

Las artísticas formas dendríticas producidas en la electrodeposición de metales

Enrique Julve

Resumen: A partir de recubrimientos metálicos dendríticos electrodepositados, indeseables y desechados industrialmente, ha surgido un nuevo arte metálico, con esculturas y bajorrelieves de cobre, de níquel o de plata, representando bellas figuras tanto de tipo figurativo como de tipo abstracto. En el presente artículo, después de exponer los fundamentos de la electrodeposición de metales y de los defectos que se pueden producir en los recubrimientos electrodepositados, entre ellos las formas dendríticas, se habla de las figuras artísticas que se pueden lograr aprovechando este defecto al variar las condiciones de electrólisis. Entre estas formas artísticas destacan las conseguidas por el profesor Eugenio Bertorelle, algunas de las cuales se muestran en este artículo.

Palabras clave: Arte metálico, formas dendríticas, electrodeposición, electrodepósitos, recubrimientos metálicos.

Abstract: A new metallic art has appeared from the dendritic electrodeposits, industrially unwanted and underrated: sculptures and bas-reliefs of copper, nickel and silver representing figurative figures as well as abstract ones. In the present article, after exposing fundamentals of metal electrodeposition as well as the defects that can be produced on the deposited plate (dendritic structures), the artistic figures obtained taking advantage of this defect are described. Between these figures can be distinguished the beautiful sculptures and bas-reliefs obtained by the professor Eugenio Bertorelle, some of them are showed in this article.

Keywords: Metallic art, dendritic coatings, electroplating, electrodeposits, metallic coatings.

Introducción: Fundamentos de la electrodeposición de metales

La electrodeposición de metales consiste, a grandes rasgos, en la descarga de un metal sobre un electrodo llamado cátodo, en contacto con una disolución-electrólito conteniendo iones de ese metal, por el paso de la corriente eléctrica continua, al propio tiempo que en otro electrodo denominado ánodo se produce la parcial disolución del metal. (Figura 1).

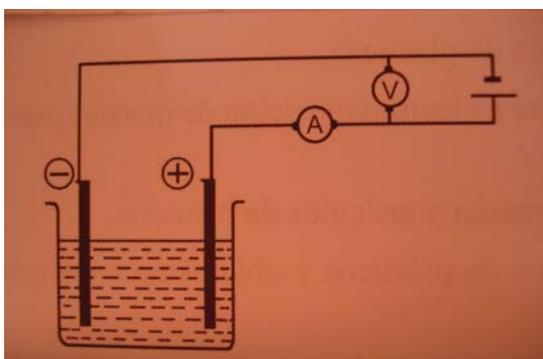


Figura 1. Esquema ilustrativo del dispositivo para la electrodeposición de metales.

Fuere cual fuere la forma iónica bajo la cual se hallan presentes los iones metálicos, cuando se aplica un potencial a los dos electrodos sumergidos en la disolución-electrólito, los iones cargados eléctricamente se ponen en marcha hacia uno



E. Julve

Departamento de Química. Facultad de Ciencias.
Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Bellaterra
(Cerdanyola del Vallés).

C-e: secreaipet@hotmail.com

Recibido: 05/09/2007. Aceptado: 29/10/2007.

de los dos electrodos: los iones metálicos cargados positivamente (cationes) se dirigen hacia el electrodo negativo (cátodo) y los iones cargados negativamente (aniones) se mueven hacia el electrodo positivo (ánodo), transportando de este modo la corriente eléctrica.^{[1] [2]}

En estos electrodos, positivo y negativo, y por el paso de la corriente eléctrica continua, se producen fenómenos electroquímicos de oxidación y reducción: el primero en el ánodo y el segundo en el cátodo, ligados ambos fenómenos a una variación de la valencia, es decir, del número de electrones-valencia libres. Así, en el caso de la electrodeposición del metal níquel, este metal, en el ánodo, cede dos electrones y pasa al estado iónico: $\text{Ni}^0 \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2e^-$, y, a su vez, en el cátodo, el ión níquel de la disolución-electrólito toma dos electrones y pasa al estado de átomo metálico neutro, depositándose allí: $\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}^0$. Junto a este esquema sencillo, se producen en esos electrodos una serie de fenómenos más complicados, ligados a la existencia de la *doble capa eléctrica* y en que intervienen la polarización, la sobretensión, la difusión, etc.

La electrodeposición de un metal es un proceso muy complejo en que intervienen además de la Electroquímica, las otras disciplinas integrantes de la Química Física. La electrodeposición metálica es un proceso por etapas: (Figura 2)

-Etapa A: migración iónica

-Etapa B: Deposición, comportando dos sub-etapas: B-1: adsorción del ión sobre la superficie del cátodo y electronación (paso de uno o varios electrones desde el cátodo metálico al catión mediante efecto túnel), y B-2: difusión superficial del ad-ión a través de la superficie del cátodo (deshidratación) e incorporación a la red cristalina del mismo.

-Etapa C: Electrocrystalización (crecimiento cristalino).

Quando no existe campo eléctrico los iones están distribuidos en la disolución-electrólito completamente al azar; ahora bien, al aplicar el campo eléctrico se produce una migración de esos iones (generalmente solvatados) hacia el cátodo, llegando primero a la capa difusa. Una vez en la doble capa eléctrica y después de perder su envoltura acuosa, el ión metálico se incorporará plenamente en la red cristalina del cátodo por transferencia de carga. A partir de ese momento comienza el crecimiento cristalino del metal electrodepositado.^{[1] [2]}

Las artísticas formas dendríticas producidas en la electrodeposición de metales

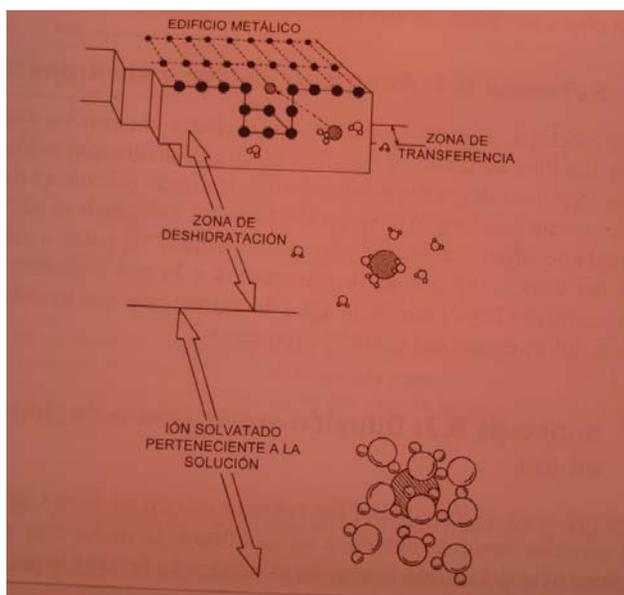


Figura 2. Representación esquemática del recorrido del ión metálico en el mecanismo de su deposición en el cátodo.

La etapa del crecimiento cristalino va a ser una de las tapas decisivas en la estructuración del futuro recubrimiento metálico. En la práctica, para un gran número de iones metálicos, la energía disponible no permite la nucleación de nuevas capas sobre el cátodo, interviniendo entonces el modelo de crecimiento denominado *dislocación helicoidal* o *en espiral*, mecanismo que admite la existencia de escalones en la superficie del cátodo y que representa un caso ideal de tiempo suficiente para la difusión de los ad-iones hacia el borde del escalón, ocurriendo este crecimiento solamente para velocidades de electrodeposición lentas. A medida que la velocidad de electrodeposición aumenta, es decir, cuando la densidad de corriente (intensidad de corriente por área catódica) es más elevada, la velocidad de llegada del ión es mayor que la velocidad de difusión superficial del ad-ión, y, por tanto, la espiral ya no puede crecer más. Como la sobretensión es mayor, en este caso se pueden nuclear nuevos bordes de manera más fácil, predominando ahora los mecanismos de crecimiento en escalones y en bloques, mostrando una transición en el crecimiento, desde la formación de escalones hasta la formación de *plaquetas*, de éstas a la de *bloques* y, finalmente, de *policristales* finos. Cuando la densidad de corriente es ya muy alta y rebasa ciertos límites, se produce el caso opuesto extremo al mecanismo de crecimiento helicoidal, es decir el denominado *crecimiento dendrítico* o *arborescente*. En este caso la punta de la hélice o espiral posee un radio de curvatura mucho menor que la capa de difusión "delta", existirá difusión esférica y la densidad de corriente será mucho mayor que si se produjera una difusión lineal. Por otra parte, la *sobretensión de activación* o de *transferencia de carga* será mucho menor en la punta de la hélice o espiral que en la zona que rodea la base y, consecuentemente, se originará una mayor deposición metálica en la mencionada punta, desarrollándose a la larga ese crecimiento dendrítico o arborescente, semejante a un pequeño árbol de Navidad. (Figura 3)

A escala macroscópica, el tipo de estructura que adopte el metal electrodepositado variará a tenor de dos circunstancias primordiales: a)–que haya formación continua de núcleos, a partir de los cuales proseguirá la formación de nuevos cristales; b)–que haya crecimiento únicamente de los cristales

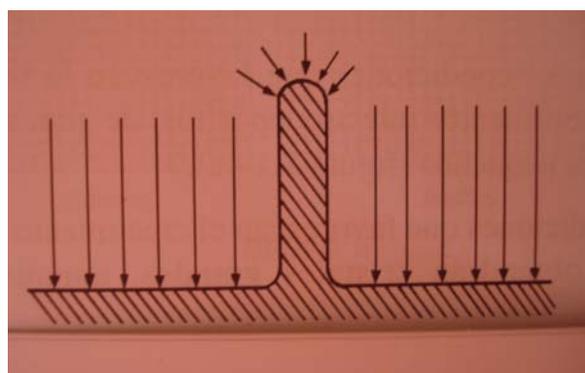


Figura 3. Crecimiento dendrítico. Mayor densidad de corriente en la punta de la espiral que en la superficie plana.

ya existentes, primeramente formados. Cuando estén presentes condiciones que favorezcan la formación de nuevos núcleos se obtendrán recubrimientos metálicos (electrodepósitos) de grano fino, que contendrán un gran número de cristales pequeños. Cuando existan condiciones que favorezcan el crecimiento de los cristales primeramente formados, se obtendrán cristales (electrodepósitos) grandes, aunque en número pequeño. Se pondrán distinguir, pues, tres grupos diferentes de cristales electrodepositados. En el primer grupo estarán comprendidos los recubrimientos metálicos caracterizados por el crecimiento continuo de todos los núcleos cristalinos originalmente formados, sin que aparezcan nuevos cristales. En el segundo grupo estarán comprendidos los recubrimientos caracterizados por un parcial crecimiento de los núcleos primitivamente formados, sin que se formen nuevos cristales. En el tercer grupo estarán comprendidos los recubrimientos en que los núcleos cristalinos formados al principio apenas se han desarrollado, formándose continuamente nuevos cristales, pudiendo dar lugar a la larga a depósitos cristalinos con estructura arborescente e, incluso, esponjosa, ambas estructuras indeseables. Cualquier causa que aumente la polarización catódica tenderá a disminuir el tamaño de los cristales, pasándolos desde los tipos correspondientes al grupo primero a los tipos correspondientes al grupo segundo y al grupo tercero.^{[1] [2]}

Además de otros, uno de los parámetros prácticos que más influyen en el proceso del crecimiento cristalino de los recubrimientos metálicos electrodepositados es la *densidad de corriente* (intensidad de corriente por área catódica) aplicada. Densidades de corriente bajas entrañan una velocidad de electrodeposición lenta, dando como resultado el crecimiento en espiral o dislocación helicoidal. Aumentando la densidad de corriente, dentro de ciertos límites, se produce un aumento de la velocidad de electrodeposición y se favorece la polarización catódica, obteniéndose recubrimientos de grano fino. Rebasando ciertos límites de densidad de corriente, la velocidad de crecimiento aumenta tanto, especialmente en ciertos lugares del cristal, que el electrodepósito obtenido se convierte en rugoso, en dendrítico o incluso en esponjoso o pulverulento, formas todas ellas indeseables.

Defectos producidos en la electrodeposición de metales

Desde el punto de vista industrial práctico la obtención de recubrimientos dendríticos (arborescentes) se considera un defecto grave, que lleva al rechazo de la pieza u objeto llevando ese tipo de recubrimiento.

En Prácticas de Laboratorio y como ejemplo de las consecuencias de una mala electrodeposición, el autor del presente artículo mostraba a los alumnos del último curso de la especialidad Química Física (Electroquímica) de la carrera de Química en la Universidad Autónoma de Barcelona, cómo se producían recubrimientos de cobre y de níquel dendríticos, indeseables y rechazables en la industria. Pero, al propio tiempo, prolongando la electrólisis durante bastante tiempo utilizando densidades de corriente altas, aparecían, sobre algunas partes de la superficie del metal-base (cátodo) sobre el que se electrodepositaba el cobre o el níquel, figuras imaginativamente sorprendentes, desde frondosos árboles de Navidad hasta ciervos e incluso figuras humanas estilizadas, unidas a ese cátodo por uno o varios pedículos.

La producción de recubrimientos del tipo arborescente, indeseados industrialmente, puede devenir un *nuevo arte metálico*, admirado por las nuevas generaciones de artistas que tanto suelen sorprendernos con sus creaciones apartadas del arte figurativo. De hecho, este "arte metálico" ya fue practicado bastantes años atrás por algunos investigadores en la disciplina de la Galvanotecnia, los cuales en sus talleres obtuvieron, variando convenientemente las condiciones de electrólisis, figuras artísticas de cobre, níquel y otros metales, constitutivas de este denominado *arte nuevo*. Esta vertiente artística de los recubrimientos metálicos dendríticos constituye un caso curioso de aprovechamiento de un efecto negativo, como es la producción de esos recubrimientos defectuosos, en un efecto positivo, como es la obtención de figuras metálicas artísticas, incluidas en un "arte contemporáneo".

Práctica del "nuevo arte metálico"

Las figuras artísticas dendríticas mencionadas pueden obtenerse a partir de una sencilla instalación galvánica, integrada por una cuba o recipiente para contener la disolución-electrolito (conteniendo los iones del metal a electrodepositar), un *ánodo* soluble (constituido por el metal a electrodepositar), un *cátodo* (constituido por metal-base, plástico metalizado o superficie de cualquier material hecho conductor), los correspondientes *cables y barras anódica y catódica*, un *generador de corriente continua* (rectificador), un *regulador* de la intensidad y tensión de la corriente eléctrica (reostato) y *medidores* de esa intensidad y tensión (amperímetro y voltímetro)^{[1][2]} (Figura 4).

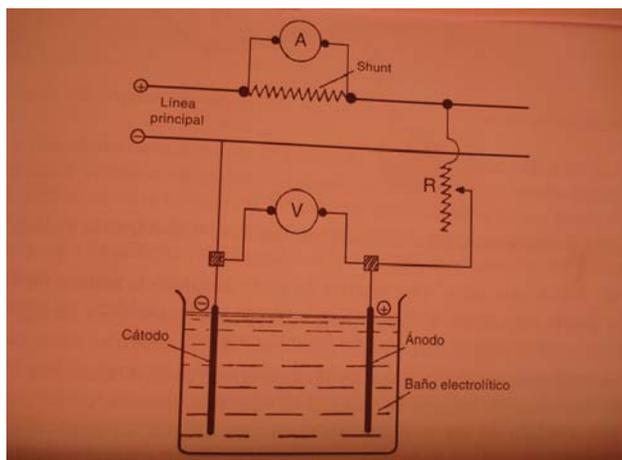


Figura 4. Esquema de un circuito completo para la electrodeposición de metales. A: amperímetro, V: voltímetro, R: resistencia para la regulación, shunt del amperímetro, ánodo, cátodo, baño electrolítico.

Si el electrolito (baño galvánico) exige operar a temperatura superior a la ambiente se empleará un sistema de *calefacción* (por aire caliente a través de serpentín o mediante calentador eléctrico), y si exige agitación se proveerá a esta instalación del adecuado sistema de *agitación* (insuflación de aire comprimido o dispositivo de vaivén de la barra catódica).^[1]

La aparición de unos tipos de figuras *dendríticas* con respecto a otras, dependerá del tipo de electrolito (baño) utilizado, de la densidad de corriente eléctrica aplicada al sistema, de la distribución de la corriente (dirigida, si es menester, a ciertas partes del cátodo mediante ánodos suplementarios auxiliares), de la temperatura, de la agitación, de la extensión de la zona "no conductora" (no activa) del cátodo y del tipo de metal de recubrimiento a electrodepositar (cobre, níquel, plata, etc.).

Por ejemplo, si para depositar un recubrimiento de *cobre* utilizamos un electrolito (baño) de tipo ácido (a base de sulfato de cobre o de sulfamato de cobre), obtendremos una estructura columnar y dúctil, mientras que empleando un electrolito del tipo alcalino-cianurado se obtendrá una estructura cristalina mucho más pequeña, menos dúctil y más dura. Por otra parte, el empleo de una densidad de corriente elevada dará lugar a una estructura cristalina imitando la arborescencia coralina. La agitación y una elevación de temperatura influirán también en el crecimiento cristalino dando lugar a cristales grandes y dúctiles. El estado físico-geométrico del cátodo (metal-base o plástico hecho conductor) sobre el que se electrodeposita el cobre y la topografía del ánodo, así como la distancia entre ellos, son también importantes, pues determinarán la orientación preferencial del crecimiento de los cristales y su tamaño. Al propio tiempo, la presencia de cierto tipo de sustancias orgánicas o inorgánicas en el electrolito (baño) puede modificar el crecimiento del cristal, confiriendo una cristalización que va desde la forma *dendrítica* (arborescente) a la *perliforme*, a la *esperiliforme* y a la *astada*. Por ejemplo, la adición de 0,1 g/l de Pb^{2+} a un electrolito alcalino-cianurado de cobre da lugar a formaciones policristalinas *estriadas*.

Actuando sobre los parámetros precedentemente citados se pueden obtener esculturas y bajorrelieves electrolíticos de cobre, de níquel, de plata o de oro sobre un metal-base (hilo de cobre o de latón o lámina metálica) o sobre una superficie plástica hecha conductora. Al propio tiempo, las esculturas y bajo relieves obtenidos se pueden colorear mediante cualquier proceso de metalcromía de tipo electrolítico.

En cualquier caso, la base sobre la que se van a obtener los recubrimientos electrolíticos arborescentes o nodulares debe ser previamente desengrasada en las zonas donde se desea realizar la electrodeposición metálica.

Desde el punto de vista práctico, con objeto de obtener formas compactas y duras es necesario mantener lo más constante posible las características químicas del electrolito (baño) y las condiciones operatorias, asegurándonos de que los electrodos que se obtengan no presenten fragilidad.

Figuras artísticas obtenidas por el "nuevo arte metálico"

Con frecuencia se ha acusado al arte moderno de ser incapaz de valerse de los descubrimientos científico-técnicos para expresar de forma nueva la exigencia de la mente. Ello, hasta cierto punto, se ha debido a diversas causas y circunstancias,

Las artísticas formas dendríticas producidas en la electrodeposición de metales

asociadas algunas de ellas a la carencia de una adecuada cultura —especialmente científica— que ha puesto freno a relacionar arte y tecnología, particularmente en lo que se refiere al arte del metal, circunscrito hasta el presente a la tradicional escultura expresada fundamentalmente por la fusión en bronce.

Ahora bien, como hemos visto precedentemente, con los actuales conocimientos de Electroquímica, oportunamente aplicados es posible generar múltiples formas artísticas dentro del citado *arte nuevo*, formas que podrían llamarse *esculturas electrolíticas*, obtenidas como consecuencia de una electrocristalización guiada por la mano del hombre con electrolitos adecuados y utensilios pertinentes. Estas creaciones pueden parangonarse con las creaciones de la escultura tradicional que, llevando un cuerpo interior metálico, es colocado sobre él arcilla para realizar la obra. En el caso de este *arte nuevo*, es el electroquímico quien, de un soporte metálico (o de plástico metalizado) hace surgir la cristalización más variada utilizando disoluciones-electrolitos apropiadas y actuando sobre la horma, la densidad de corriente eléctrica, la temperatura y otras variables químico-físicas.

Uno de los más prestigiosos investigadores europeos en Galvanotecnia, profesor de la Universidad de Milán y autor de varios libros sobre esta materia, el Dr. Eugenio Bertorelle, dio a conocer este arte nuevo en el año 1965, con ocasión del *Symposium International d'Electroplastie* celebrado en París.^[3] ^[4] Más adelante, en el año 1980, con ocasión del Congreso Internacional *Interfinish-80*, celebrado en Kyoto, se le concedió un premio por su labor en este arte y en el año 1981, con ocasión del Congreso Internacional *Ebrats-81*, celebrado en Sao Paulo, le fue otorgada la *Medalla de Oro* del Institute of Metal Finishing de Londres.

Trabajando en su laboratorio de Italia en este *nuevo arte* el profesor Bertorelle ha conseguido diversas esculturas y bajo-relieves tanto de arte figurativo como de abstracto y tanto en temas religiosos como profanos, citadas en dos libros, conteniendo en uno de ellos 42 tablas (figuras) en color^[5] y conteniendo en el otro 38 figuras, asimismo en color.^[6] Las *esculturas electrolíticas*, redondeadas, fueron creadas, principalmente, sobre diferentes tipos de materiales metálicos: hilos o aglomerado de hilos metálicos, pequeñas planchas de cobre o latón y cintas de cobre, de latón, de hierro y de plomo. A veces, como soporte-base de la escultura redondeada escogió tubos de plástico transparente o coloreado o simples trozos de plástico de diversas formas, previamente metalizados. Como placa metálica de base utilizó preferentemente cobre o latón, de 60x60 centímetros de medida máxima. El tamaño de estas esculturas es equivalente a un volumen de 50x50x50 centímetros, variando el peso entre 5 a 25 kilogramos. En lo que a los *bajorrelieves* se refiere, sus dimensiones suelen ser de 60x50 centímetros, aunque en algunos casos, especialmente en trípticos, la largura alcanza los 2 metros.

Con objeto de que el lector pueda apreciar este *nuevo arte* metálico y como homenaje a su introductor y principal ejecutor, en las figuras 5 a 12 se muestran algunos de sus trabajos más característicos.

Varios investigadores galvanotécnicos europeos, entre ellos el autor de este artículo, han conseguido algunos éxitos en

esta técnica, obteniendo figuras abstractas, especialmente del tipo de "estalactitas" y "estalgmitas", de "racimos de uvas" y de "cabezas de ciervo" estilizadas, muy rudimentarias si se las compara con las bellas obras conseguidas por Eugenio Bertorelle y no merecedoras, por tanto, de reflejarse en este



Figura 5. Serpientes (E. Bertorelle).



Figura 6. Red marinera y moluscos (E. Bertorelle).

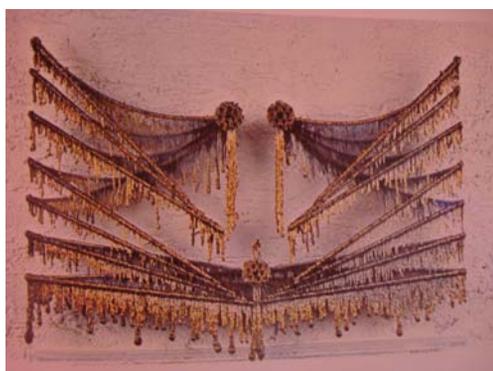


Figura 7. Teatro. Escenario (E. Bertorelle).



Figura 8. Via Crucis. Segunda estación: Jesús llevando la cruz (E. Bertorelle).



Figura 9. Via Crucis. Sexta estación: la Verónica seca el rostro de Jesús (E. Bertorelle).

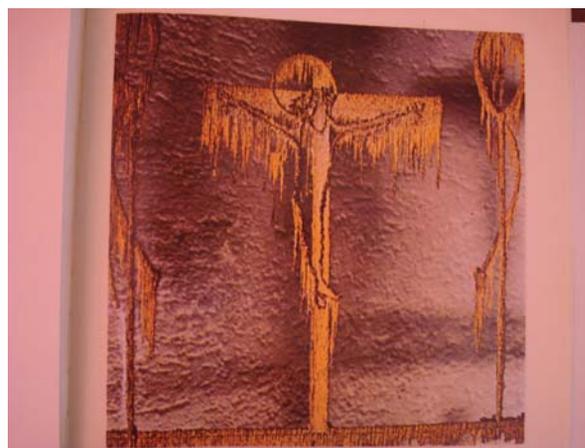


Figura 11. Vía Crucis. Duodécima estación: Jesús muere en la cruz (E. Bertorelle).



Figura 10. Via Crucis. Octava estación: Encuentro de Jesús con las mujeres (E. Bertorelle).



Figura 12. La Resurrección de Jesús (E. Bertorelle).

artículo. De todas formas, con paciencia y dedicación quizá podamos en el futuro alardear de alguna bella figura conseguida con este arte "técnico", animando al propio tiempo a investigadores galvanotécnicos noveles a involucrarse plenamente en él.

Bibliografía

[1] E. Julve, *Electrodeposición de metales: fundamentos, operaciones e instalaciones*, Editorial E.J.S., Barcelona, 2000.

[2] E. Julve, *Electrodeposición y deposición química de metales preciosos*, Vol. I, Editorial E.J.S., Barcelona, 2003.

[3] E. Bertorelle, Comptendu de la Journée Internationale de Conférences sur les récents développements dans les traitements de surface, *Traitements de Surface*, Abril 1965.

[4] E. Bertorelle, "Arte e scienza, scienza e arte", *Galvanotecnica*, Junio 1965.

[5] E. Bertorelle, *Una nuova arte del Metallo*, Ed. Ulrico Hoepli, Milano, 1978.

[6] E. Bertorelle, "Arte sacra in una nuova arte galvanica", *Galvanotecnica*, Vol.XXXIII, nº 1, 1982, 203-217.

XIX SIMPOSIO DEL GRUPO ESPECIALIZADO DE CRISTALOGRAFÍA Y CRECIMIENTO CRISTALINO: CRISTALOGRAFÍA. APLICACIONES INDUSTRIALES

Es un placer invitaros al XIX Simposio del GE3C que tendrá lugar en Torremolinos (Málaga), del 11 al 13 de junio. La presente reunión científica abordará todos los temas relacionados con la cristalografía y la cristalización, campos científico-tecnológicos muy diseminados debido a la amplia aplicabilidad de sus contenidos y técnicas a diversas disciplinas, poniendo una atención especial a las aplicaciones industriales de la cristalografía.

El simposio se celebrará en el Hotel Cervantes**** de Torremolinos.

Dirección Hotel Cervantes:
c/ Las Mercedes s/n Torremolinos
Málaga

Contacto:

Secretaría científica: xixge3c@uma.es

Alojamiento y agencia de viaje (Andalucía Travel):
atravelutl@e-savia.net