



MUSEO NACIONAL DE COSTA RICA

Restauración electroquímica en el hierro

Intervención potenciostática en un clavo de hierro forjado (Sit. G-114 Nc) de la Colección Histórica del MNCR.

Departamento de Protección al Patrimonio Cultural - Museo Nacional de Costa Rica, año 2020

Alonso E. Silva-González, Conservación y Restauración - DPPC-MNCR

Antes de comenzar se extiende un agradecimiento especial al señor José Segura, ingeniero en metalurgia. Por colaborar durante el proceso despejando todas mis dudas sobre la celda electrolítica. También al señor Alfredo Duncan Davis, restaurador del MNCR. Que supervisó el procedimiento y guió la reconstrucción de esta antigüedad.

Resumen

La recuperación científica de lo que fue descartado en el pasado como chatarra, puede convertirse en una pista sobre la tecnología y cultura de nuestro ayer. Ya que existe una fuerte relación entre el individuo y los objetos que elabora. En el Sitio Nicoya (Sit. G-114 Nc), ubicado en la provincia de Guanacaste, se han realizado excavaciones controladas, y entre los años 2015-2017 se recuperaron diversos bienes y artefactos de la época colonial (¿1650-1750? aprox.). Este grupo incluye un *clavo forjado* de aproximadamente 10 cm de largo, cuyo material empezó a desestabilizarse al punto de la fragmentación.

Para corregir este problema se elige utilizar la electrodeposición de hierro como método de restauración. (Este es el depósito catódico obtenido por el paso de una corriente eléctrica dentro de una celda electrolítica. Que en este caso es: la migración de electrones de hierro(Fe) sano desde el extremo positivo(+), hacia el extremo negativo(-) de la celda, donde se conecta el objeto afectado en cuestión). El fluido electrolítico para el procedimiento se prepara después de una serie de ensayos, utilizando una solución de agua desmineralizada y bicarbonato de sodio(NaHCO_3). En la reconstrucción del objeto se usa pegamento de cianocrilato y se resana con una mezcla de este pegamento y bicarbonato de sodio. Y finalmente, el tratamineto de color se hace con pinturas a la ténpera.

Descripción y Contexto

El hallazgo de lo que fue descartado en el pasado como chatarra, puede convertirse en pistas sobre la cultura y la vida de nuestros antepasados. Elementos como un simple clavo oxidado pueden ser muestra de la tecnología de manufactura utilizada en algún momento; aunque también podría ser descartado nuevamente como basura. La conservación de estos elementos hace preguntas sobre la finalidad cultural de conservar algo que, bien puede despreciarse. Tal vez el valor de esta forja está en recordar las “[...]operaciones alquímicas y[...]técnicas arcaicas vinculadas a los procesos de la Materia.” (Eliade, 1974). Lo anterior describe la fuerte relación que existe entre el individuo y los objetos que elabora o crea.

En el Sitio Nicoya (Sit. G-114 Nc), ubicado en los alrededores de la Ermita de San Blas de Nicoya en la provincia de Guanacaste (Imagen 1), se realizan excavaciones desde la década de los 80. Pero entre los años 2015 y 2017 se recuperaron una serie de elementos que incluyen, tanto, restos óseos como diversos bienes y artefactos de la época colonial (¿1650-1750? aprox.). De este material, recolectado de forma científica, se eligen varios artefactos para ser exhibidos en la actual Sala Permanente de Historia Costarricense en el Cuartel Bellavista. Este grupo incluye al ya mencionado clavo de aproximadamente 10 cm de largo, forjado a mano y de cabeza rectangular. Muestra vetas de colores negro-rojizas y textura extremadamente rugosa y áspera. Su textura y forma actual demuestran el implacable paso del tiempo sobre materiales como el hierro(Fe).



Imagen 1. Fotografía de Arnaldo Rodríguez Espinoza, 2011.

Valor

Existen muchas formas de valoración, pero ninguna es absoluta. Esto depende siempre del contexto, y de manera particular también dependerá de cada persona. El acto de apreciación y de aprendizaje que existe en la observación de objetos antiguos es, en realidad, opcional. Pues los “[...]valores no están dados de antemano, los individuos los constituyen en relación a los objetos en cuestión[...].” Ya que el objeto puede ser apreciado o despreciado por todo aquél que tiene contacto con este. El productor, el vendedor, cualquier interesado, así como arqueólogos, historiadores del arte, y por supuesto restauradores. Y es, de estas relaciones que resulta el valor cultural del bien. (Peñuelas Guerrero, 2015).

La cultura se compone de tantas aristas que al fin, un objeto no es sólo tal objeto, “[...]sino que es también signo de algo más, de una realidad que trasciende el plano del ser de aquel objeto.” (Eliade, 1974). Por eso el papel del museo en casos como éste es darle una jerarquización, determinar que este clavo por su contexto y características es más importante que otros. Y se puede elegir por ejemplo, porque muestra elementos para juzgar su tecnología, su historia o su función.

Estado de Conservación del clavo

Esta forja, ya se encontraba expuesta en la Sala de Historia Costarricense, y durante un monitoreo se observa polvo rojizo debajo del clavo, su material metálico empezó a desestabilizarse dentro de la vitrina de exposición. En el caso del hierro(Fe), la corrosión es un producto del proceso de oxidación que sufre el metal. Algunas veces pulverizándose lentamente al convertirse en óxido ferroso(FeO), esto sucede con la humedad natural presente en el aire. La oxidación, a nivel molecular, es la pérdida de electrones, mientras que la ganancia se llama reducción. (Díaz del Castillo Rodríguez, 2008). (El proceso de reducción se volverá muy importante para poder restituir la estabilidad del material y consolidarlo). Al manipular suavemente la pieza se denota su extremo estado de fragilidad, ya que se desprende un fragmento, como se ve en las Imágenes 2 y 3. Se embala y desplaza el objeto al Taller-Lab de Conservación y Restauración del Departamento de Protección del Patrimonio Cultural.



Imagen 2. Fotografía de registro.



Imagen 3. Fotografía de registro.

De manera macroscópica puede observarse que el hierro se encuentra dentro de un proceso activo de oxidación que está muy avanzado y la superficie se pulveriza de forma continua. Los procesos de corrosión pueden degradar la pieza por completo. “El hierro, como metal de transición que es, tiene la capacidad de formar diversos compuestos oxidados[...]. Estos compuestos presentan una variada gama de colores que va desde el mineral prácticamente blanco (akaganeíta), hasta el negro intenso (magnetita), pasando por diversas tonalidades naranjas (lepidocrocita), rojos (hematita), marrones (goethita) y verdes (wustita).” (Castaño; Arroyave, 1997). En el objeto pueden verse varios tonos de color que pueden relacionarse a parte de su estructuración química. Por ejemplo: blancos, rojos intensos, marrones más oscuros y negros. El clavo muestra una fragilidad extrema, ya que se dividió por la mitad y se astillaron partes fragmentando en gran proporción el artículo. También se ven de manera sectorizada pequeños puntos de color cobrizo brillante y formaciones de color blanco (Imagen 4). Esto indica que el material metálico que se utilizó en la forja para la elaboración del clavo era mayormente hierro(Fe), pero pudo también estar contaminado con otros metales que se acoplaron con calor y fuerza dentro de la forma del clavo. Con el tiempo y los procesos naturales de oxidación, esta mezcla heterogénea fue oxidándose a ritmos diferentes y formando distintos subproductos. Esto resultó en la separación de fragmentos del clavo por la presencia de estrías o vetas que lo recorren. Dichas vetas fueron formadas durante el proceso de manufactura (Imagen 4), y ahora están desestabilizando de forma importante el bien histórico.

Teniendo en cuenta que el objeto es mayoritariamente hierro, el proceso de consolidación debe enfocarse en estabilizar este metal. En particular por ser el material más abundante en el objeto y porque su proceso de corrosión pulveriza las estructuras cristalinas del metal.



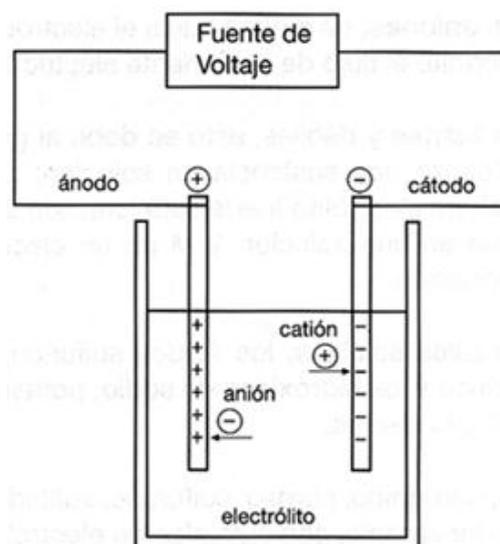
Imagen 4. Detalle de los subproductos de corrosión y sus distintos colores.

Entonces, para consolidar un artículo que se encuentra comprometido de forma profunda materialmente, se debe emplear un método que actúe también profundamente en el material; que penetre más allá de la superficie. Como se dijo antes, “La oxidación es la pérdida de electrones, mientras la reducción es la ganancia de los mismos. Las reacciones de reducción (redox), son aquellas en donde hay una transferencia de uno ó más electrones[...]” ganados por el material metálico. (Díaz del Castillo Rodríguez, 2008). Es decir que se puede desarrollar el proceso opuesto a la oxidación por medios electroquímicos, forzando la migración de iones positivos o cationes hacia el objeto. En vez de desde él, como sucede naturalmente.

Selección de la Metodología-¿Por qué usar métodos electroquímicos?

Para comprender mejor el proceso de intervención se debe explicar la diferencia entre electroquímica, electrólisis y electrodeposición. La electroquímica es una rama de las ciencias fisicoquímicas que estudia la influencia de la electricidad en determinados cuerpos y la obtención de la misma a partir de reacciones químicas. (RAE). La “[...]electrólisis es el nombre que recibe el proceso mediante el cual la energía eléctrica se emplea para producir cambios químicos; mediante una reacción redox no espontánea, donde se hace pasar una corriente eléctrica.” Y la electrodeposición “es el depósito catódico obtenido por el paso de una corriente eléctrica en una célula electrolítica.” (Díaz del Castillo Rodríguez, 2008). Que en este caso, es la migración de electrones de hierro(Fe) desde el extremo positivo(+) de la celda llamado ánodo, hacia el extremo negativo(-) llamado cátodo. Y es precisamente en el lugar del cátodo(-) que se ubica el objeto corroído, recibiendo el flujo de cationes desde el ánodo de sacrificio(+), o metal saludable.

Cuando se restaura se corre el riesgo de asumir que el planeamiento y las conclusiones del proceso serán las mismas. (Peñuelas Guerrero, 2015). Pero controlar los resultados cuando el metal está plenamente deteriorado es inexacto, ya que presenta una plenitud de variables. Incluso “la porosidad juega un papel importante en la difusión de los iones. Al incrementar el número de poros en la pieza, aumentará la difusión de los iones.” ya que hay una mayor superficie. (Bocalandro Rodríguez, 2010). “La técnica de estabilización electrolítica utilizada en el tratamiento de los materiales de origen metálico[...]se fundamenta en los principios de la denominada protección catódica con ánodo de sacrificio.” (Bocalandro Rodríguez, 2010). Lo que quiere decir que el ánodo(+), desde donde fluyen los iones, se desgasta y oxida. Mientras simultáneamente el cátodo(-), que recibe estos iones metálicos convierte el óxido ferroso(FeO) nuevamente en formas sólidas y estables del hierro(Fe), como la ferrita(Fe₂O₄) o la magnetita(Fe²⁺Fe³⁺₂O₄) entre otros. A continuación, en el Esquema 1 se explica la célula electrolítica.



Esquema 1. Diagrama de una celda electrolítica. Autor anónimo, 2018.

“Idealmente, de un tratamiento electroquímico de restauración de metales, cabría exigir que transforme la capa de corrosión formada en el metal de origen. Además, este metal formado, debería generarse de forma compacta, sin la porosidad original de la capa predecesora.” (Anónimo, 2018)

Disolución electrolítica y Corriente eléctrica

Como se muestra en el diagrama anterior, el medio conductor de la corriente eléctrica es líquido. Un electrolito es cualquier líquido que pueda conducir energía eléctrica. En ocasiones el propio fluido puede descomponerse molecularmente, como en el caso del agua separando el hidrógeno y el oxígeno (estos se desprenden en forma de gas sobre la superficie de la celda).

Esta arista se debe determinar: ¿Qué usar como electrolito? Efectivamente el agua con sal es un electrolito, el ácido de las baterías también lo es. (RAE). En mucha de la literatura sobre el tema de electrodeposición sobre hierro(Fe) se recomienda el uso de hidróxido de sodio(NaOH) disuelto en agua desmineralizada. Pero esto es especialmente efectivo con materiales provenientes de medios salinos o con saturación de las destructivas sales de cloruro. Ya que el hidróxido de sodio “para el tratamiento de piezas metálicas de hierro también afecta a la difusión de los iones cloruros, debido a la alta movilidad de los iones hidróxidos que penetran rápidamente en los productos de corrosión,[...]” (Bocalandro Rodríguez, 2010). Pero en contraposición es un material más costoso de obtener y por su alcalinidad extrema es mucho más peligroso. Otra desventaja es que tiende a elevar la temperatura de la célula electrolítica, “generando pérdidas energéticas y reacciones secundarias.” (Díaz del Castillo Rodríguez, 2008).

El fluido electrolítico de la intervención se prepara después de una serie de ensayos utilizando una solución de bicarbonato de sodio(NaHCO₃) en agua desmineralizada. En 4 litros de agua se disuelven 10 gramos por litro. La alcalinidad suave del bicarbonato de sodio ayuda a contrarrestar la acidificación que se da del líquido electroconductor durante el proceso electroquímico. Este fluido se desgasta y descompone durante el proceso, así que debe renovarse diariamente. “Parte del Fe₂O₃ de la superficie del metal[...]se reducirá a hierro metal.[...]El agua se reduce a H₂ mientras parte del O₂ disuelto se reduce a OH-.” (Anónimo, 2018). Es decir durante el proceso parte del hidrógeno(H₂) y el oxígeno(O₂) del agua escapan como gases sobre la superficie del agua, otro grupo se convierte en hidróxidos(OH), permitiendo que el carbonato de sodio(Na₂CO₃) formado por la reacción basifique levemente la acidez y continúe conduciendo la electricidad.



Ecuación de productos y subproductos del bicarbonato de sodio en la electrólisis.

La corriente eléctrica es la fuente de energía del sistema. Idealmente debe controlarse el amperaje y el voltaje con el uso de un potencióstato, que permite modular la densidad de la corriente eléctrica. Esta debe calcularse según el área superficial del objeto. En el caso de un hierro pequeño como este puede graduarse cerca de los 12 voltios y entre los 1.5 o 2 amperios. Siempre, en un proceso de restauración se deben usar “intensidades bajas de corriente, ya que previenen los procesos de evolución de hidrógeno llevados a cabo en la superficie del metal (sobre el cátodo), con lo que evitamos, de esta manera, el deterioro de la zona grafitizada[...].” Si aplicamos altas densidades de corriente, sobre la superficie del cátodo se da una alta evolución de hidrógeno, que actúa como barrera física frenando la difusión de los iones desde el interior de la pieza. Además puede fracturar el objeto y dañar la zona grafitizada. (Bocalandro Rodríguez, 2010).

Para el procedimiento no se cuenta con un potencióstato; en su lugar se usa un cargador de baterías automotrices marca CenTech© de amperaje autorregulado y corriente directa (DC). Esto quiere decir

que los valores exactos del fluido eléctrico se desconocen. Pero el aparato funciona generando corriente entre los 11 y los 15 voltios, y otorgando un máximo de 4 amperios. El voltaje se encuentra cerca del requerido de 12 voltios. Se aprovecha también la posibilidad de graduar el aparato en el modo de carga lenta, ya que esto implica un amperaje menor. Así que es probable que la corriente haya oscilado cerca de los valores necesarios menores a 2 amperios y 12 voltios. Así que ambos parámetros eléctricos son estrictamente desconocidos pero se mantienen cerca de los rangos aceptables para desarrollar el proceso.

En el Esquema 2 se pueden entender las características de estas dos fuerzas eléctricas. Los voltios, representados por la pendiente, son la intensidad de la corriente; a mayor pendiente mayor voltaje. Los amperios son la masa de agua; cuanto más pesada sea la masa de agua, mayor será el amperaje. En este ejercicio particular no se toman en cuenta los ohmios. Que son la resistencia que ofrece un medio a la conducción eléctrica, ya que el medio electrolítico se renueva diariamente.

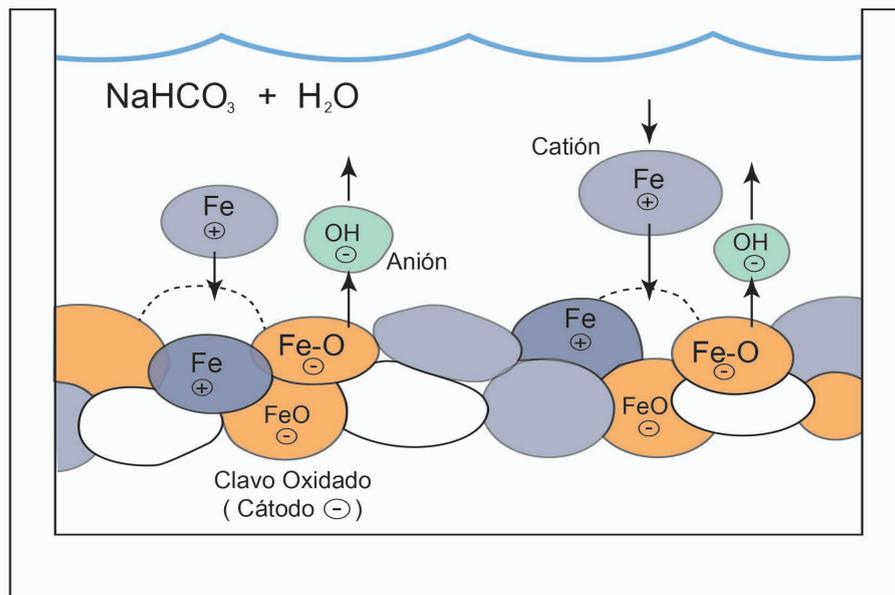


Esquema 2. Relación entre amperios, voltios y ohmios. Google images.

Protección Catódica

Debido a la extrema fragilidad del clavo, la intervención debe hacerse evitando la manipulación mecánica o manual por completo. Así que aunque no se conocen los resultados finales de la intervención con absoluta exactitud, el método electrodepositivo promete solucionar el problema de la oxidación profunda del material. Ya que en este, “partiendo de zonas donde la corrosión está favorecida, se intenta polarizar al metal para llevarlo, si es posible, a una zona de inmunidad, es decir, donde termodinámicamente no se da la corrosión.” Pero esto requiere niveles altos de energía que son casi teóricos. Entonces “[...]lo que se pretende es llegar a zonas donde la velocidad de corrosión sea menor.” (Bocalandro Rodríguez, 2010).

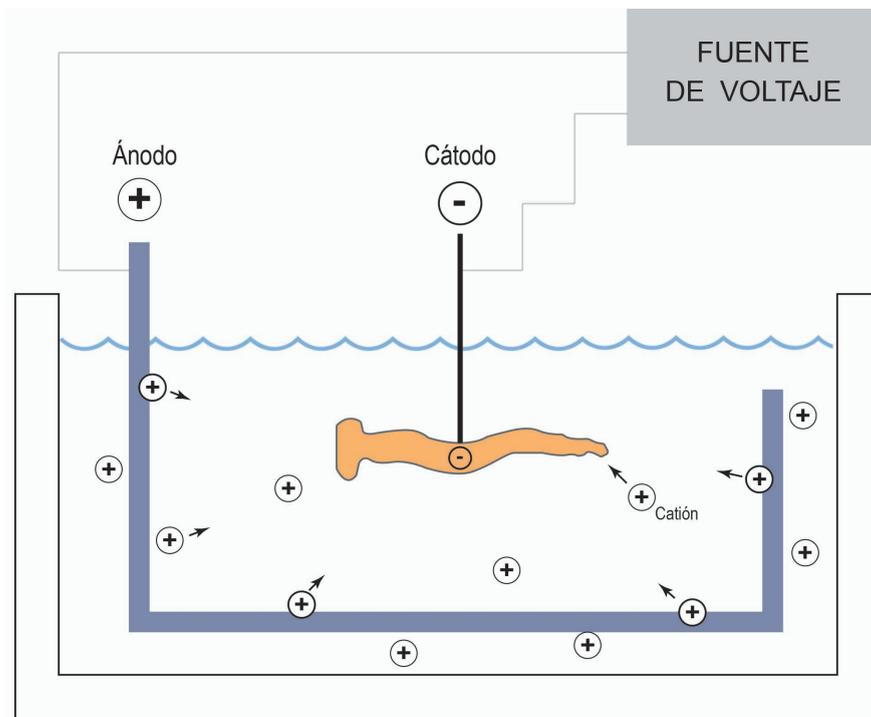
Sin embargo al incluir una corriente eléctrica en el intercambio se necesita nuevamente de mayor energía para que se repita el proceso de oxidación o pérdida de iones, protegiendo el metal tratado. Ya que “[...]se origina un flujo irreversible de materia, desde las altas concentraciones a las bajas. A este flujo se le llama difusión. La difusión tiende a devolver al sistema a su estado de equilibrio[...].” (Bocalandro Rodríguez, 2010). Además de que es un mecanismo autorregulado, es decir que un ion sano simplemente gira alrededor del objeto o cátodo(-) hasta encontrar un lugar adecuado donde enlazarse. Así mismo se quedará girando libremente cuando ya no haya más lugares.



Esquema 3. Superficie molecular del objeto durante el proceso de difusión. Dibujo de Arce Fonseca, M. 2020.

Intervención electroquímica

En el pasado “los minerales y los metales eran considerados como organismos vivos; se hablaba de su gestación, su crecimiento y su nacimiento e incluso de su matrimonio.” (Eliade, 1974). Esta metáfora expresa las cualidades fisicoquímicas del metal y los cambios que sufre a lo largo de su *vida*. En ocasiones estas mutaciones pueden ser conducidas con un propósito. En este caso, el procedimiento “[...]que se conoce como protección catódica con ánodos de sacrificio, consiste realmente en la creación de una celda electrolítica en la que la pieza metálica a proteger actúe forzosamente de cátodo(-), mientras que el metal anódico(+) se sacrifica.” (Bocalandro Rodríguez, 2010).



Esquema 4. Diagrama de tanque con el objeto suspendido al centro. Dibujo de Arce Fonseca, M. 2020.

Para el tanque de electrólisis se elige un contenedor de material plástico y blanco. Ya que este no debe ser electroconductor; y el color blanco permite controlar visualmente el proceso y tomar fotografías más claras del procedimiento. El objeto debe estar suspendido en la mitad superior del agua y en el centro del tanque, para que el procedimiento de migración iónica sea regular y eficiente. La difusión debe suceder libremente alrededor de este, y preferiblemente de forma continua.

El ánodo de sacrificio se elabora de hierro dulce en buena condición. Se fabrica a partir de una varilla de construcción corrugada. Esta se dobla de manera que se encuentre inscrita dentro del perímetro del tanque. Formando un circuito con cuatro segmentos verticales en cada esquina y dejando un extremo que sobresale hasta la superficie donde se conecta el lado positivo(+) de la fuente de corriente directa(DC). Para conectar el clavo al circuito y suspenderlo en el centro del tanque se elabora una parrilla cóncava con alambre de hierro. Que funciona para que repose suavemente y tenga varios puntos de contacto eléctrico.

Inmediatamente se inicia el proceso de electrodeposición. Es importante recordar que la electricidad recorre desde el ánodo (metal de sacrificio) o polo positivo(+), hacia el cátodo (objeto) o polo negativo(-). Por eso la difusión de iones se da en solo esa dirección reconstituyendo la estructura metálica del clavo. Esto puede observarse en las Imágenes 5 y 6. Donde en la primera se aprecia la celda electrolítica, y en la siguiente se aprecian un fragmento del clavo en un fuerte estado de oxidación.



Imagen 5. Celda de electrólisis.



Imagen 6. Objeto durante el proceso.

Los fragmentos de este clavo se sumergieron en el tanque de electrólisis un total aproximado de 108 horas. Es normal ver burbujas que se liberan desde los cuerpos metálicos, esto se debe al intercambio de iones en las superficies metálicas y la destrucción de las moléculas del agua(H_2O). El procedimiento consolida las partes reconstituyendo la superficie y otorgando un oscurecimiento al material. Estos compuestos son formas más estables del óxido de hierro como la ferrita, la magnetita o le hematita. “Con la protección catódica se consigue eliminar todos los ánodos de la superficie metálica, es decir, se elimina todas las zonas donde se están llevando a cabo procesos de oxidación en la superficie del objeto metálico[...].” (Bocalandro Rodríguez, 2010). Así se puede conseguir una reacción profunda y que actúa de forma casi automática dentro del tanque. En la Imagen 7 se puede ver la coloración y estado del clavo al principio del proceso. Mientras que en la Imagen 8 se aprecia la superficie consolidada y la coloración oscurecida durante etapas más avanzadas del proceso.



Imagen 7. Objeto al principio del procedimiento.



Imagen 8. Objeto avanzado en el proceso electrolítico.

Una vez consolidados los fragmentos, se procede a enjuagarlos en agua desmineralizada y se someten a un secado por calor. Esto evita que empiecen nuevos procesos de oxidación atmosféricos recién retirados del tanque. Con todas las partes en condiciones de estabilidad material se debe proceder a reconstruir el clavo para devolverle su integridad. En la Imagen 9 se precisan las fallas, vetas y vacíos que quedaron en el clavo.



Imagen 9. Vetas y vacíos en la estructura del clavo.

Reconstrucción

Para reconstruir este bien histórico se elige usar pegamento de cianocrilato, que es retráctil con la aplicación de acetona. Este pegamento es transparente, poderoso y de secado rápido. Se alinean los diferentes fragmentos del clavo, se colocan y enfilan en su lugar con el adhesivo. Reconstituyendo la forma esencial del bien. En las Imágenes 10, 11 y 12 se puede ver el clavo reconstruido por este medio.



Imagen 10. Clavo reconstruido con pegamento de cianocrilato.



Imagen 11.



Imagen 12. Clavo reconstruido con pegamento de cianocrilato.

Una vez armado quedan varias de las vetas vacías y otros espacios o lagunas que se perdieron por la delicada condición del objeto. Para ayudar a la consolidación del bien y resanar las lagunas se usa una mezcla de pegamento de cianocrilato con bicarbonato de sodio. (Esta intervención es reversible al sumergir el clavo en acetona). El bicarbonato ayuda a mantener cualidades alcalinas en el bien que minimizan la oxidación, además esta pasta refuerza las fracturas del clavo fortaleciendo y resanando la pieza; como se aprecia en las Imágenes 13 y 14.



Imagen 13. Objeto resanado con mezcla de bicarbonato de sodio y cianocrilato.



Imagen 14. Objeto resanado con mezcla de bicarbonato de sodio y cianocrilato.

La siguiente fase es la reintegración cromática, que se hace mediante la técnica de *puntinatto* o puntillismo utilizada ampliamente en la restauración de arte y bienes en general. Se usa pintura a la témpera de alta calidad y se aplica una paleta que va de los colores siena y rojos a los tierras y negros. Siempre es importante recordar que la aplicación de color se efectúa solamente sobre las áreas resanadas, nunca sobre la superficie del bien. (Brandi, 1963). Es decir la pintura se aplica únicamente sobre la mezcla de pegamento de cianocrilato y bicarbonato de sodio. Por último el objeto se calienta suavemente con una pistola de calor y se recubre superficialmente con una emulsión cerosa transparente que lo protege de las condiciones ambientales. Esta capa debe rehacerse periódicamente para prevenir nuevos focos de oxidación. En las Imágenes 15, 16, 17 y 18 se muestra el resultado final de la intervención.



Imagen 15. Fotografía final.



Imagen 16. Fotografía final.



Imagen 17. Fotografía final.



Imagen 18. Fotografía final.

Nota Final

Es significativo subrayar la posibilidad ofrecida al ser humano de “las sociedades arcaicas de insertarse en lo sagrado mediante su propio trabajo, su calidad de homo faber, de autor[...]. Estas experiencias primordiales se han conservado y transmitido durante numerosas generaciones gracias a los «secretos del oficio»[...]” (Eliade, 1974). Los procesos de conservación buscan preservar el producto de estas experiencias ancestrales, permitiéndole a los observadores e investigadores acceder de alguna forma al pasado.

El desarrollo de los procesos electroquímicos en la ciencia y propiamente en la restauración tienen un origen profundo y lejano. Relacionado a la antigua búsqueda de quehaceres mágicos y milagrosos. “Fue probablemente el encuentro con[...] las mitologías y las técnicas de los mineros, fundidores y herreros lo que verosíblemente dio lugar a las primeras operaciones alquímicas.” (Eliade, 1974). Operaciones que poco a poco han explicado un mundo oculto, de fuerzas complejas y energías invisibles. La electricidad y los metales poseen una relación infinita, que ha existido siempre, y persistirá en la naturaleza de Nuestro Universo.

Bibliografía

- Anónimo. (Mayo 2018). *Restauración potencioestática de objetos metálicos: hierro*. https://nanopdf.com/download/restauracion-potencioestatica-de-objetos-metalicos-hierro_pdf
- Bocalandro Rodríguez, A. (Agosto 2010). *Estabilización de objetos metálicos de procedencia subacuática por métodos electroquímicos*. España: Revista del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, N° 76, 78-89.
- Brandi, C. (1963). *Teoría de la restauración*. España: Alianza Forma Editorial.
- Castaño, J.G, y Arroyave, C. (Abril 1997). *La funcionalidad de los óxidos de hierro*. Colombia: Revista de metalurgia de la Universidad de Antioquía, Medellín. <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es>
- Díaz del Castillo Rodríguez, F. (2008). *Lecturas de ingeniería 7, principios de electrodeposición*. México: UNAM - Cuautitlán, Laboratorio de Tecnología de Materiales.
- Eliade, M. (1974). *Herreros y Alquimistas*. España: Alianza Editorial, S.A.
- Peñuelas Guerrero, G. (2015). *¿En qué casos se valora, se revaloriza y se revaloriza el patrimonio metálico?* España: II Congreso de conservación y restauración del patrimonio metálico.