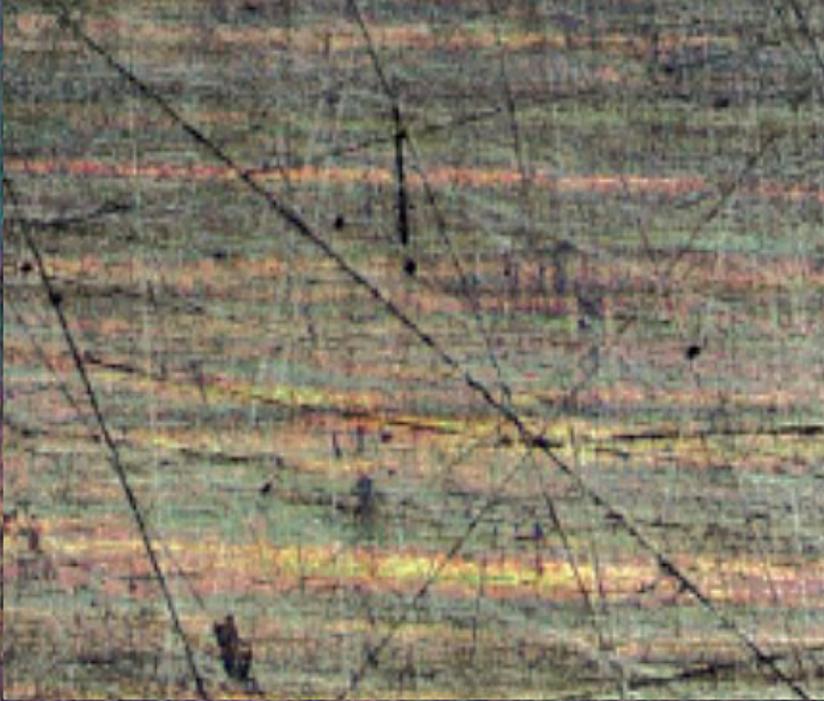
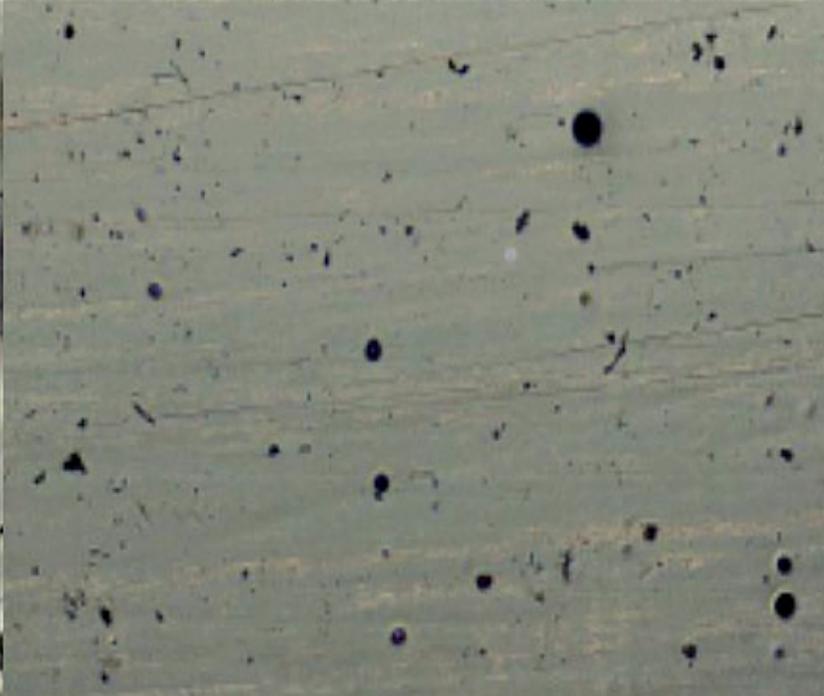
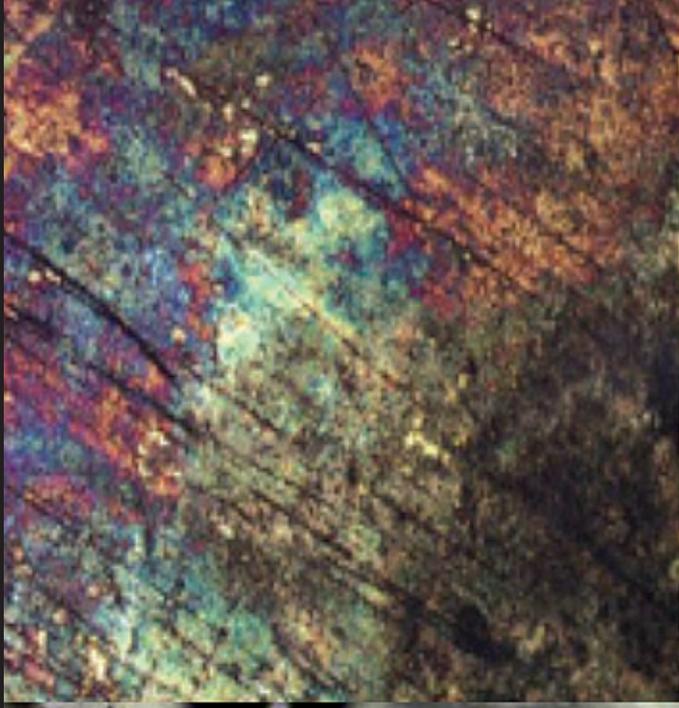
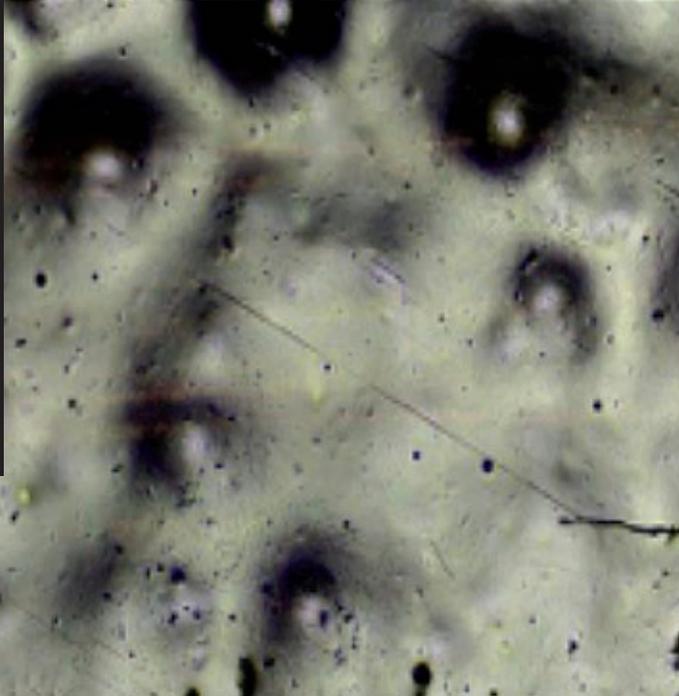


Microscopía óptica

Relieve escultórico *Imagen de México del Museo Nacional de Antropología, Ciudad de México. Microfotografías: Aline Moreno. ©INAH.*



Evaluación de recubrimientos de protección para metales. Caso de estudio: *Imagen de México*, relieve escultórico del Museo Nacional de Antropología. Primera etapa

Aline Moreno Núñez*, Arturo A. Egea Salas*, Gilda E. Salgado Manzanares*, Mauricio B. Jiménez Ramírez* y Armando Arciniega Corona**, Nora A. Pérez Castellanos**

*Laboratorio de Conservación, Museo Nacional de Antropología

**Laboratorio de Conservación, Diagnóstico y Caracterización Espectroscópica de Materiales, Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural

Instituto Nacional de Antropología e Historia

Resumen

Uno de los íconos del Museo Nacional de Antropología es la fuente ubicada en el patio central del recinto, la cual consta de una columna de concreto cubierta por un relieve escultórico de latón. Este relieve lleva por título *Imagen de México* y fue realizado por los hermanos José y Tomás Chávez Morado. Al relieve se le han aplicado diferentes tratamientos de conservación para inhibir la corrosión y de capas de protección. Sin embargo, los tratamientos se han visto afectados por las condiciones ambientales que han cambiado la apariencia general del relieve. Por tal motivo, se emprendió una investigación sobre diferentes materiales comerciales y tradicionales usados en la restauración de metales para determinar la estrategia de conservación. Los materiales se evaluaron mediante dos grupos de probetas, mismos que fueron sometidos a procesos de envejecimiento acelerado e in situ. La caracterización se llevó a cabo mediante microscopía óptica, colorimetría y espectroscopía de infrarrojo (FTIR- módulo de reflexión) para determinar cambios en la apariencia y los cambios químicos durante el proceso de envejecimiento. Los resultados de este estudio permitirán determinar el material con mejor desempeño para el tratamiento del relieve escultórico en las condiciones específicas a las que está expuesto.

Palabras clave

Conservación, metal, recubrimiento de protección, caracterización material.

Abstract

One of the iconic objects at the Museo Nacional de Antropología in Mexico is the monumental fountain located at the main court, which has a concrete pillar covered with a brass relief. This relief is titled *Imagen de México* (Image of Mexico) and was manufactured by the Chávez Morado brothers. The metal relief has been treated by different conservation procedures including diverse protective coatings and corrosion inhibitors. However, these treatments had been affected by environmental conditions that change the general appearance of the relief. Therefore, a research on conventional and new commercial materials for metal protection was proposed in order to specify a conservation strategy. The evaluation of materials was performed on two sets of brass laboratory tests: one set was submitted to an accelerated aging process and the second set was located in situ. The characterization methodology involved optical microscopy, colorimetric and infrared spectroscopy analysis (FTIR-reflection module) in order to define appearance and chemical changes during the aging process. The results of this study have allowed determining the best performance material under the specific conditions of the relief.

Keywords

Conservation, metal, coatings of protection, material characterization.



Introducción

La conservación del patrimonio metálico es un ámbito en constante investigación. Los casos de las capas de protección se prueban periódicamente con el fin de encontrar las opciones más duraderas, menos tóxicas y con acabados que no modifiquen la apariencia de cada obra. El *Paraguas*, obra icónica ubicada en el patio central del Museo Nacional de Antropología (MNA), tiene la doble función de ser una fuente y una cubierta que protege a los visitantes en su tránsito por las distintas salas del museo. El relieve *Imagen de México*, elaborado en latón y adosado al fuste del *Paraguas*, plasma en su superficie una interpretación visual de la idea de Torres Bodet sobre la historia naciente de México como nación. La obra es un punto de referencia dentro del recinto y, sin importar los intereses de los visitantes, es inevitable y casi obligado apreciar el relieve escultórico. Por lo tanto, se puede decir que más de 2 millones de personas lo visitan anualmente.

El relieve recibió un tratamiento de restauración en la década pasada al sustituirse el recubrimiento que lo protegió hasta finales del siglo XX, por uno más respetuoso hacia la intención artística de los hermanos José y Tomás Chávez Morado y que permitiera hacer lucir el metal constitutivo. El material de recubrimiento de ceras ayudaría a recuperar su apariencia original. La problemática que presenta el nuevo recubrimiento es que al ser sometido a la intemperie y a la humedad constante recibida por la cortina de agua que lo rodea, a lo largo del tiempo y durante los mantenimientos subsecuentes, se ha detectado un cambio del color y textura en la cera, lo que ha causado un problema de apreciación estética (Figura 1).



Figura 1. Comparación del acabado del relieve escultórico. Izquierda - Recubrimiento recién aplicado. Derecha - Recubrimiento deteriorado. Imágenes: Armando Arciniega, ©CNCPC-INAH, 2016.

El recubrimiento fue modificado en diferentes ocasiones: documentalmente se registró la adición de ceras naturales¹ a la receta original, a modo de aditivos para alcanzar mayor plasticidad durante la sustitución de la capa de protección. Asimismo, al momento de estudiar las características del sistema dinámico de la fuente, se determinó que el pH del agua es alcalino con presencia de iones carbonato (CO_3^{2-}) y sulfato (SO_4^{2-}) y que en ella existen microorganismos.

Debido a lo anterior, se decidió iniciar una investigación para seleccionar un recubrimiento que brindara protección y no cambiara su apariencia en un periodo menor a un año. Para esto se sometieron diferentes recubrimientos, tanto comerciales como otros utilizados comúnmente en restauración de metales, a pruebas de envejecimiento y para así poder caracterizar los cambios en estos materiales.

Desarrollo experimental

La experimentación estuvo orientada a determinar un material adecuado para su uso como recubrimiento del relieve escultórico con un tiempo de vida mayor a un año. Se probaron siete materiales mediante la metodología que se describe a continuación.

Preparación de probetas

Se cortaron nueve probetas de 5 x 15 cm y nueve probetas de 4 x 4 cm de lámina de latón aleación 260 ASTM B-36 (70% Cu y 30% Zn), las cuales se pulieron con lija grano 2000 en una pulidora PRESI Le Cube. Se lavaron con agua destilada y acetona para desengrasar. Las probetas se patinaron artificialmente a 60°C. Inicialmente se aplicó una disolución de sulfuro de potasio (K_2S) al 2% m/V y amoníaco (NH_3) 13% m/V, seguida de una disolución de sulfato de cobre (CuSO_4) al 1% m/V. El procedimiento se repitió hasta obtener una pátina homogénea color café. A 16 de estas probetas se les aplicó una disolución etanólica 1% m/V de benzotriazol (BTA) como inhibidor de corrosión y se secaron con pistola de aire. A las dos probetas restantes no se les aplicó inhibidor de corrosión ni recubrimiento y se les denominó *testigos*.

Preparación y aplicación de recubrimientos

Los recubrimientos que se aplicaron a las probetas se enumeran a continuación:

Recubrimientos de polietileno

Se utilizaron tres recubrimientos: cera microcristalina de alto punto de fusión (75°C), cera microcristalina de bajo punto de fusión (68°C) y cera de polietileno (105°C). Cada uno de estos materiales se fundió por separado y se le adicionó gasolina blanca suficiente para formar una pasta manejable a temperatura ambiente. Estos recubrimientos se aplicaron con muñeca en caliente sobre la superficie de dos probetas y se bruñeron después de la aplicación.

Recubrimientos acrílicos

Incralac (Paraloid B-72® en xilol 10% m/V y benzotriazol en etanol 1% m/V), Nervión Advance 400® (75% V/V en agua destilada) y Carboline®. Se aplicaron dos manos de cada uno de estos materiales con pincel de aire y se dejó evaporar el disolvente.

¹ Las ceras naturales son ésteres de ácidos carboxílicos de cadena larga que tienen solubilidad limitada en agua (McMurry, 2012: 1088, 1089). Se utilizó cera de carnauba, cera de abeja y cera virgen.



Recubrimiento silíceo

SiO₂ Metal protect: El producto se aplicó directamente del envase con torunda de algodón hasta humedecer toda la superficie y se dejó evaporar el disolvente. Este proceso se realizó dos veces cambiando la dirección en que se frotaba la torunda humedecida con el producto.

Procesos de envejecimiento

Envejecimiento in situ

Nueve probetas (5 x 15 cm) se colocaron en la parte inferior de la fuente atadas con hilo nylon sobre una base de acrílico, de manera que rodearon toda la base. La exposición de las probetas al envejecimiento se realizó durante cuatro meses.

Envejecimiento acelerado

En una cámara de envejecimiento acelerado, diseñada en el Laboratorio de Conservación, Diagnóstico y Caracterización Espectroscópica de Materiales (CODICE) de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC), se sometieron nueve probetas (4 x 4 cm) a diez días de envejecimiento acelerado. Para ello se hizo una adaptación a la norma ASTM G 154-98 (ASTM G 154, 1998: 724-732). El proceso tuvo un ciclo de envejecimiento de cuatro horas de luz UV, seguidas de cuatro horas de luz infrarroja y cuatro horas de mojado.

Caracterización

La caracterización se realizó antes y después de los procesos de envejecimiento para identificar las variaciones debidas a las transformaciones de los materiales.

Microscopía óptica

Se fotografiaron regiones puntuales de cada probeta con un microscopio óptico Zeiss Primotech utilizando luz reflejada con aumentos de 5X y 10X.

Colorimetría

Se realizaron mediciones de colorimetría con un espectrofotómetro Konica Minolta CM-2500d para determinar los parámetros L*, a* y b* del espacio de color CIELab

Espectroscopía

Se obtuvieron mediciones de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR por sus siglas en inglés) en modo de reflexión con un equipo Bruker Alpha. La adquisición de datos se hizo con 24 barridos en el intervalo 4000 a 500 cm⁻¹ con resolución de 4 cm⁻¹.

Resultados y análisis

Considerando que en conservación es deseable que la apariencia del objeto no cambie (color, brillo, textura, etcétera), debido a que esto puede interferir en la interpretación de la obra, el análisis visual y la microscopía óptica fueron los principales parámetros a considerar para la elección del recubrimiento con mejor desempeño. Los análisis de colorimetría y FTIR, fueron complementarios.

Microscopía óptica

Con microscopía se observó la diferencia en superficie y, debido a la transparencia de las capas de protección, el metal base. Las microfotografías obtenidas se presentan en la Tabla 1, donde se observa que en las ceras no hubo un cambio de apariencia. Las diferencias en el metal base se debieron a un proceso de corrosión que sólo se observó mediante el uso del microscopio.

En los recubrimientos acrílicos (Carboline, Nervión advance 400 e Incralac) se observó debido a la humedad del medio, la formación de vesículas que al perder la humedad formaron crestas y valles en superficie que en algunos casos dejaron el metal descubierto al romperse. El recubrimiento de SiO₂ Metal protect presentó varias zonas de corrosión.

RESULTADOS DE MICROSCOPIA ÓPTICA				
Material / Proceso	Testigo	Cera de alto punto de fusión	Cera de bajo punto de fusión	Cera de polietileno
Sin envejecer				
Envejecimiento in situ				
Envejecimiento acelerado				
Material / Proceso	Incralac	Carboline®	Nervión Advance 400®	SiO ₂ Metal Protect®
Sin envejecer				
Envejecimiento in situ				
Envejecimiento acelerado				

Tabla 1. Resultados de microscopía óptica. Microfotografías: Aline Moreno, ©INAH.

Colorimetría

El cambio de color después del proceso de envejecimiento, acelerado e in situ, se muestra en la Tabla 2. Se observa que en el envejecimiento acelerado existe un cambio de color más drástico, por lo que se considera que las condiciones empleadas en la cámara de envejecimiento son más severas a las que existen en el relieve.



Considerando que existe un cambio de color perceptible por el ojo humano después de $\Delta E > 2.3$ (Sharma, 2003: 31), sólo las ceras microcristalinas de alto y bajo punto de fusión no tuvieron un cambio de color en el envejecimiento in situ. Los cambios de color en los recubrimientos se observaron macroscópicamente como blanqueamientos.

RECUBRIMIENTO	ΔE	
	Envejecimiento in situ	Envejecimiento acelerado
Testigo	26.29	24.34
Cera de alto punto de fusión	1.05	11.68
Cera de bajo punto de fusión	2.68	11.96
Cera de polietileno	21.00	24.63
Incralac	19.36	26.02
Carboline	5.89	14.19
Nervion Advance 400	15.12	24.99
SiO ₂ Metal protect	8.49	10.65

Tabla 2. Diferencia de color ΔE .
Imagen: Aline Moreno, ©INAH.

FTIR

Con espectroscopía de infrarrojo se observan las vibraciones moleculares de los recubrimientos. Después del envejecimiento, no se observaron cambios en las moléculas. Sin embargo, se detecta la acumulación de agua y tierra (silicatos) en todas las probetas (Nakamoto, 2009: 278). En la Figura 2 se puede observar como ejemplo el espectro de infrarrojo de cera microcristalina de alto punto de fusión.

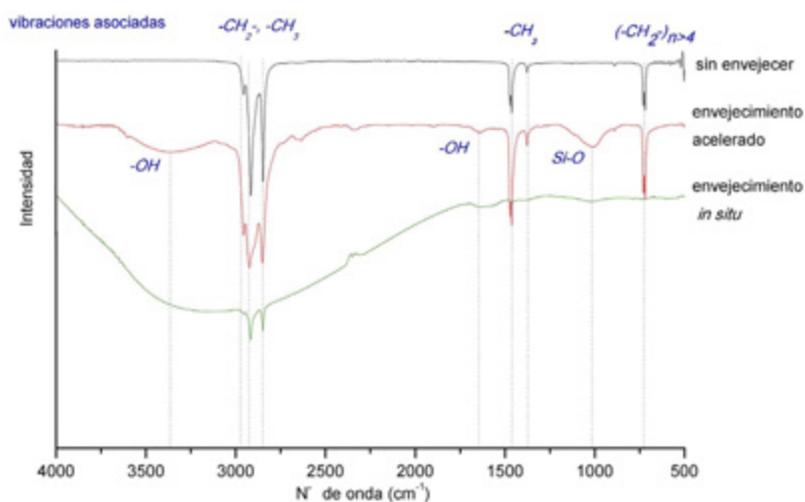


Figura 2. Espectro de infrarrojo de cera microcristalina de alto punto de fusión. Imagen: Aline Moreno, ©INAH.

Conclusiones

En la actualidad, si bien existen numerosos recubrimientos de protección para los bienes culturales metálicos, éstos tienen un pobre desempeño cuando se trata de objetos en exteriores expuestos a humedad constante, como es el caso del relieve escultórico *Imagen de México* del MNA.

En esta etapa de investigación se probaron diferentes materiales de recubrimiento, comerciales y tradicionales en la restauración de metales. Se observó la alteración que sufre cada material después del proceso de envejecimiento y se determinó que las ceras microcristalinas, de alto y bajo punto de fusión son las que presentan mejores resultados. Sin embargo, también se apreció que la cera de alto punto de fusión es más rígida y favorece la formación de grietas en superficie que, a largo plazo, generan escamas. La cera de bajo punto de fusión es más susceptible al daño mecánico por el constante flujo de agua. Por esta razón se ha propuesto una segunda etapa en la que se pruebe la mezcla de ceras en proporción 75:25 para aprovechar las características de ambas.



Referencias

Annual Book of ASTM Standards (1998) *ASTM G 154 Standard practice for operating fluorescent ultraviolet (UV) lamp apparatus for exposure of nonmetallic materials*, West Conshohocken, ASTM International.

McMurry, John, (2012) *Química orgánica*, 8a edición, México, CENGAGE Learning.

Nakamoto, Kazuo (2009) [1963] *Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds*, New Jersey, John Wiley & Sons.

Sharma, Gaurav (2003) *Digital Color imaging handbook*, New York, CRC Press.

Agradecimientos

Este trabajo se llevó a cabo gracias al proyecto Conacyt Infra-2014-225845 y al proyecto INAH 11852.

