

**CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO
TECNOLOGICO, UNAM**

**ELECTRODEPOSITO POR CORRIENTE ALTERNA DE
NANOALAMBRES METÁLICOS EN PLANTILLAS DE
ALÚMINA ANÓDICA POROSA**

**PROYECTO: CRECIMIENTO DE ESTRUCTURAS 1D EN PLANTILLAS DE ALÚMINA
POROSA CONACYT 40507-F (2000-2006)**

María Esther Mata Zamora



Ciudad Universitaria, México D. F.
Noviembre 2010

INTRODUCCIÓN**CAPITULO 1 ANTECEDENTES**

1.1 Estructura de las plantillas de alúmina anódica porosa	4
1.2 Preparación de las plantillas de alúmina anódica porosa para el crecimiento de nanoalambres metálicos por métodos electroquímicos	6
1.3 Técnica de secuencia de reducción de voltaje (SRC)	6

CAPITULO 2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Depósito electroquímico de nanoalambres metálicos	8
---	---

CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Adelgazamiento de la Capa Barrera en las alúminas anódicas porosas mediante la técnica SRV (secuencia de reducción de voltaje)	9
3.2. Nanoalambres metálicos depositados por corriente alterna	9
3.3. Imágenes por microscopia electrónica de transmisión de los nanoalambres metálicos	12

CONCLUSIONES	13
---------------------	-----------

REFERENCIAS	14
--------------------	-----------

ELECTRODEPOSITO POR CORRIENTE ALTERNA DE NANOALAMBRES METÁLICOS EN PLANTILLAS DE ALÚMINA ANÓDICA POROSA

María Esther Mata Zamora
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, CCADT-UNAM
México, D. F., 2010

RESUMEN

Usando la técnica de depósito electroquímico se forman nanoalambres metálicos dentro de los poros de plantillas de alúmina anódica porosa usando la modalidad de corriente alterna. La metodología establecida consiste en modificar el espesor de la capa barrera (base de los poros) a un valor óptimo para conseguir el llenado adecuado de los poros con el metal de interés. Las plantillas de alúmina porosa utilizadas se preparan para conseguir diámetros de poro de 20 y 40 nm. El proceso seguido para el adelgazamiento del espesor de la capa barrera se lleva a cabo mediante la técnica de secuencia de reducción de voltaje (SRV) que consiste en reducir el voltaje de anodizado al final de la etapa de crecimiento de la película porosa. En particular se reportan las condiciones experimentales para el crecimiento de nanoalambres de Fe, Co, Ni, Cu, Au y Ag, usando una fuente de corriente alterna diseñada para variar amplitud en voltaje (5-80 V_p) y frecuencia (50 Hz-1 kHz). Se reportan las curvas de corriente contra tiempo y algunas imágenes por microscopia electrónica de transmisión de los nanoalambres después de liberarlos de la plantilla porosa.

Palabras clave: plantillas porosas, electrodeposito, nanoalambres metálicos

INTRODUCCION

Hoy en día una de las áreas más excitantes en el desarrollo de nuevas tecnologías es el estudio de los nanomateriales debido a sus aplicaciones potenciales en campos tan diversos como la óptica, la electrónica, la catálisis, el magnetismo, el procesamiento y almacenaje de información, etc. Entre los diferentes procedimientos para la preparación de nanoestructuras, uno de los más ampliamente utilizados es el *método de plantilla*, basado en el uso de ciertas membranas nanoporosas que pueden o no contar con porosidad regular (Martin, 1994; Chakarvart y Vetter, 1998). En la literatura especializada se reportan tres tipos de plantillas que son utilizadas con frecuencia para el crecimiento de nanoalambres metálicos, entre ellas se encuentran las membranas poliméricas, las membranas de alúmina anódica porosa y las de copolímeros 'diblock', cada una de estas con características diferentes en cuanto a la regularidad y densidad de poros, que son utilizadas según las necesidades requeridas. En particular en el laboratorio de Materiales y Nanotecnología del CCADET se cuenta con la infraestructura para el desarrollo de películas de alúmina anódica porosa formada por la oxidación electroquímica (anodizado) de placas de aluminio metálico. El objetivo de este informe es presentar el método de crecimiento de nanoalambres metálicos dentro de los poros de membranas de alúmina anódica porosa usando la técnica de depósito electroquímico por corriente alterna.

Mediante la utilización de las plantillas de alúmina anódica porosa y los métodos electroquímicos se tiene previsto a futuro la fabricación de estructuras artificiales de materiales magnéticos, ferroeléctricos y de nanoestructuras mixtas que incluyen arreglos multicapas (Piao *et al.* 2005). La obtención de estas estructuras artificiales de tamaño controlable y de arreglo espacial uniforme permitirá el estudio de las propiedades magnéticas y de transporte de carga para el diseño e investigación de dispositivos magnetorresistivos y modelado de sistemas magnéticos nanoscópicos. Además se tiene contemplada la posibilidad de desarrollar nanoestructuras de metales como plata y oro, para la preparación de superficies metálicas nanoestructuradas con aplicaciones usando los efectos SERS (Surface-Enhanced Raman Scattering) y SEIR (Surface-Enhanced IR) (Lombardi *et al.*, 2007; García y Sánchez, 2006).

CAPITULO 1 ANTECEDENTES

1.1 Estructura de las plantillas de alúmina anódica porosa

El óxido de aluminio poroso se forma mediante la oxidación electroquímica (anodizado) del aluminio usando electrolitos hechos de disoluciones de ácidos sulfúrico, oxálico y fosfórico (Li *et al*, 1998). La estructura del óxido de aluminio anódico poroso consiste de un arreglo regular de celdas cada una de las cuales contiene un poro central que se extiende normal a la superficie del aluminio. La base de los poros está separada del aluminio por una capa de óxido de aluminio delgada, continua y compacta llamada *capa barrera*, ver Figura 1. La densidad superficial de poros puede llegar a ser de $10^8 - 10^{10}$ poros/cm² (Sui y Saniger, 2001).

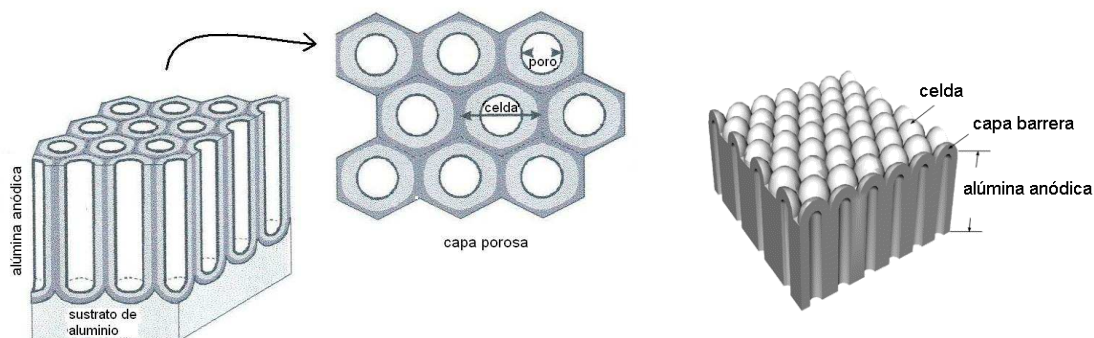


Figura 1 Representación esquemática de la estructura de celdas de óxido de aluminio anódico poroso.

El voltaje aplicado, el tipo y concentración del electrolito y la temperatura de anodizado afectan de manera sensible la distribución de los poros. En general el auto-ordenamiento de los poros sólo se consigue con valores discretos de voltaje de anodizado que son específicos del tipo de electrolito utilizado. En la gráfica de la Figura 2 y en la Tabla 1 se resume los voltajes de auto-ordenamiento hasta ahora reportados en la literatura y los diámetros de celda correspondientes.

Tabla 1. Parámetros del proceso de anodizado para las distintas películas de AAP, usando tres de los ácidos más comunes para el crecimiento de poros ordenados.

Electrolito	Concentración M	Voltaje (V)	Temperatura (°C)
Ácido sulfúrico	0.3	19	1-10
	1.2	25	
Ácido oxálico	0.3	40	1-10
		60	
Ácido fosfórico	1	90	0-3
	0.3-0.4	160-195	

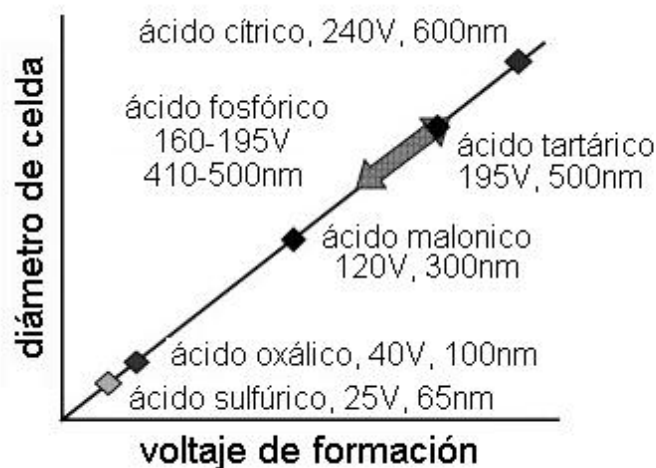


Figura 2. Resultados de los voltajes de auto-ordenamiento y los diámetros de celda correspondientes.

El procedimiento para anodizar el aluminio metálico se encuentra ampliamente explicado en un informe técnico previo a este (Mata, 2004), a continuación en el presente trabajo se describen los puntos más importantes. En la Tabla 2 se resume la secuencia del tratamiento previo al anodizado del aluminio. Las placas de aluminio de alta pureza (99.999%) se someten a un tratamiento estandarizado para su limpieza y acabado a espejo que garantiza la uniformidad de la superficie de las muestras antes de colocarlas en la celda electroquímica.

Tabla 2 Condiciones para el pretratamiento y electropulido del aluminio

Etapa	Condiciones
Corte de las láminas de aluminio de 100x100x0.25 mm	Cortes de 10x25 mm o 20x30 mm
Prensado de la piezas	Prensa hidráulica 30000 kPa
Recocido de la piezas	480 °C en aire estático por 1 hora enfriadas lentamente hasta temperatura ambiente
Pulido mecánico	Polvos de alúmina de 15, 5 y 0.3 μ m
Limpieza	Solución de carbonato de sodio 0.25 M a 80 °C por 3 minutos. Solución de ácido nítrico 35 % en peso a temperatura ambiente por 20 s
Electropulido	Solución de etanol y ácido perclórico 5/1 en volumen a 13 °C con un voltaje de 18 V por 1 o 2 minutos

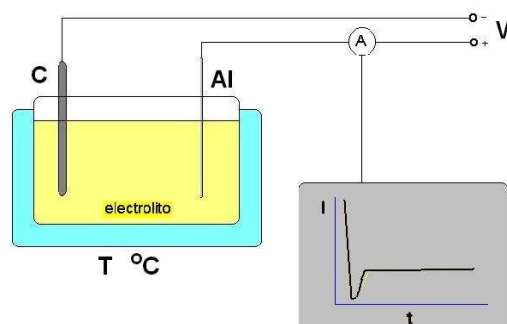


Figura 3. Esquema experimental de la celda electrolítica para el anodizado del aluminio

La celda electroquímica se forma la placa de aluminio conectada al polo positivo de una fuente de poder y una placa de grafito como contra electrodo. Ambos electrodos se introducen en un baño electrolítico que se mantiene a 10 °C de temperatura, el arreglo experimental se muestra en la Figura 3. Para el anodizado del aluminio se elige como electrolito dos tipos de soluciones acuosas: ácido oxálico y ácido sulfúrico con una concentración de 0.3 M, el voltaje que se aplica a la celda en cada caso es de 40 V y 20 V. Las películas de óxido de aluminio anódico poroso se denominan alúminas anódicas porosas oxálicas (AAP-oxálica) o bien alúminas anódicas sulfúricas (AAP-sulfúricas). El espesor de las películas se controla con el tiempo de anodizado que en este caso es de cinco horas para obtener películas de alrededor de 30 μm de espesor.

1.2 Preparación de las plantillas de alúmina anódica porosa para el crecimiento de nanoalambres metálicos por métodos electroquímicos

Los procesos de depósito electroquímico de metales generalmente se realizan en condiciones de corriente directa o pulsada cuando se trata de un sustrato continuo, pero en el caso de las plantillas de alúmina porosa las propiedades rectificadoras de la capa barrera, permiten hacer depósitos por corriente alterna. Este hecho se debe a que el óxido de aluminio de la capa barrera se comporta como un acoplamiento de semiconductores tipo P y N que rectifica la corriente como un diodo, debido a que existe un déficit de Al^{3+} en el óxido de aluminio en la interfase capa barrera/electrolito y un déficit de O^{2-} en la interfase capa barrera/aluminio metálico (Saedi y Ghorbani, 2005). De este modo el depósito de metales ocurre en la mitad del ciclo catódico, mientras que en la mitad del ciclo anódico la corriente cae a cero. En la práctica para conseguir un buen depósito es indispensable tener un espesor de capa barrera entre 10 y 20 nm (Paulus *et al*, 2001). Esto puede lograrse siguiendo dos rutas, una consiste en reducir el voltaje de anodizado al final de crecimiento de la película porosa y la otra es haciendo un ataque químico selectivo a las paredes de la celda de los poros que incluye la base de los poros para adelgazar su espesor. La elección de estos dos procesos depende en buena medida de las necesidades que se requiera cubrir con la plantilla porosa.

1.3 Técnica de secuencia de reducción de voltaje (SRV)

El espesor de la capa barrera en las alúminas anódicas porosas dependen directamente del voltaje de anodizado, que se encuentra reportado en la literatura como una razón de 1-1.2 nm/V (Paulus *et al*, 2001). El proceso de reducir la capa barrera disminuyendo el potencial al final de la etapa de crecimiento de la alúmina porosa permite conservar las dimensiones de las paredes de los poros y su efecto solo se encuentra localizado en la base de los poros. La secuencia de reducción de voltaje se puede llevar a cabo en etapas restando el 10% del valor inmediato anterior de voltaje. En la Figura 4 se muestra una gráfica representativa de voltaje y corriente contra tiempo registrada durante el curso del proceso de la secuencia de reducción de voltaje. El cambio en la corriente se debe a que al disminuir el voltaje decrece la fuerza del campo eléctrico a través de la capa barrera (Shawaqfeh y Baltus, 1999) y en respuesta a

esta caída, la corriente anódica cae, retardando la razón de crecimiento de la película. La disolución química localizada en la base de los poros adelgaza la capa barrera y cuando el adelgazamiento continúa, la fuerza del campo eléctrico aumenta progresivamente y la corriente se recupera a un nuevo valor de estado estacionario, característico del nuevo espesor de la capa barrera formada. El tiempo que se requiere para alcanzar cada estado estacionario, depende del voltaje previo de anodizado, del tipo y concentración del electrolito y la temperatura del baño electroquímico. Además, para conservar las propiedades aislantes de la capa barrera con el sustrato de aluminio, el voltaje final no debe pasar de cierto valor mínimo para el que se obtiene un espesor de alrededor de 18 nm (Paulus *et al*, 2001).

En la Figura 5 se muestra un esquema del proceso de adelgazamiento de la capa barrera. Al disminuir el voltaje se establecen nuevas condiciones de crecimiento y se forman poros cada vez más pequeños con un espesor de capa barrera menor. Por tanto, el diámetro de poro inicial se conserva a todo lo largo de la etapa de crecimiento y al final sólo se tendrán poros más pequeños con un espesor de capa barrera adecuado para el deposito de metales por corriente AC.

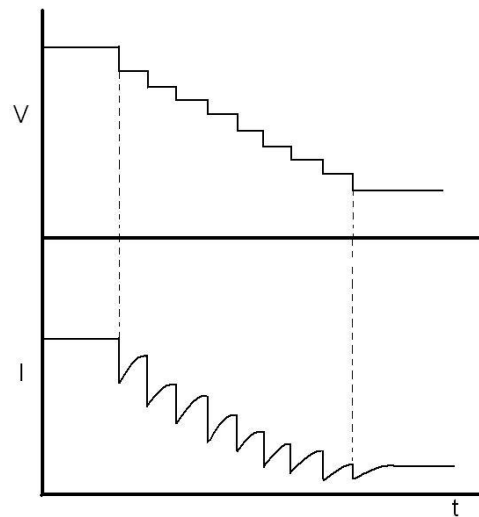


Figura 4. Gráfica esquemática de voltaje (V) y corriente (I) contra tiempo durante el proceso de reducción de voltaje para reducir el espesor de la capa barrera.



Figura 5. Capa barrera adelgazada por reducción de voltaje

CAPITULO 2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Depósito electroquímico de nanoalambres metálicos

En la Figura 6 se muestra el esquema general de la celda electroquímica de dos electrodos usada para el electrodeposición por corriente alterna. La placa de aluminio que soporta la película de alúmina porosa se usa como electrodo de trabajo y como contra-electrodo se usa una placa de grafito, ambos electrodos se sumergen en el electrolito para cerrar el circuito eléctrico. El voltaje aplicado para el electrodeposición de los metales se reporta entre los 12 y 50 V_p (voltaje pico) a frecuencias entre 60-200 Hz. Los electrolitos utilizados con frecuencia son soluciones acuosas de sales del metal de interés, un pequeño porcentaje en peso de ácido bórico que se añade al baño electrolítico para mantener constante el pH en la interfase del electrodo con la disolución durante el proceso catódico (Cheng *et al*, 1990). Tal y como se preparan las disoluciones de partida cuentan con un valor inicial de pH, si se requiere cambiar este valor, se agrega ácido sulfúrico (1 M) para bajar el pH, o bien hidróxido de sodio (2.5 M) para aumentarlo. El tiempo de depósito determina la longitud de los nanoalambres, el cual vendrá desde luego limitado por la longitud de los poros de la plantilla de alúmina. El diámetro de los nanoalambres está determinado por el tipo de plantilla, al emplear una AAP-sulfúrica el diámetro será de alrededor de 20 nm al utilizar 20 V de voltaje de anodizado, mientras que si se utiliza una AAP-oxálica será de alrededor de los 40 nm al utilizar 40 V de voltaje de anodizado.

A diferencia de los depósitos por corriente directa donde los parámetros para un buen depósito depende del control del voltaje o densidad de corriente de depósito, el tipo y concentración de los cationes metálicos en el electrolito, el pH de la disolución y la temperatura; el depósito por corriente alterna en AAP debe considerar adicionalmente los parámetros tales como la frecuencia de la corriente alterna y el espesor y homogeneidad de la capa barrera (Jagminiene *et al*, 2005). En el siguiente capítulo se reportan los valores de los parámetros anteriormente citado para el depósito de seis metales, tres de ellos corresponden al grupo VIII de la tabla periódica que se caracterizan por ser ferromagnéticos (Fe, Co y Ni), mientras que los otros tres pertenecen al grupo IB (Cu, Ag y Au), llamados metales nobles. Las nanoestructuras 1D obtenidas con el primer grupo permiten el estudio de las propiedades magnéticas y de transporte de carga para el diseño e investigación de dispositivos magnetorresistivos y modelado de sistemas magnéticos nanoscópicos. Con el segundo grupo se pueden desarrollar nanoestructuras de metales como plata y oro, para la preparación de superficies metálicas con aplicaciones de los efectos SERS (Surface-Enhanced Raman Scattering) y SEIR (Surface-Enhanced IR).

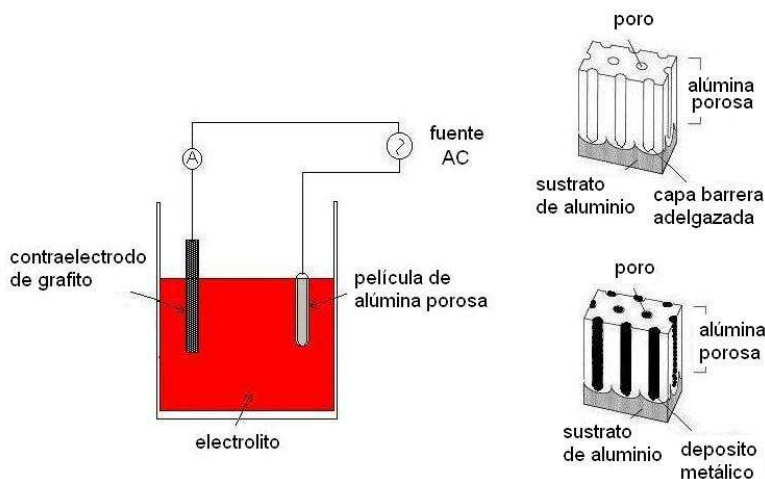


Figura 6. Celda electroquímica para el electrodeposición de metales por corriente alterna.

CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Adelgazamiento de la Capa Barrera en las alúminas anódicas porosas mediante la técnica SRV (secuencia de reducción de voltaje).

La curva de corriente de anodizado contra tiempo, para el proceso de reducción del espesor de la capa barrera, se muestra en la Figura 7. Después de cinco horas de anodizado a un voltaje de 40 V o 20 V, según corresponda, se inicia la primera reducción de voltaje lo cual lleva a una caída de la corriente hasta alcanzar un mínimo seguido inmediatamente de un incremento hasta llegar a un valor de corriente que se estabiliza a un nuevo valor de corriente de acuerdo con las nuevas condiciones de crecimiento. Cuando se alcanza este valor estable de corriente se disminuye nuevamente el voltaje y se repite esto hasta disminuir el valor del voltaje de anodizado a 16 V. Este valor puede ser menor, pero no más bajo que 10 V, porque el adelgazamiento excesivo de la capa barrera ocasiona que en algunos puntos críticos se llegue a romper la película de oxido debido a la intensidad del campo eléctrico local que se produce en la base de los poros (Saedi y Ghorbani, 2005).

La corriente registrada en cada experimento corresponde a una serie de cinco placas colocadas al mismo tiempo en la celda electroquímica. Este proceso permite obtener varias probetas de ensayo con películas de alúmina porosa muy similares en cuanto a espesor y uniformidad en el adelgazamiento de la capa barrera.

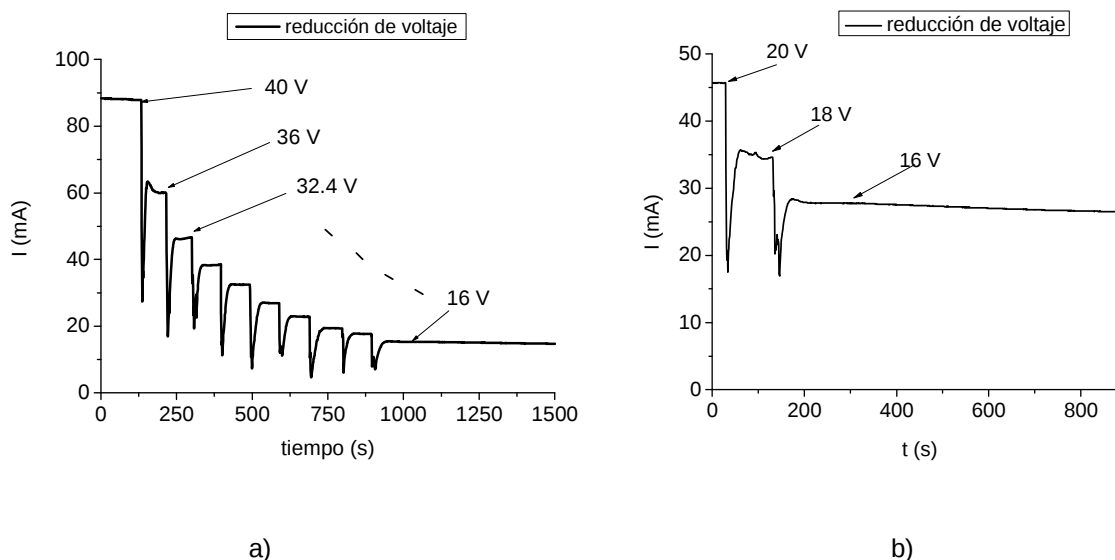


Figura 7. Curvas de corriente de anodizado contra tiempo, donde se inicia la secuencia de reducción de voltaje para disminuir el espesor de la capa barrera en una plantilla de AAP-oxálica (a) y AAP-sulfúrica (b).

3.2. Nanoalambres metálicos electrodepositados por corriente alterna.

En las Figuras 8 y 9, se muestran las curvas de corriente de depósito contra tiempo, obtenidas durante el crecimiento de los nanoalambres de hierro, cobalto y níquel. Se utilizaron plantillas AAP-sulfúricas y oxálicas para obtener dos diámetros de nanoalambres. El voltaje de depósito y la frecuencia son valores que no se pueden determinar a priori ya sea por calculo o buscando en tablas, por tanto están determinados por ensayo y error. Después de varias pruebas se determinó que aplicando un voltaje de depósito de 20 V_p el llenado de los poros era el más adecuado, para las plantillas preparadas reduciendo el voltaje final de anodizado a 16 V. Por otro lado, la frecuencia de depósito para este tipo de metales presentó mejores resultados a 200 Hz que a 60 Hz, aunque en las curvas de corriente contra tiempo se observa buena estabilidad en ambos casos (Figura 10). La disminución en el valor de la densidad de

corriente de aproximadamente 10 mA/cm^2 (20V, 200Hz) a 3.5 mA/cm^2 (20V, 60 Hz), es indicativo de los cambios en la propiedades conductoras en la capa barrera lo cual tiene que influir en el crecimiento de los nanoalambres.

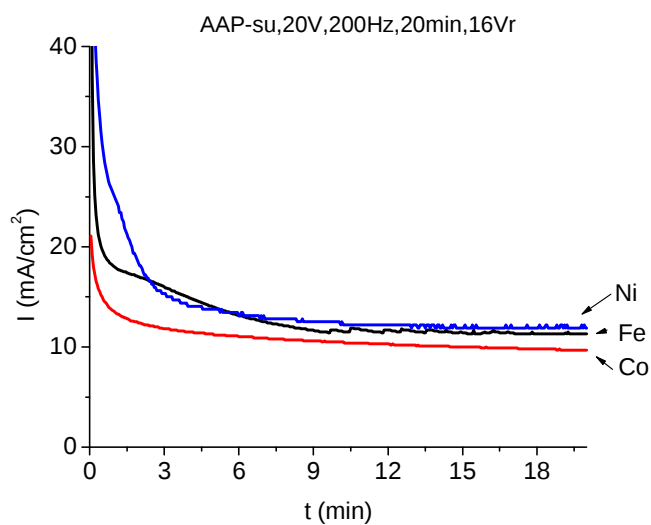


Figura 8. Curvas de corriente contra tiempo del electrodeposito de Co, Fe y Ni a 20 V y 200 Hz. AAP-sulfúrica

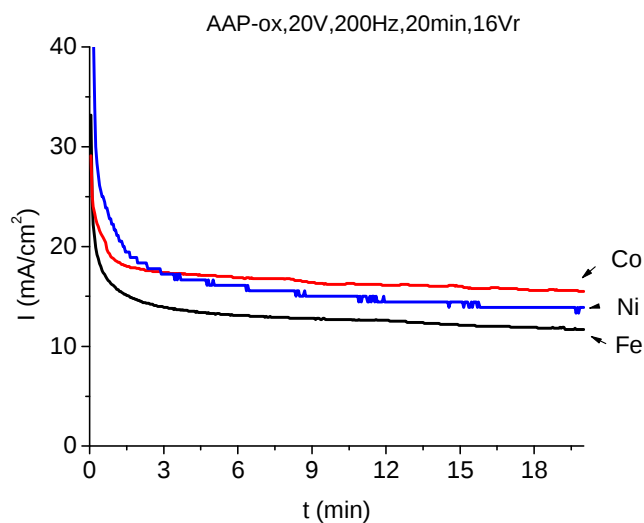


Figura 9. Curvas de corriente contra tiempo del electrodeposito de Co, Fe y Ni a 20 V y 200 Hz. AAP-oxálica

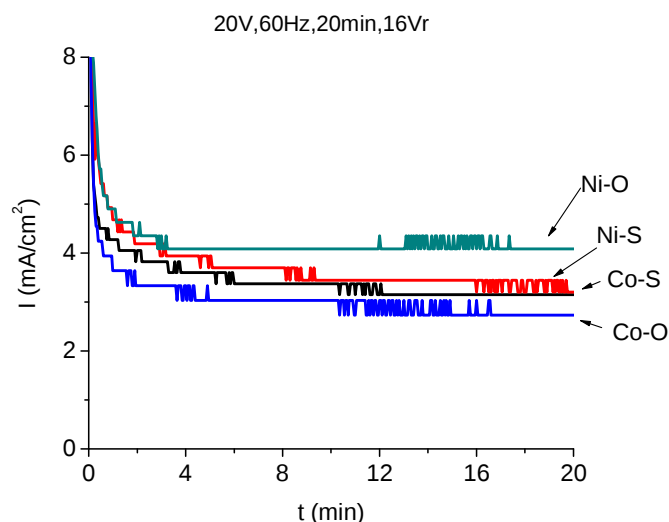


Figura 10. Curvas de corriente contra tiempo del electrodeposito de Co y Ni a 20 V y 60 Hz en AAP-sulfúrica (S) y AAP-oxálica (O)

En la Figura 11 se muestran las curvas de corriente contra tiempo de depósito del otro grupo de metales en los dos tipos de plantillas. Para las curvas obtenidas a un voltaje de 20 V y 200Hz se observa una gran inestabilidad en el depósito, sobre todo para el cobre. En estas graficas no se muestran los datos para el oro porque los valores de voltaje y frecuencia anteriores no permiten estabilizar la corriente desde el inicio. Cuando el voltaje se reduce a valores de alrededor de 10 V y se reduce la frecuencia a 60 Hz los resultados cambian notoriamente. La estabilidad en las curvas mejora, aunque para el caso del oro sigue siendo elevados los valores, motivo por el cual en menos de cinco minutos de iniciar el depósito comienza a aumentar la corriente muy rápidamente (Figura 12).

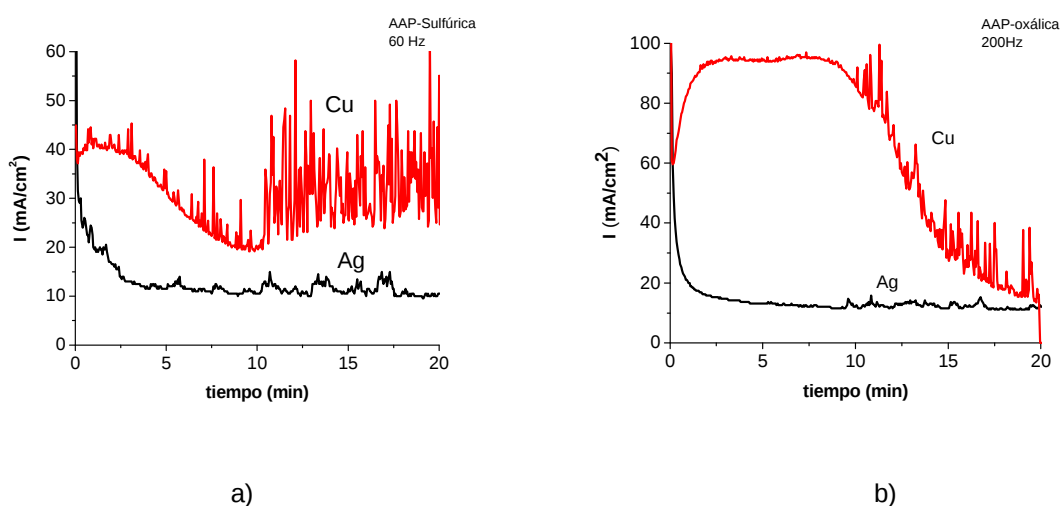


Figura 11. Curvas de corriente contra tiempo del electrodeposito de Cu y Ag a 20V y 200 Hz en AAP-sulfúrica (a) y oxalica (b)

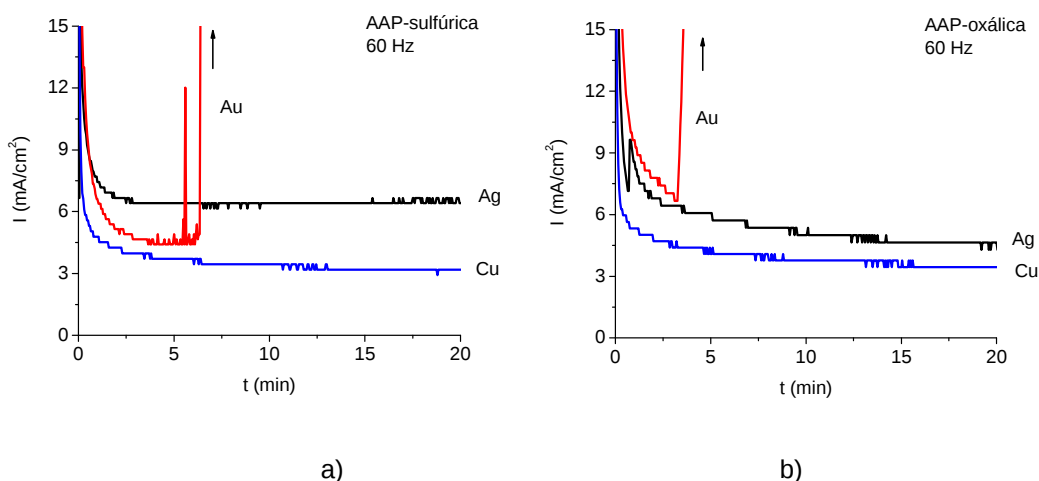


Figura 12. Curvas de corriente contra tiempo del electrodeposito de Cu, Au y Ag a 10V y 60 Hz en AAP-sufúrica (a) y oxálica (b)

En la Tabla 3 se muestran los parámetros químicos del electrolito y los valores de voltaje y frecuencia en los que se obtuvieron los mejores resultados para los diferentes metales electrodepositados en las plantillas de alúmina porosa.

Tabla 3. Condiciones de electrodeposito por corriente AC de nanoalambres metálicos en AAP.

Metal	Electrolito	Voltaje pico (V)	Frecuencia (Hz)	Temperatura (°C)	pH
Fe	FeSO ₄ , 120 g/L H ₃ BO ₃ , 45 g/L	20	200	23	3.5
Co	CoSO ₄ , 40 g/L H ₃ BO ₃ , 40 g/L	20	200	23	4
Ni	NiSO ₄ , 26 g/L H ₃ BO ₃ , 45 g/L	20	200	23	2.7
Cu	CuSO ₄ , 50 g/L H ₃ BO ₃ , 20 g/L	15	60	23	2.7
Ag	AgNO ₃ , 40 g/L MsSO ₄ , 20 g/L	10	60	23	2.6
Au	AUTREX solución comercial	10	60	50	---

3.3. Imágenes por microscopía electrónica de transmisión de los nanoalambres metálicos

Los nanoalambres electrodepositados en el interior de los poros se pueden observar por medio del microscopio electrónico de transmisión (TEM) al retirarlos completamente de la plantilla. Esto se consigue disolviendo la alúmina porosa con hidróxido de sodio (2.5 M) a 40 °C por 25 minutos. Los nanoalambres se retienen en el fondo del recipiente con la ayuda de un imán mientras se enjuagan con agua destilada varias veces para retirar los residuos de hidróxido de sodio. Una vez que se han lavado se retira el agua y se dispersan en etanol por medio de un baño de ultrasonido por 5 minutos. Una gota de esta preparación se coloca en una rejilla de cobre recubierta de formvar utilizadas como porta-muestras. En las Figuras 13 y 14 se muestran algunas de las imágenes obtenidas de los nanoalambres electrodepositados en plantillas de AAP-oxálica y sulfúrica.

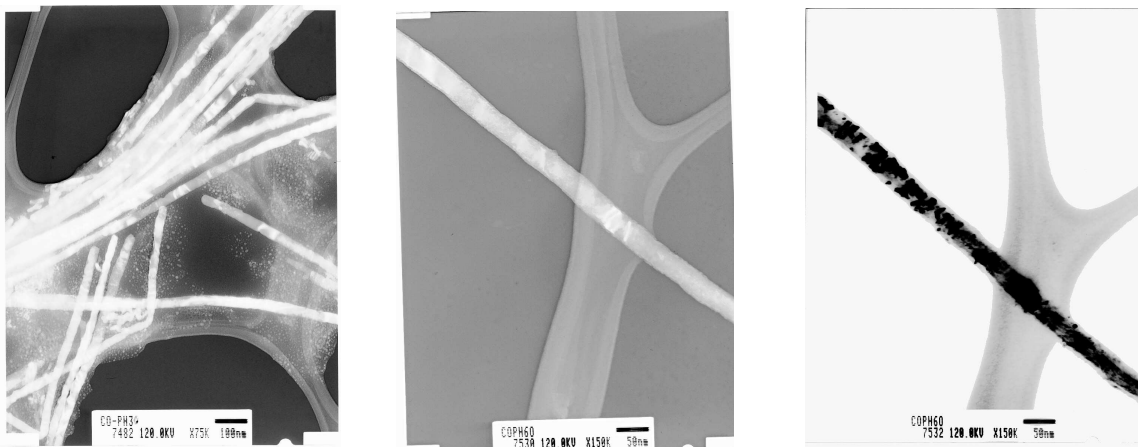


Figura 13. Imágenes por TEM de nanoalambres metálicos crecidos en plantillas de AAP-oxálicas

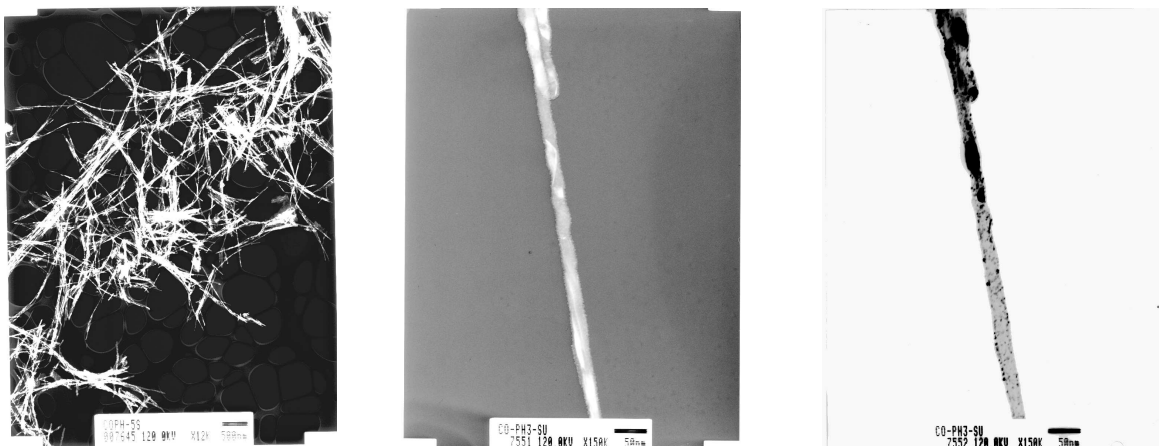


Figura 14. Imágenes por TEM de nanoalambres metálicos crecidos en plantillas de AAP-sulfúricas

CONCLUSIONES

Se obtienen las condiciones experimentales de voltaje de depósito y frecuencia adecuados para el electrodeposición de dos grupo distintos de metales. Con la técnica denominada Secuencia de Reducción de Voltaje (SRV) se obtienen depósitos electroquímicos de buena reproducibilidad, una vez que se conocen los valores más apropiados de voltaje y frecuencia de depósito. En el presente trabajo se probó que para dos tipos de plantillas de alúmina porosa las propiedades conductoras en la base de los poros son diferentes, aunque el valor de voltaje final se conserva igual al término del anodizado. Los metales ferromagnéticos (Co, Fe y Ni) se depositaron a valores de voltaje y frecuencia de 20 V y 200 Hz; mientras que el segundo grupo de metales nobles (Cu, Ag y Au) los valores obtenidos fue de 10 V y 60 Hz. Los valores, tanto de voltaje de depósito como la frecuencia que se utiliza en los depósitos AC, influyen en la impedancia de la celda electrolítica y en consecuencia influyen en el potencial necesario para lograr el proceso de crecimiento de la fase metálica en la interfase electrolito/sustrato AAP a partir de los iones metálicos. Este proceso se controla más adecuadamente en un depósito electrolítico por corriente DC, sin embargo, esto lleva a la necesidad de eliminar la capa barrera de las alúminas y luego recubrir las con una película conductora. Lo que lleva a un proceso más largo y complejo de preparación de las AAP.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Fis. Carlos Flores Morales del IIM-UNAM por las imágenes obtenidas por TEM.

REFERENCIAS

Chakarvart S. K. y Vetter J. Template synthesis –A membrane based thecnology for generation of nano-micro materilas: a review. *Radiation Measurements* 29 (2), 1998, 149.

Cheng T.J., Jorné J., Gau J.S. Magnetic anisotropy of electrodeposited cobalt on alumite substrate. *J. Electrochem. Soc.*, 137 (1), 1990, 93-95

García-Ramos J. Vicente, Sánchez-Cortés S. Espectroscopia vibracional sobre nanoestructuras metálicas (SERS y SEIR)): nuevos sustratos y aplicaciones. *Optica Pura Aplicada* 39, (2), 2006, 125. www.sedoptica.es.

Jagminiene A., Valincius G., Riaukaite A., Jagminas A. The influence of the alumina barrier-layer thickness on the subsequent AC growth of copper nanowires. *J. Crystal Growth* 274, 2005, 622.

Li A. P., Müller F., Birner A., Nielsch K., Gösele U. Hexagonal pore arrayas with a 50-420 nm interpore distance formed by self-organization in anodic alumina. *J. Applied Physics* 84 (11), 1998, 6023.

Lombardi I., Cavallotti P.L., Carraro C. Template assisted deposition of Ag nanoparticle arrays for surface-enhanced Raman scattering applications. *Sensors and Actuators B* 125, 2007, 353.

Martin C. R. Nanomaterials: A membrana-based synthetic approach. *Science* 266, 1994, 1961

Mata Zamora Ma. Esther. Caracterización de plantillas de alúmina anódica porosa para su aplicación en la síntesis de nanoalambres cerámicos. Informe Técnico Interno, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico UNAM, México, mayo 2004.

Paulus P.M., Luis F., Köll M., Schmid G., L.J. de Jongh. Low-temperature study of the magnetization reversal and magnetic anisotropy of Fe, Ni, and Co nanowires. *J. Magn. Magn. Mater.* 224, 2001, 180.

Piao Y., Lim H., Chang J.Y., Won-Yong Lee, Kim H. Nanostructured materials prepared by use of ordered porous alumina membranes. *Electrochimica Acta* 50, 2005, 2997.

Saedi A., Ghorbani M. Electrodeposition of Ni-Fe-Co alloy nanowire in modified AAO template. *Materials Chemistry and Physics* 91, 2005, 417.

Shawaqfeh A. T., Baltus R. E. Fabrication and characterization of single layer and multi-layer anodic alumina membranes. *J. Membrane Science* 157, 1999, 147.

Sui Y. C., Saniger J. M. Characterization of anodic porous alumina by AFM. *Materials Letters* 48, 2001, 127.