, gradientes de temperatura,

ABSTRACT

The use of both reactors monolithic ceramic as metal has shown significant benefits in the hydrodynamic and transport of mass regard to conventional reactors.

This study evaluated the thermal behavior of different types of metal mesh stainless steel coupled in series in a way that emulated monolithic structure. The system was a silica coating on the surface of each mesh; coating was obtained by gel electrophoresis using monophasic ortosilicato a solution of tetraethyl and ethanol-water conditions. We evaluated alternatives electrodeposition conditions such as time of deposition, the type of counter electrode, the type of drying and current supplied to the metal mesh of 21 mm diameter, 1 mm thick and in three different geometric configurations.

The experimental results show that the best conditions of deposition times were no more than 60 minutes, using two counter electrodes graphite and a flow provided no more than 20 mA. The axial gradients of temperature were quantified at different flow rates (500 - 5000 standard cm³/min), for a settlement of 10 metal mesh coupled in series with and without deposit of silica. Finally, these results have been compared with those obtained under the same operating conditions with ceramic monoliths type foam and found that the gradients of the meshes with silica deposit are up to 35% lower than those obtained with ceramic substrates.

Keywords: Reactor monolithic, electrophoretic deposition, metal mesh, temperature gradients.

INTRODUCCIÓN

Los continuos progresos en tecnologías catalíticas han requerido el desarrollo de nuevos materiales y catalizadores soportados con mejoras en sus características difusivas de transferencia de masa y calor. El uso de nuevos materiales soportados sobre estructuras monolíticas abre las posibilidades al desarrollo experimental de varias fibras y mallas metálicas que ofrecen nuevas alternativas en tecnologías catalíticas^[9]. Los catalizadores soportados sobre mallas metálicas, son sistemas promisorios para reacciones químicas en donde el control de los gradientes de temperatura implica un control directo en la selectividad, especialmente para compuestos intermedios.

Una forma practica de recubrir metales se realiza mediante deposición electroforética (EPD). La EPD se fundamenta en el transporte y deposición de partículas cargadas por la aplicación de un potencial eléctrico entre 2 electrodos inmersos en una solución conductora (Figura 1).

Posee ventajas como los cortos tiempos de formación, infraestructuras simples, pequeñas restricciones en la forma del sustrato [6]; adicionalmente ofrece un control adecuado del espesor y morfología de la película depositada solamente con simples ajustes en el tiempo de deposición y el potencial eléctrico aplicado. La EPD es usada en la fabricación de películas funcionales para dispositivos microelectrónicas [11], recubrimientos de sílice [6] y catalizadores [5].

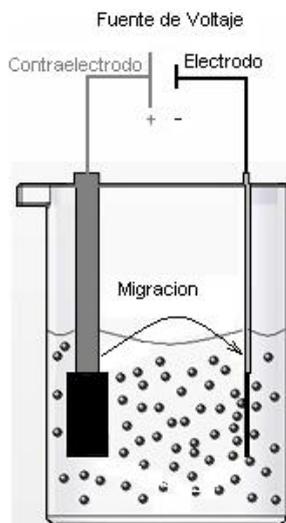


FIGURA 1. Esquema general del proceso EPD

Particularmente, los recubrimientos de sílice sobre monolitos cerámicos han demostrado mejorar la conversión y selectividad de las tecnologías tradicionales en la síntesis de cetenas a partir de su ácido carboxílico correspondiente [7]. Una de las claves de este proceso con monolitos es el control del tiempo de contacto y una de las desventajas son los grandes gradientes de temperatura allí presentados debido a la naturaleza cerámica del sustrato de sílice, es por este motivo que aparecen como alternativas el desarrollo y la formación de recubrimientos de sílice sobre diferentes geometrías de sustratos de acero inoxidable SAE 304 mediante la técnica de EPD empleando como solución de partículas un medio sol-gel. Las geometrías de sustrato metálico consistieron de los siguientes tres tipos de mallas de acero inoxidable 304 comerciales:

1. Malla circular perforada de 21 mm de diámetro y 0.1 mm de espesor.
2. Malla circular de hilos de 21 mm de diámetro y 0.1 mm de espesor.
3. Malla de espiral de hilos de 21 mm de diámetro y 5 mm de profundidad.

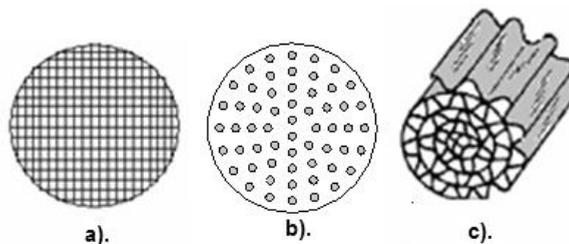


FIGURA 2. Configuraciones geométricas de las mallas metálicas. (a).malla de hilos. (b).malla perforada. (c). malla espiral de hilos.

El uso potencial como catalizadores de estas mallas recubiertas es evaluado desde el punto de vista térmico a temperaturas típicas de reacción y su desempeño es comparado con monolitos cerámicos comerciales tipo espuma en condiciones similares de operación.

EXPERIMENTAL

Preparación de los electrodos

El cátodo consiste de una malla perforada de acero inoxidable 304. Los ánodos de 2 cilindros de grafito y cilindros de aluminio de igual espesor y diámetro.

Cada malla fue sometida al siguiente tratamiento superficial:

- Desengrasado con agua destilada y solución de detergente comercial (10 g/L), durante 15 minutos y posterior restregado con cepillo [1].
- Generación de rugosidad superficial mediante abrasión mecánica en una pulidora durante 5 minutos y un posterior tratamiento químico con solución de H_2SO_4 (100 g/l) y solución de NaCl (200 g/l) a 80° C por 8 minutos [9].
- Baño de ultrasonido en etanol absolute Merck por 10 minutos e inmersión final en un vaso de precipitados con etanol hasta que se inicie el proceso de deposición electroforética sobre las mallas [12].

Preparación de la solución sol-gel

En un vaso de precipitados de vidrio se mezclaron, 55 ml de etanol (EtOH C_2H_5OH absoluto, Merck), 13 ml de agua destilada y 0.4 g de surfactante SDS ($(CH_3CH_2)_{11}OSO_3Na$, 99% de pureza, Merck) a 350 RPM durante 15 minutos. El etanol es usado como solvente y el surfactante minimiza los fenómenos relacionados a degradación electrolítica [10]. Se adicionaron 6 ml del precursor de sílice ortosilicato de tetraetilo (TEOS) ($Si(OCH_2CH_3)_4$, 98% pureza, Aldrich), se ajustó el pH con 1.4 ml de hidróxido de amonio (NH_4OH , 23% pureza, Merck) y luego con 0.6 ml de ácido nítrico (HNO_3 , 90% de pureza, Merck); éstos últimos cumpliendo la función de catalizadores en la formación de la solución sol-gel. Se mantuvo la mezcla agitándola por 15 minutos, se selló el recipiente para evitar pérdidas del alcohol por evaporación y se dejó reposar por 10 minutos. Para las mediciones de pH se empleó un medidor Jenway 3505. De acuerdo a los resultados encontrados por Barrera y Navarro (2006), se definió que el pH óptimo de trabajo sería de 9.

Electrodeposición

Para los ensayos de EPD, se utilizó una fuente de tensión de Corriente continua TES-6220 para mantener y controlar las condiciones eléctricas (voltaje, amperaje) del proceso, una plancha de agitación con calentamiento Lab-line Pyromagnestirs, un agitador magnético recubierto con teflón para evitar la sedimentación de partículas y una termocupla con una pantalla para monitorear la temperatura durante el proceso de electrodeposición. Los electrodos permanecen sujetos a una lámina de acrílico y con una separación de 2 cm entre ellos; esto con el fin de mantener una intensidad de campo eléctrico de distribución homogénea en el volumen de partículas suspendidas.

Se tuvieron en cuenta tres variables globales en el desarrollo y planeación de los experimentos de EPD:

- El nivel combinado de amperaje y tiempo de electrodeposición.
- La geometría de la celda electroforética.
- El método de secado de los recubrimientos obtenidos.

Se evaluaron dos niveles de amperaje y tiempos de deposición combinados, con el fin de analizar los efectos de estas dos variables sobre la masa depositada y la microestructura de los recubrimientos.

Con el fin de manipular el campo eléctrico, estudiar el efecto del contraelectrodo (material, geometría) y su influencia en la deposición de partículas de sílice [9,13,12], se estudio el efecto de tres geometrías de celda electroforética.

En la primera geometría se ubica la malla perforada en el centro del recipiente mientras dos contraelectrodos de grafito de igual área transversal circular se ubican uno al frente de cada cara de la malla perforada (Figura 3b). En el segundo arreglo se ubica también la malla perforada en el centro con un cilindro de aluminio metálico de 40 cm de diámetro, 40 cm de largo y 1 mm de espesor como contraelectrodo (Figura 3a). El tercer arreglo geométrico es similar al segundo, solo que el cilindro es de papel aluminio (Figura 3a).

Se evaluaron dos métodos de secado teniendo en cuenta factores relacionados al control de las

fracturas superficiales presentadas normalmente en esta etapa por efectos asociados a fenómenos capilares y por efectos de degradación química en la superficie del recubrimiento [3].

El primer tipo de secado consiste en sumergir el recubrimiento después del proceso de EPD en una solución de etanol-agua (50% p/p), durante 22 horas y con secado a temperatura ambiente durante 4 horas [8]. En el segundo tipo de secado, los recubrimientos se sumergen en una solución compuesta por 15 ml de etanol, 6.5 ml de TEOS y 10 ml de n-heptano al 65% en peso, durante 22 horas y un posterior secado a temperatura ambiente durante 4 horas [3].

En una plancha de agitación y calentamiento LabLine se agitó la solución sol-gel a 350 revoluciones por minuto (rpm) a una temperatura controlada de 35 °C. Una vez cumplido el tiempo definido para cada nivel de electrodeposición se suspendió la agitación durante 10 minutos.

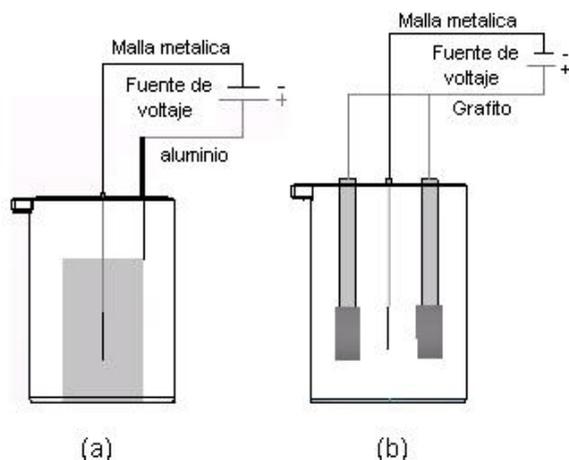


FIGURA 3. Configuraciones geométricas de las celdas de electrodeposición usadas en los experimentos: (a).

Celda de electrodos de aluminio (lamina metálica y lamina de papel). (b). Celda de electrodos de grafito.

Luego, se procedió a realizar el secado de la malla, sumergiendo la malla en las soluciones descritas anteriormente.

Finalmente los recubrimientos se calcinaron a 500° C, durante 4 horas y se almacenaron en porta-muestras de plástico hasta la construcción de la estructura monolítica.

Las mallas fueron caracterizadas mediante los siguientes indicadores:

- **Cantidad de masa depositada:** Estimada a partir de la diferencia de peso de cada malla metálica antes y después del proceso de electrodeposición y secado. La masa fue determinada en una balanza Mettler Toledo AL204 de 1×10^{-4} g de precisión.
- **Homogeneidad:** A cada malla se le realizó una fotografía a escala natural con el objeto de proveernos de un método rápido de comparación de zonas donde se presenten mayor o menor deposición. La presencia de aglomeraciones y fisuras de las mallas fueron observadas y fotografiadas usando un microscopio electrónico marca Jena de resolución de 25X.

Evaluación química de la superficie

Una pequeña muestra del recubrimiento fue tomada y analizada en un Espectrofotómetro FTIR Shimadzu 8400s con el objeto de conocer su composición química.

La tabla 1 resume las variables experimentales y sus respectivos niveles de prueba.

TABLA 1. Variables de electrodeposición.

Variables independientes	Niveles
Contraelectrodos	2 electrodos de Grafito 2 electrodos de aluminio(metálico) 2 electrodos de aluminio(papel)
Amperaje-tiempo de deposición	140 mA- 60 minutos 380 mA- 30 minutos
Secado de los recubrimientos	EtOH-H ₂ O EtOH- TEOS/ nC ₇

Evaluación de gradientes térmicos

La evaluación térmica de las mallas metálicas consistió en la medición de gradientes de temperatura axiales, sometiénolas a condiciones diferentes de operación (temperatura y flujo); en ausencia de reacción química. Para ello se evaluaron cada uno de los tipos de mallas tanto recubiertas como no recubiertas; en función de la temperatura de entrada de gas a las mallas (400 y 500°C) y del flujo de gas inerte de 0, 1000 y 2000 5000 sccm (centímetros cúbicos por minuto estándar de nitrógeno). Los experimentos de calentamiento de las mallas se realizaron en un horno eléctrico en el

cual se introdujo un tubo de cuarzo de 50 cm de longitud y 21 mm de diámetro interno (Figura 4). Diez mallas fueron dispuestas en serie en el centro del tubo de tal manera que completasen 1 cm de longitud. Se realizaron rampas de calentamiento del horno-reactor hasta la temperatura interna del horno deseada; una vez alcanzada y estabilizada la temperatura interna del horno se tomó nota de las lecturas de las termocuplas de 1/16 pulgada de diámetro dispuestas justo a la entrada y salida de las mallas. Posteriormente se ajustó el flujo de gas de arrastre mediante un controlador de flujo marca Brooks.

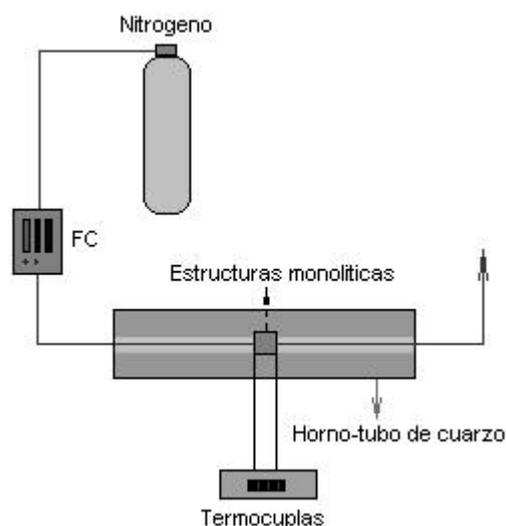


FIGURA 4. Esquema de flujo para la evaluación térmica de las mallas metálicas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos de masa depositada en las mallas metálicas. Los resultados muestran un mayor nivel de deposición de sílice usando celdas con dos contraelectrodos de grafito. De la misma manera los niveles mínimos de deposición se obtienen usando como contraelectrodos los cilindros de aluminio en los dos casos estudiados.

Efecto del secado

El secado con solución TEOS-EtOH en n-heptano, representa la mejor alternativa en el control de las fisuras con respecto al secado en solución etanol-agua. Debido a la baja solubilidad del n-heptano, se forma una fase entre el TEOS y el EtOH; la cual reduce la velocidad de evaporación del etanol y los

gradientes interfaciales [3]. El análisis estadístico de las Figuras 5 y 6 sugieren que la solución con n-heptano es la mejor opción en la obtención de una mayor cantidad de masa depositada, dado que la solución de secado protege el recubrimiento de efectos de agrietamiento y minimiza el nivel de masa perdida durante esta etapa. Los niveles de agrietamiento se evidencian en las microfotografías de la figuras 6(a) y 6(b).

TABLA 2. Resultados experimentales.

Electrodo	Relación I / t (mA/ minuto)	Masa depositada [mg]
Grafito	140 mA/60 minutos	6.8
Papel de Aluminio	140 mA/60 minutos	6.9
Lámina de Aluminio	140 mA/60 minutos	2.7
Grafito	140 mA/60 minutos	3.8
Grafito	140 mA/60 minutos	5.2
Papel de Aluminio	380 mA/30 minutos	6.5
Lámina de Aluminio	380 mA/30 minutos	13.3
Grafito	380 mA/30 minutos	10.7
Papel de Aluminio	380 mA/30 minutos	4.8
Lámina de Aluminio	380 mA/30 minutos	3.3
Grafito	380 mA/30 minutos	2.4
Papel de Aluminio	140 mA/60 minutos	3.3
Lámina de Aluminio	140 mA/60 minutos	9.3
Grafito	140 mA/60 minutos	9.5
Papel de Aluminio	140 mA/60 minutos	3.8
Lámina de Aluminio	140 mA/60 minutos	4.4
Grafito	140 mA/60 minutos	8.7
Papel de Aluminio	140 mA/60 minutos	18.7
Lámina de Aluminio	380 mA/30 minutos	13.0
Grafito	380 mA/30 minutos	15.4
Papel de Aluminio	380 mA/30 minutos	17.7
Lámina de Aluminio	380 mA/30 minutos	12.4

Efecto de la configuración geométrica de la celda electroforética

El efecto de la geometría se observa en la figura 5. La celda con los dos contraelectrodos de grafito genera mayor influencia en la deposición de sílice, debido a que durante los experimentos los efectos de degradación electrolítica fueron mínimos y la estabilidad de los electrodos no se vio comprometida. Caso contrario sucedió con las celdas de electrodos de aluminio, debido a que se sobrepasó el voltaje mínimo de disolución de los electrodos; de tal forma que al final de los experimentos los electrodos se desintegraron totalmente en los dos casos estudiados (lámina metálica y papel). Estos efectos se observaron con mayor constancia a 380mA y 30 minutos de EPD.

Efecto de la relación amperaje tiempo

Por lo general la masa depositada aumenta con altos amperajes, pero esto a su vez genera un efecto adverso con respecto a la calidad de los recubrimientos obtenidos [6]. Esto se pudo evidenciar en las microfotografía de la figura 6b, en la cual se obtuvieron recubrimientos densos, pero estructuralmente con baja homogeneidad, en comparación a los recubrimientos de la figura

6a; en los cuales se obtienen recubrimientos homogéneos y sin fisuras representativas. Las mejores condiciones en homogeneidad, masa depositada, masa perdida y microestructura; se generan usando como celda electroforética dos contraelectrodos de grafito, una relación de amperaje-tiempo de deposición de 140 mA-30 minutos y un secado en solución EtOH-TEOS en n-Heptano.

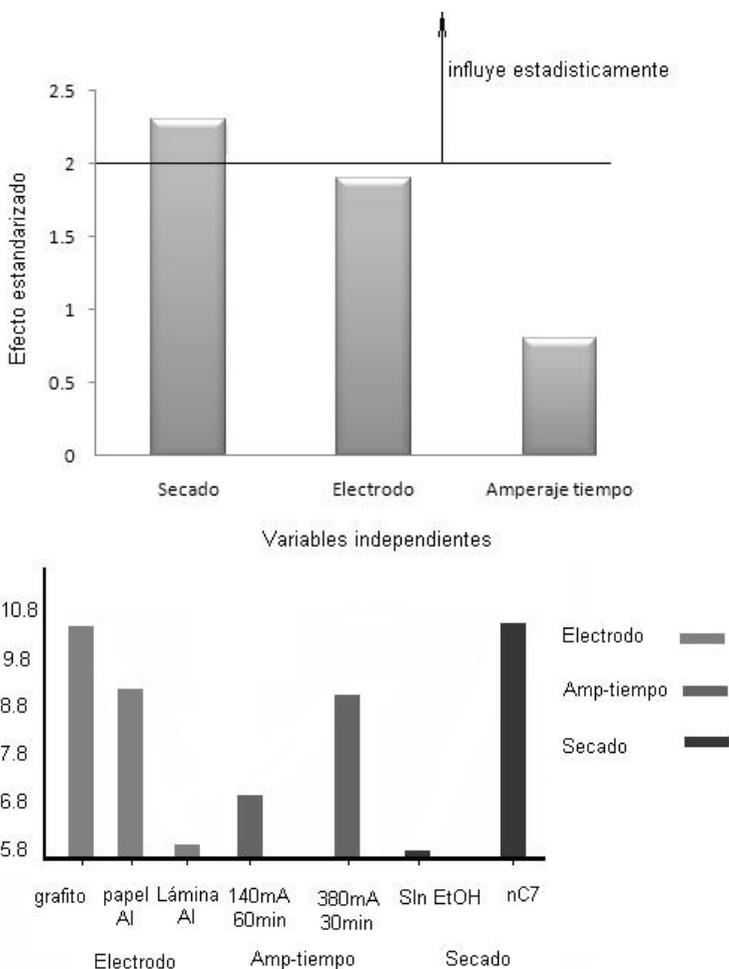
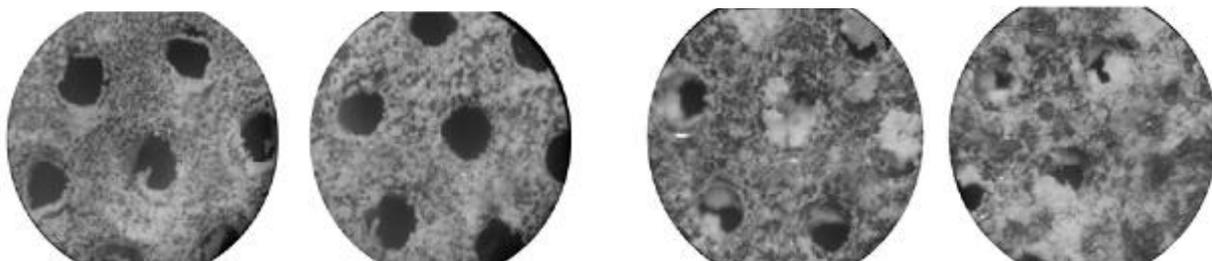


FIGURA 5. Efectos principales sobre la masa depositada obtenidos por análisis estadístico.



(a) Celda de electrodos de grafito, 140 mA 60 min., secado nC7

(b) Celda de cilindro de aluminio, 380 mA 30 min., secado nC7

FIGURA 6. Mallas perforadas recubiertas

Estas mismas condiciones se aplicaron a recubrimientos sobre todas las mallas de hilo. Los experimentos en las mallas de hilo mostraron una mayor uniformidad en las microestructuras obtenidas y una menor susceptibilidad con respecto al nivel de fisuras encontradas (Figura 7).

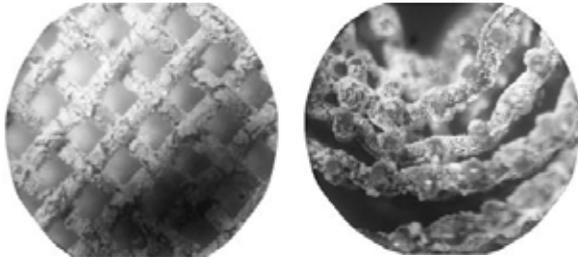


FIGURA 7. Mallas de hilo recubiertas

Análisis químico del recubrimiento

La figura 8 muestra el espectro infrarrojo del recubrimiento de sílice sobre las mallas en el cual se encuentran los modos vibracionales más importantes; mostrados en la Tabla 3. Se confirma la presencia mayoritaria de grupos silanol en los picos 1100, y grupos hidroxilos en el pico 3450 [2]. No se presentan otros picos adicionales, ratificando el alto grado de pureza de los depósitos.

Evaluación térmica de las estructuras monolíticas

Durante los experimentos de medición de gradientes térmicos en las mallas, se cuantificaron pérdidas de sílice hasta de un 33%, debido al efecto del gas de arrastre y a la manipulación durante el acoplamiento de las mallas en el tubo de cuarzo. Indirectamente este hecho refleja el grado de adherencia del cerámico sobre el metal para cada tipo de estructura. Las figuras 9, 10 y 11, muestran los gradientes resultantes para las estructuras monolíticas.

TABLA 3. Modos vibracionales del recubrimiento de sílice.

GRUPO	$\nu (cm^{-1})$
ν_{O-H}	3450
ν_{CH_2}	2975
ν_{Si-C}	1400
ν_{Si-O}	1100

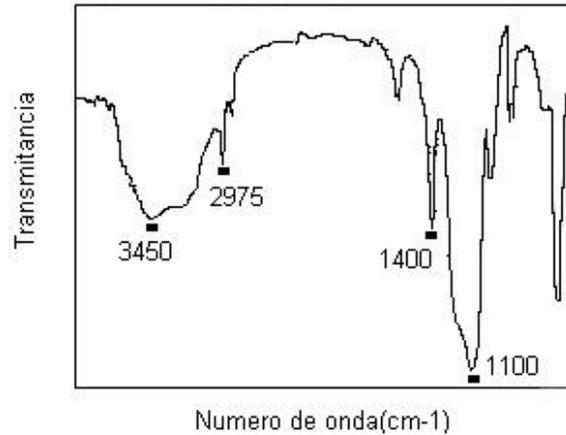


FIGURA 8. Espectro FTIR del recubrimiento obtenido a 140mA/30 minutos-2 electrodos de grafito y secado en solución TEOS-EtOH/nC7

TABLA 4. Masa depositada y masa perdida durante la evaluación térmica en las estructuras monolíticas

Mallas	Sílice depositada[g]	Sílice perdida[%]
Perforadas	0.2435	20.67
Hilos	0.1436	27.92
Espiral	0.0369	33.60

Como tendencia general, en todas las mallas recubiertas aumenta el gradiente de temperatura con respecto a las mallas sin recubrimiento; este cambio térmico se presenta debido a que la resistencia térmica cambia por el nivel de masa depositada del recubrimiento, la cual esta ligada al espesor de la película que representa una resistencia adicional a la conducción de calor en la estructura monolítica.

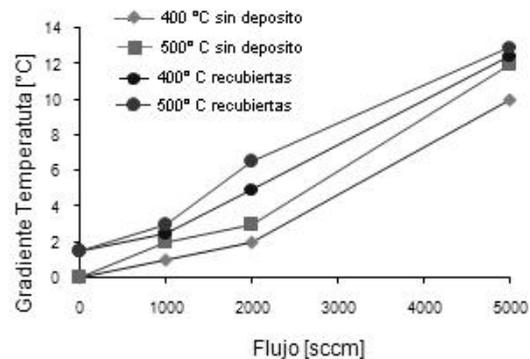


FIGURA 9. Gradientes de temperatura de las mallas de hilo.

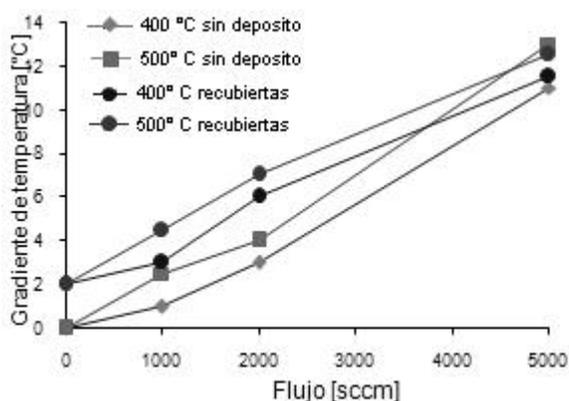


FIGURA 10. Gradientes de temperatura de las mallas espiral de hilos.

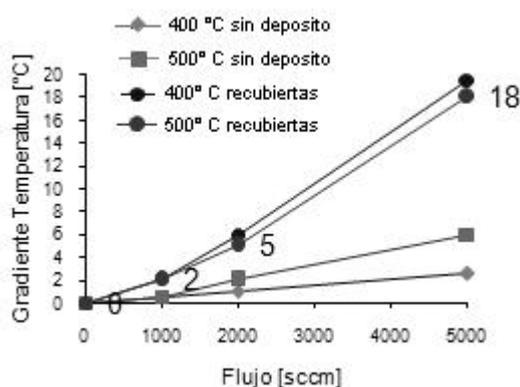


FIGURA 11. Gradientes de temperatura de las mallas perforadas.

Efecto térmico del recubrimiento: resistencia a la disipación de energía

El efecto térmico del recubrimiento es más notorio en los gradientes de las mallas metálicas perforadas (Figura 11). Esto ocurre debido a que las mallas metálicas perforadas son las que permiten bajo las mismas condiciones de EPD, mayor sílice depositada que las mallas de hilo (Tabla 4). Esto se traduce en una resistencia mayor a la conducción de calor que promueve mayores gradientes de temperatura.

Efecto térmico del flujo: control sobre el tiempo de contacto

De acuerdo a los gradientes presentados en los tres tipos de configuraciones, es posible observar el comportamiento de la estructura monolítica en función tanto del flujo como del tipo de soporte. Las mallas perforadas son las que presentan una mayor sensibilidad de los gradientes de

temperatura con respecto al flujo, mostrando que a medida que aumenta el flujo de gas inerte de arrastre se incrementan los gradientes superficiales (Figura 11). Los gradientes de temperatura en las mallas de hilo muestran que a mayores flujos de operación, el rendimiento de estas mallas es mejor debido a que permiten un mayor paso de flujo sin generar gradientes térmicos significativos (Figuras 10 y 11). Esto último refleja indirectamente el grado de porosidad de estos materiales. Con respecto a la temperatura de entrada del gas inerte se pudo observar que este efecto no es significativo en la evaluación térmica. Aproximadamente un aumento de la temperatura en 100 °C implica un gradiente máximo de 3 °C.

Comparación del comportamiento térmico de mallas metálicas vs. monolitos de sílice tipo espuma

Las figuras 12 y 13 representan los gradientes térmicos de las estructuras monolíticas metálicas en comparación a monolitos tradicionales tipo espuma de sílice de 10, 30 y 45 ppi (poros por pulgada lineal) a 2 condiciones de temperatura de gas inerte en la corriente de entrada. Los datos de los gradientes de temperatura en los monolitos de sílice fueron obtenidos por Martínez y Ordóñez (2007).

Como lo muestran las figuras 12 y 13, bajo condiciones de flujo de hasta de 3500 sccm y temperaturas de gas inerte de 400 y 500 °C, las mallas metálicas promueven gradientes de temperatura inferiores o iguales a los monolitos. Para flujos bajos (<2000 sccm), los gradientes de temperatura disminuyen entre 2 y 5 veces con respecto al sustrato cerámico del monolito, lo cual sucede debido a que se generan fenómenos de transferencia de calor lentos que permiten un mayor tiempo de contacto y una mayor disipación de energía.

Para flujos mayores a 3000 sccm, las variaciones de temperatura son más notorias en las mallas metálicas; como lo muestran las graficas de los gradientes de temperatura, esta tendencia se presenta debido a la naturaleza del soporte cerámico, que reduce el transporte de calor en la superficie del catalizador.

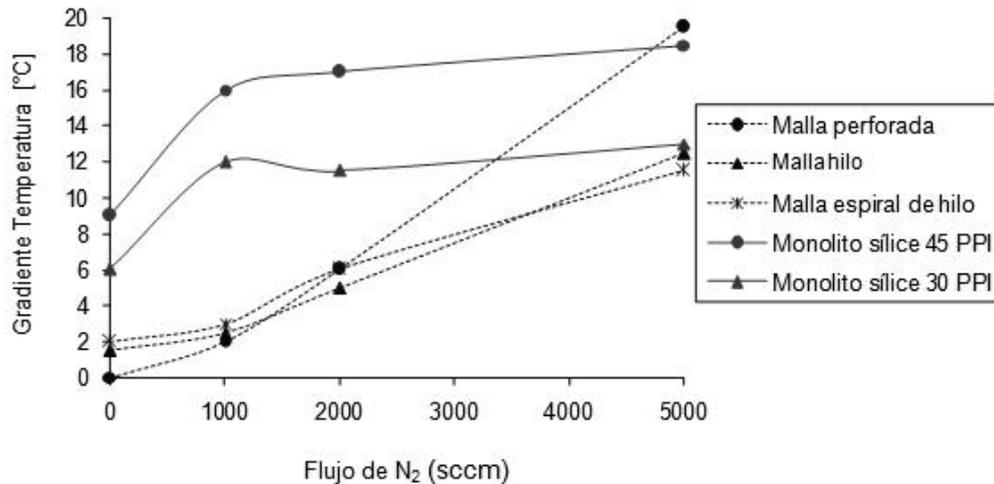


FIGURA 12. Gradientes térmicos de mallas metálicas recubiertas con monolitos de sílice funcionalizados.
 $T_{N_2}(\text{Entrada}) = 400^\circ \text{C}$

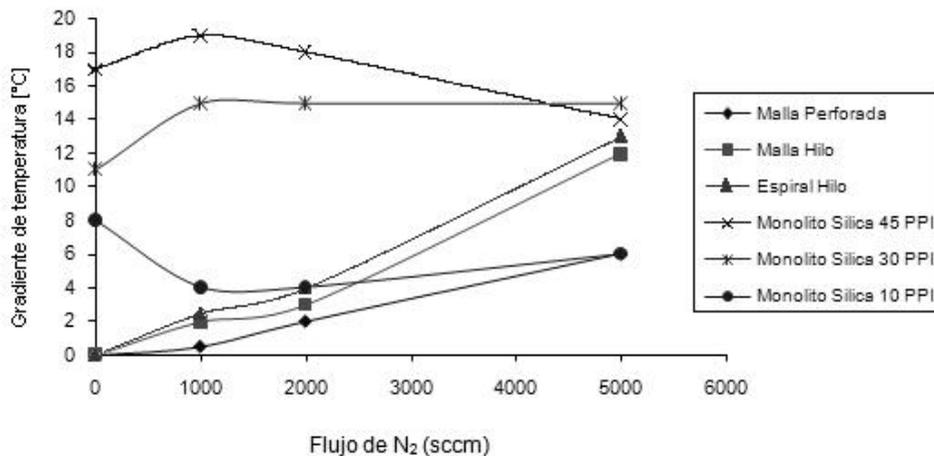


FIGURA 13. Gradientes térmicos de mallas metálicas recubiertas con monolitos de sílice funcionalizados.
 $T_{N_2}(\text{Entrada}) = 500^\circ \text{C}$

CONCLUSIONES

Las mejores condiciones de electrodeposición de sílice sobre las mallas metálicas se obtienen usando como celda de electrodeposición, 2 contraelectrodos de grafito, una relación de amperaje-tiempo de 140 mA-60 minutos de EPD y una ruta de secado en fase líquida con solución de Etanol-TEOS en n-Heptano.

La etapa de secado es influyente en los procesos de deposición electroforética y juega un papel determinante en la masa final depositada sobre el metal y su microestructura, y más aun en nuestro caso debido a la susceptibilidad de los recubrimientos de sílice al agrietamiento. Los resultados experimentales indican que las mallas de hilo son menos susceptibles al agrietamiento

durante la etapa de secado, generando depósitos uniformes y con un grado de fisuras mínimo.

La malla metálica perforada muestra altos niveles de deposición y gradientes de temperatura menores que en monolitos cerámicos tipo espuma. Sin embargo, no se debe descartar el uso de mallas de hilo o monolitos espirales debido a que fueron los recubrimientos con mejor microestructura encontrada.

El efecto de disipación de energía combinado con la cinética de reacción es determinante en el uso potencial de estos recubrimientos cerámicos sobre estructuras metálicas, es por esta razón que las mallas metálicas recubiertas son una alternativa viable en la optimización de procesos químicos, teniendo en cuenta que se deben diseñar catalizadores con un alto grado de homogeneidad

y sin fisuras que garanticen que el soporte metálico no se vea involucrado en la cinética de los procesos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos por el soporte financiero de esta investigación a COLCIENCIAS, proyecto: "Modelamiento y bases tecnológicas para el escalado de la síntesis de cetenas sobre monolitos funcionalizados con sílica".

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BARRERA, A.; GALLARDO L.; MARTÍNEZ R. (2005). Recubrimiento de mallas de acero inoxidable con sílica por electrodeposición utilizando el método sol-gel. Memorias del III Congreso Internacional de Materiales Simposio Mater.
- [2] NASSAR, E.; NERI, C.; CALEFI P. (1999). Functionalized silica synthesized by sol-gel process. *J. Non-Crystal. Solids* 247:124- 1283.
- [3] FEI, S.; LIJIU, W.; JING, X.L. (2006). Synthesis and characterization of silica aerogels by a novel fast ambient pressure drying process. *Mat Letters* 60:3718–3722
- [4] J. QING, ZHANG.; C, CAO. (2006). Improving the formation and protective properties of silane films by the combined use of electrodeposition and nanoparticles incorporation. *Electrochemical Acta*. 52: 538–545.
- [5] K, SHIK YANG. ; Z, JIANG. ; J, SHIK CHUNG. (2002). Electrophoretically Al-coated wire mesh and its application for catalytic oxidation of 1,2-dichlorobenzene. *Surface and Coatings technology* 168: 103–110.
- [6] L, BESRA. ; LIU, M.(2007). A review on fundamentals and applications of (EPD). *Prog Mater*. 52 :1-61.
- [7] MARTÍNEZ, R.; HUFF, M.C.; BARTEAU, M.A. (2000). Synthesis of ketenes from carboxylic acids on functionalized silica monoliths at short contact times. *App Cata. A: Gen*. 200: 79–88.
- [8] MARTÍNEZ, R. ; ORDOÑEZ, I.D. (2007). Quinto informe de avance de proyecto: Modelamiento y bases tecnológicas para el escalado de la síntesis de cetena sobre monolitos funcionalizados con sílica Universidad Industrial de Santander.
- [9] VOROB'EVA, M.P.; GREISH, A. (1999). Preparation of catalyst carriers on the basis of Alumina supported on metallic gauzes *Applied Catalysis. A: General* 199:257–261.
- [10] VOROB'EVA, A.A.; GREISH, STAKHEEV. (2000). New Catalyst support and catalytic systems on the basis of metallic gauzes coated with II- IV group element oxides. *Studies in Surface Science and Catalysis*: 1127 – 1132.
- [11] YI, L.; C.P, W. (2006). Recent advances of conductive adhesives as a lead-free Alternative in electronic packaging: Materials, processing, reliability and applications. *Mater Sci. R* 51 p. 14.
- [12] CASTRO, Y.; FERRARI, B.; DURAN, A. (2004). Coatings produced by electrophoretic deposition from nano-particulate silica sol- gel suspensions. *Surface and Coatings Technology* 182. P. 199–203.
- [13] KANAMURA, K.; HAMAGAMI.J.I. (2004) Innovation of novel functional material processing technique by using electrophoretic deposition process. *Solid State Ionics* 172. (2004) p. 303-305.