

Universidad Nacional de las Artes

Departamento de Artes Visuales

Licenciatura en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

Los recubrimientos protectores en la restauración del patrimonio metálico

María Jimena Galliano

Directoras: Cynthia García - Cecilia Carnevali

2022

Índice

Introducción	pág. 4
Capítulo I “Metales”	
1.1. Características y propiedades de los metales	pág. 6
1.2. El bronce	pág. 6
1.3. La fundición de bronce	pág. 7
1.4. Tipos de corrosión	pág. 9
Capitulo II “Protección superficial de los metales”	
2.1. Materiales Orgánicos	pág. 15
2.1.1. Materiales poliméricos: Resinas: Paraloid B72, Paraloid B67	pág. 16
2.1.2. Materiales parafinicos: Cera microcristalina	pág. 19
2.1.3. Secado	pág. 19
Capitulo III “Parte Experimental”	
3.1. Preparación de las probetas	pág. 21
3.2. Ensayos de aspecto	
3.2.1 Color	pág. 23
3.2.2 Espesor de película seca	pág. 24
3.1.3 Masa	pág. 24
3.3. Ensayos de envejecimiento en cámaras climáticas	
3.3.1 WeatheroMeter	pág. 24
3.3.2 Niebla Salina	pág. 26
3.4. Caracterización de las películas superficiales a través de medidas electroquímicas	
3.4.1. Resistencia de Polarización Lineal (Rp)	pág. 27
Capitulo IV “Evaluación de los Resultados”	
4.1. Ensayos de aspecto	
4.1.1. Color	pág. 28
4.1.2. Espesor de la película seca	pág. 30

4.1.3. Masa	pág. 31
4.2. Ensayos de envejecimiento en cámaras climáticas	
4.2.1 WeatheroMeter	pág. 32
4.2.2 Niebla Salina	pág. 32
4.3. Caracterización de las películas superficiales a través de medidas electroquímicas	
4.3.1. Resistencia de Polarización Lineal	pág. 33
Capítulo V: Conclusiones	pág. 35
Capítulo VI: Fuentes y Bibliografía	pág. 37

INTRODUCCIÓN

Los *metales* han tenido un papel fundamental en la evolución de la humanidad, hasta el punto de separar eras históricas. Las sociedades primitivas utilizaron este material para la obtención de *herramientas* que facilitaron su supervivencia, elementos de la vida cotidiana y, con los avances de los procesos metalúrgicos comenzaron con las *obras de arte*; desde adornos hasta pequeñas esculturas con significación ritual.

Posteriormente, el metal se ha utilizado para la realización de esculturas y *monumentos* que sirven para conmemorar hechos históricos, figuras, imágenes religiosas, lugares y personajes reconocidos en la identidad cultural de una sociedad o país.

Las esculturas y monumentos tienen como principal forma de expresión la tridimensionalidad, es decir el volumen en el espacio. Se pueden combinar varias obras escultóricas unidas por una base hecha del mismo material formando un *grupo escultórico*; mientras que una figura aislada o varios grupos escultóricos de grandes dimensiones se combinan con un conjunto de elementos arquitectónicos conocido como *monumentos*. Por ser de fácil acceso al público cumplen una función pedagógica, estética, social y patriótica.

Los materiales metálicos obtenidos por el hombre son inestables y se degradan en el tiempo transformándose lentamente en su primitivo *estado mineral*, perdiendo su funcionalidad, tanto mecánica como estética. Al fenómeno causante de la degradación se lo conoce como *corrosión*, proceso que puede generar pérdida de material y productos de corrosión que forman una capa de patina natural sobre la superficie metálica durante la exposición prolongada al medio circundante. La misma se puede acentuar según la ubicación geográfica de la obra y la contaminación atmosférica presente, especialmente en las zonas urbanas.

Si bien, la corrosión es inevitable, se pueden utilizar tratamientos superficiales y una serie de productos químicos para ralentizarlo. Desde la antigüedad, se usaron productos naturales a base de aceites y ceras para lograr este fin. Aunque, recién a comienzos del siglo XX, se empezaron a utilizar *resinas sintéticas* como capas superficiales protectoras.

Las resinas sintéticas forman una película polimérica a partir de la disolución de una o más resinas en un aceite o sustancia volátil que se aplica sobre la superficie de un objeto. Dentro

de los productos más usados actualmente, cabe mencionar a la cera microcristalina y productos comercialmente identificados como *Paraloid B72* y *B67*¹; estos últimos están formulados con resinas acrílicas. En cambio, la *cera microcristalina* es un material parafínico, que presenta formulaciones sintéticas similares a las ceras de origen natural pero más estable.

Los recubrimientos protectores tienen como función principal generar una barrera, “aislar” la superficie metálica frente a las condiciones ambientales adversas. La segunda función consiste en *dar brillo e intensidad a los colores*. La capa protectora debe ser *estable* en el tiempo y no interactuar químicamente con el metal, garantizando la compatibilidad de los materiales, cierta durabilidad y la reversibilidad del producto; es decir eliminar el barniz aplicado sin recurrir a métodos que generen variaciones o daños a la pieza². Tampoco, debe *ocultar o interferir con su aspecto* a la superficie original del sustrato metálico. Por ese motivo tienen que ser transparentes, incoloros y elásticos. Su aplicación depende de las características del soporte metálico, del producto y la técnica de aplicación.

Este trabajo propone un *análisis comparativo* entre los recubrimientos superficiales que se utilizan con mayor frecuencia, a nivel nacional, en la conservación y la restauración de bronce. Se plantea evaluar la capacidad protectora en el tiempo, caracterizando las películas superficiales utilizando ensayos de envejecimiento acelerado.

El *objetivo principal* de este informe es determinar el grado de protección de cada recubrimiento sobre piezas de bronce; además, proveer de mayor información acerca del uso de este tipo de productos para futuras intervenciones de conservación y restauración.

Se considera como *hipótesis* que la utilización de los recubrimientos formulados con resinas acrílicas y polímeros sintéticos brindan mayor capacidad protectora en monumentos de bronce a la intemperie; en comparación a los recubrimientos a base de material parafínico.

¹ Dato obtenido de Diccionario Técnico Askal de Materiales de Restauración

² Establecido en el artículo N° 9 de obligaciones hacia el patrimonio cultural. Directrices profesionales de E.C.C.O: La profesión y su código ético.

➤ Capítulo I “Metales”

1.1 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LOS METALES

Los metales son elementos químicos que se caracterizan por ser buenos conductores de la electricidad y del calor, generalmente reflejan la luz de una forma característica (brillo metálico), son sólidos a temperatura ambiente (con excepción del mercurio y el galio, que son líquidos) y tienen una elevada densidad.

Los metales se obtienen a partir de los minerales. Mientras que, algunos metales se encuentran *puros o nativos* en la naturaleza como el oro (Au), la plata (Ag), platino (Pt), y cobre (Cu); otros, son conocidos como *aleaciones*, es decir que son una mezcla homogénea entre dos o más elementos químicos siendo uno de ellos un metal. Las aleaciones se utilizan para mejorar propiedades de los elementos constitutivos obteniendo un compuesto con mayor resistencia mecánica, resistencia a la corrosión o dureza. Por ejemplo, el acero presenta una mayor dureza que el hierro por medio del agregado de carbono a la aleación, sin embargo el hierro es su metal base.

1.2 EL BRONCE

El bronce es la aleación base cobre que se emplea desde la antigüedad con mayor frecuencia para la fabricación de monumentos y esculturas. Presenta una mayor concentración de cobre en su composición química y tiene contiene estaño como aleante principal. La composición básica del bronce utilizado en la realización de esculturas y monumentos es el 87% de cobre, un 8% de estaño y 5% de plomo³. Se usarán estas proporciones para elaborar las probetas de estudio.

Cada aleación, al tener distinta composición, adquiere una tonalidad diferente. Un mayor contenido de estaño genera tonos más dorados, mientras que se generan tonos más rojizos con un menor contenido de estaño.

³ Dato obtenido de Esculturas de Bronce. Corrosión y Patina

Los artistas eligen este material por su valor estético presente en el color natural y las gamas de patinas que se pueden obtener; por su facilidad para fundirse y copiar los detalles del molde plasmado.

1.3 LA FUNDICIÓN DE BRONCE

La fundición artesanal fue variando a lo largo del tiempo. Actualmente los minerales que más se emplean son cuprita, covelina, calcopirita, bornita (óxidos y sulfuros de cobre) con estannita y casiterita (óxidos de estaño), esfalerita y cincita (sulfuro de zinc y óxido de zinc) también galena (sulfuro de plomo). Luego, se adicionan sustancias como antioxidantes, escorificantes y fluidentes en diferentes proporciones según lo que busque el fundidor. La fundición de bronce se puede realizar a partir de los minerales mencionados o de chatarra de bronce. El fundidor utiliza los diagramas de fase, en los cuales se establece los puntos de fusión del cobre y del aleante principal; así como los rasgos de fusión y solidificación más apropiados para el vaciado dependiendo de las tecnologías con las que se cuente.

Las esculturas y monumentos se pueden elaborar a partir de la fundición de bronce en hornos de crisol en dos variantes:

- ❖ Horno de crisol fijo
- ❖ Horno de crisol de arcilla grafitada

Los hornos son calentados a partir de petróleo o gas natural. Siempre se debe mantener aislada la carga metálica de la flama. Para obtener el bronce fundido, las cargas metálicas deben tener una secuencia obligatoria ya que tienen diferentes puntos de fusión. Primero se funde el material de base, es decir, el cobre, luego se agrega el estaño y el plomo y por último el zinc. Además, se agregan los elementos no metálicos seleccionados por el fundidor. Las aleaciones de cobre tienen un color rojizo con brillos plateados en diversas temperaturas; por este motivo es fundamental utilizar herramientas para el control de temperaturas como los termómetros de inmersión y de esta forma verificar el punto de fusión.

Cuando el metal se encuentra fundido se debe vaciar en un molde, es decir, en una cavidad con una forma determinada. El objetivo es copiar las características y detalles del modelo. El

metal líquido ingresa por la mazarota, que es la alimentación principal y se conecta con las diferentes partes del molde. Cuando se encuentre lleno el molde, el bebedero, que se encuentra del lado opuesto a la mazarota, se llenará. Los vientos permiten la eliminación de gases a medida que avanza el proceso. De esta forma, no hay presión metalostática⁴. Cuando se diseña el molde a realizar se debe tener en cuenta la cantidad de metal y los accesorios que se deben utilizar para el vaciado del molde.

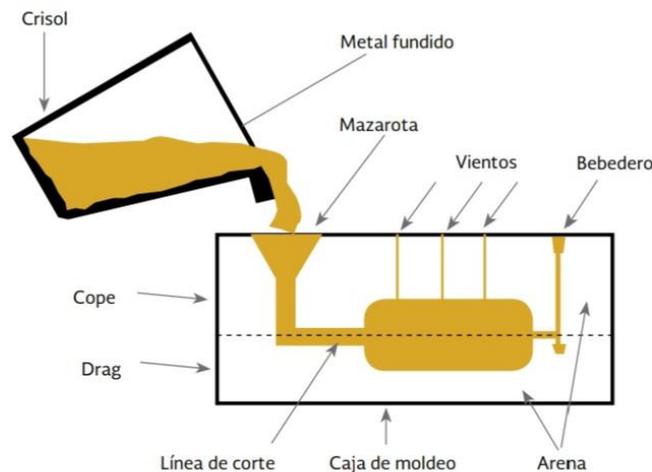


Figura N°1: Vaciado de metal en un molde de arena

Existen diferentes técnicas para realizar esculturas, la elección va a depender de la calidad de la superficie y complejidad de la pieza, de sus dimensiones y las características mecánicas que se desean obtener. Desde la antigüedad, la técnica que se utiliza con mayor frecuencia por su precisión es la denominada fundición o vaciado a la cera perdida. Este proceso consiste en realizar el modelado de la pieza en cera y, luego, se recubre con material refractario. Se colocan los respiradores para evitar la concentración de gases del metal líquido. Una vez que la cera es eliminada, se sustituyen los huecos con el metal fundido. Generalmente se utiliza esta técnica para esculturas de pequeño tamaño, aunque se puede utilizar para monumentos y esculturas de gran envergadura dejando hueca la pieza.

⁴ Es la presión ejercida por el metal en estado líquido sobre las paredes del molde y los cuerpos incluidos en el mismo.

1.3 TIPOS DE CORROSIÓN

La corrosión de los metales se define como el deterioro del material o de alguna de sus propiedades debido a la interacción con el medio ambiente.

Todos los materiales se degradan como resultado de su interacción con el medio circundante, aunque hay agentes que aceleran la velocidad del proceso como la temperatura, humedad, iones cloruro y compuestos de azufre presentes en el medio, suelos, ambientes ácidos y con polvo, grasas, aceites, y las propiedades del material.

Los metales se corroen ya que son termodinámicamente inestables, tienden a retornar al estado mineral o de mínima energía. La termodinámica estudia los cambios de energía, mientras que la cinética estudia la velocidad del proceso o reacción. La condición para que ocurra un proceso corrosivo es que exista la posibilidad (termodinámica) y que se dé a una determinada velocidad (cinética).

Existen diferentes tipos de procesos de corrosión que se caracterizan dependiendo tanto de la naturaleza del material y de las condiciones del medioambiente donde se desarrollen. Una forma común de clasificar los tipos de corrosión, es mediante las siguientes categorías:

- El mecanismo por el que se produce: *corrosión química* y *corrosión electroquímica*.
 - Apariencia o Morfología del ataque: *corrosión uniforme* y *corrosión localizada*
 - Ambiente al que está expuesto el objeto metálico: como por ejemplo *suelo*, *atmosfera*, *agua*.
-
- Según el mecanismo de corrosión:
 - ✓ Corrosión química:

La corrosión química o seca se produce cuando el metal está expuesto a gases oxidantes o líquidos no electrolitos⁵, a *muy altas temperaturas* y pueden reaccionar químicamente

⁵ Sustancia que no conduce la electricidad porque no produce iones en solución.

generando la degradación de la superficie metálica. Es una reacción heterogénea entre una fase sólida (el metal) y una fase gaseosa o líquida, que se caracteriza por no tener circulación de corriente eléctrica. El ataque de la superficie es uniforme pero se acentúa en aristas y bordes.

✓ Corrosión electroquímica:

La corrosión electroquímica se establece cuando la superficie metálica está en contacto con un electrolito; dando lugar a reacciones electroquímicas de *oxidación* y *reducción*. Estas reacciones, *siempre se dan juntas*; o sea, cuando un material se oxida, siempre es por la acción de otro que se reduce: el primero, cede electrones y el segundo, los acepta. Por este motivo, se utiliza el término general de reacciones redox.

Entre ambos metales hay una diferencia de potencial eléctrico que genera el paso de corriente eléctrica a través del medio corrosivo. De esta manera, el metal menos noble o con menor potencial de oxidación se corroe. La característica principal es que solo uno de los metales es deteriorado ya que se comporta como ánodo; mientras que el otro metal recibe los electrones o se comporta como cátodo, no sufriendo ningún daño.

La celda que causa este proceso está compuesta por cuatro componentes:

- ❖ **Ánodo:** Es el electrodo del cual fluye la corriente positiva en forma de iones hacia el electrolito. En este espacio se realizan las reacciones de *oxidación*; por lo tanto, *el metal se corroe* ya que los átomos del metal pierden electrones.
- ❖ **Cátodo:** Es el electrodo del cual fluye energía negativa hacia el electrolito. En este espacio ocurren las reacciones de *reducción*; por lo tanto *el metal no es consumido* por el proceso de corrosión y recibe los electrones transferidos.
- ❖ **Electrolito o Conductor iónico:** Es el medio corrosivo en el que el ánodo y el cátodo están sumergidos, que permite la movilidad iónica, formado por cualquier solución o medio conductor. Por ejemplo: agua de mar, agua dulce, lluvia y el suelo
- ❖ **Conductor eléctrico:** Es cualquier conductor metálico que permita la conexión eléctrica entre los electrodos.

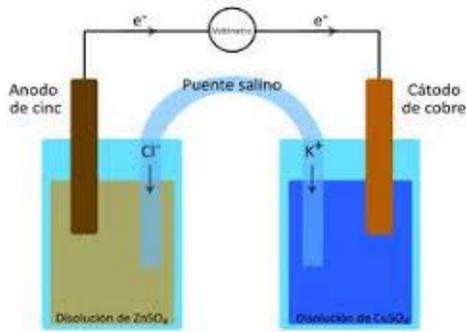


Figura N°2: Celda electrónica

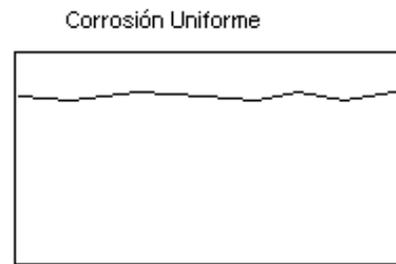


Figura N°3: Superficie corroída homogéneamente

- Apariencia y Morfología del metal corroído:
- ✓ Corrosión uniforme:

La corrosión uniforme, también conocida como corrosión generalizada, ocurre sobre toda la superficie del material de forma homogénea, deteriorándolo completamente. Este tipo de corrosión es el que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar. Por este motivo, es el tipo de corrosión más benigna.

- ✓ Corrosión localizada:

Este tipo de corrosión es el resultado de una heterogeneidad del sistema, debido a la naturaleza del material, la geometría del mismo y las condiciones del medio al que se somete. Por este motivo, un área del metal se corroe más rápido que otras. Si bien, la pérdida de metal puede ser relativamente pequeña puede producir un gran daño.

A continuación, se enuncian los tipos de ataque más frecuentes a los monumentos de bronce:

- ✓ Corrosión galvánica:

La corrosión galvánica ocurre cuando dos metales distintos están en contacto, o conectados por un conductor eléctrico, y son expuestos a una solución conductora, formando una celda electroquímica, donde el material con el menor potencial electroquímico es el que se corroe. Un factor importante a considerar es la relación del área de la zona de contacto entre los materiales. Entre mayor sea la relación del ánodo respecto al cátodo, el proceso de corrosión ocurrirá con mayor velocidad.

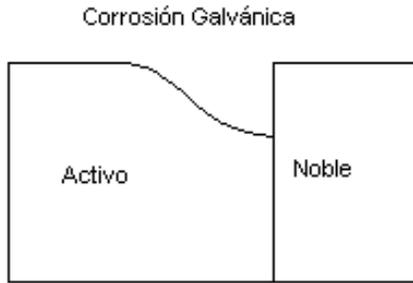


Figura N°4: Material corroído



Imagen N°1: Placa corroída por corrosión galvánica.

✓ Corrosión por picado:

La corrosión por picaduras es una forma localizada de corrosión por la cual se producen cavidades o "agujeros" en el material. Las picaduras se consideran más peligrosas que el daño por corrosión uniforme ya que es más difícil de detectar, predecir y diseñar en su contra. El proceso clásico de corrosión por picaduras generalmente se presenta en materiales pasivados, debido a las características geométricas del sistema, existe una acumulación de agentes oxidantes y un incremento del pH del medio, lo que propicia el deterioro de la capa de óxido protector permitiendo que la corrosión se desarrolle en estas zonas puntuales, llamadas "pits".

Este deterioro ocurre en un medio corrosivo que contenga aniones agresivos, entre los cuales el más frecuente es el cloruro.

La corrosión por picado es un proceso con una etapa inicial lenta y difícil de visibilizar; y una etapa de propagación rápida que puede causar grandes daños ya que la disolución metálica puede afectar a capas profundas del material, mientras la gran superficie parece intacta.

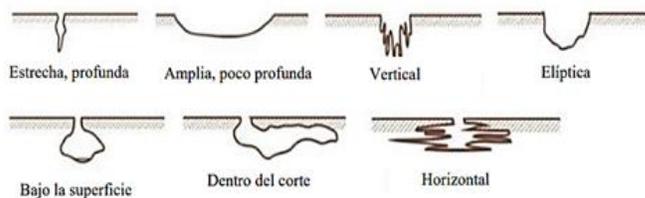


Figura N°5: Diversas formas de picaduras en el metal.

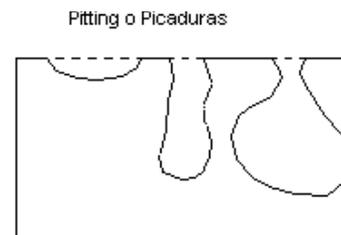


Figura N°6: Picadura más frecuente.

✓ Corrosión bajo tensión:

Para que este tipo de corrosión se genere, simultáneamente se deben presentar tres condiciones: un medio ambiente agresivo, *fuerzas de tracción* que genera tensiones y que el material sea susceptible a este tipo de corrosión. Se generan fisuras que se propagan al interior del metal hasta que el material se fracture.

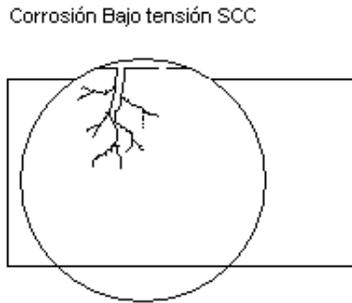


Figura N°7: Fisuras en el material a partir de la corrosión baja tensión.

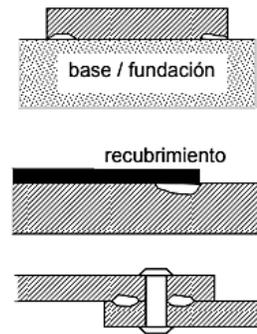


Figura N°8: Fisuras en el interior del material a partir de la corrosión por rendija

✓ Corrosión fatiga:

La corrosión por fatiga es la tendencia de un material a fracturarse por la acción repetida de *fuerzas cíclicas* en presencia de medios corrosivos en un lapso de tiempo. Se origina una fisura por la fatiga y se propaga hasta que el material se fracture.

Es una forma especial de la corrosión bajo tensión con la diferencia que no hay un límite mínimo de tensiones y se trata en todas las combinaciones de medio-aleación.

✓ Corrosión por rendija o crevice:

La corrosión por rendija, también conocida como corrosión por crevice, ocurre en espacios que permitan el ingreso del electrolito dentro de agujeros, superficies de juntas, debajo de cabezas de remaches, entre otras y que quede *estancado*, sin posibilidad de intercambio con el medio ambiente. También, se produce una disminución del oxígeno en el área afectada generando una aireación diferenciada. La degradación del metal es más rápida en las zonas menos aireadas.

Además, el contacto entre una superficie metálica y otra superficie no metálica puede causar este tipo de corrosión.

✓ Corrosión microbiológica:

Es un proceso de corrosión electroquímica en el cual participan microorganismos que influyen *directamente o indirectamente* sobre el deterioro del metal. Estos microorganismos pueden ser aeróbicos y anaeróbicos. Los primeros crecen en ambientes con oxígeno, mientras, que los segundos lo hacen en ausencia de oxígeno. En la corrosión microbiológica pueden intervenir diversas clases de microorganismos, entre las más comunes, están las bacterias productoras de ácido, las bacterias sulfato reductoras y a las precipitantes de hierro.

• Ambiente al que está expuesto el objeto metálico:

En este caso, se limita el estudio de la corrosión de esculturas y monumentos producida en la atmosfera ya que en el caso del suelo sería un objeto arqueológico y si se encuentra en el agua sería patrimonio subacuático.

✓ Corrosión atmosférica:

Este tipo de corrosión es la causante de producir *mayor cantidad de perdida* de material.

El mecanismo de corrosión es electroquímica El electrolito es una delgada película formada por la humedad sobre la superficie del metal. Mientras que la reacción anódica de oxidación implica la disolución del metal y la reacción catódica es la reducción de oxígeno.

El patrimonio metálico expuesto a la intemperie, y por lo tanto a la atmosfera, es atacado por varios factores que afectan a la velocidad del ataque; como la temperatura, la humedad relativa, oxígeno, agua y los contaminantes presentes en el ambiente. Dichos contaminantes como los compuestos de azufre, cloruro de sodio y el dióxido de carbono agudizan el ataque.



Imagen N°2: Farol estación Mitre con patina producto de la corrosión atmosférica.



Imagen N°3: Reja con corrosión uniforme sobre su superficie.

Capítulo II “Protección superficial de los metales”

Recubrimientos protectores:

Como se vio en el capítulo anterior, todos los objetos metálicos en contacto con el medio ambiente sufren de un proceso de deterioro conocido como corrosión. Si bien, es un proceso inevitable, se puede reducir o retardar mediante el empleo de recubrimientos e inhibidores que tienen como objetivo *proteger la pieza*. La eficacia del tratamiento en restauración va a depender del producto seleccionado, el sustrato metálico o aleación y de las condiciones climáticas. Para seleccionar el recubrimiento protector adecuado, es necesario conocer sus características, su evolución, degradación en el tiempo, y en diferentes medios con diversas aleaciones. Estos parámetros son de suma importancia para este trabajo, ya que incidirán en la selección de los procedimientos de conservación y restauración de las piezas a tratar.

2.1 MATERIALES ORGÁNICOS

Los materiales filmógenos y aglomerantes se aplican sobre una superficie en estado líquido y al secar pueden formar capas o películas. En conservación y restauración, se utilizan como adhesivos, consolidantes, aglutinantes y barnices. Tanto los materiales filmógenos como los aglomerantes tienen la característica de unir y dar cohesión a diferentes tipos de sustancias; los primeros lo hacen mediante procesos químicos, mientras que los aglomerantes lo logran

a través de métodos físicos. Además, los aglomerantes se distinguen de los materiales filmógenos ya que al secar la capa formada es un sólido poroso

Los materiales orgánicos naturales están compuestos por lipófilos e hidrófilos. Los primeros constan de varios compuestos: como los *aceites secantes*, utilizados en las técnicas al aleo de la pintura de caballete; *las ceras y parafinas* son aglutinantes en la técnica encáustica, espesantes del óleo, disminuyen el brillo de los barnices y además, se pueden utilizar como recubrimientos protectores, como el caso de la cera microcristalina; *las resinas naturales o terpenicas* se utilizan para la formulación de barnices, especialmente las resinas blandas, como por ejemplo, el dammar, se emplea en la restauración de pintura de caballete por ser una resina muy estable, también se usan mezcladas con ceras para formar adhesivos y consolidantes de materiales pétreos, soportes de madera, entelados de pinturas y fijación de capas pictóricas; por último, los *betunes* son empleados como aditivos de los aglutinantes y los barnices en algunas técnicas pictóricas como las oleorresinosas.

Los materiales *hidrófilos* constan de dos grupos: los glúcidos y las proteínas. Los *glúcidos* son usados en la preparación de adhesivos y consolidantes. También, se utilizan como aglutinantes en técnicas acuosas o de temple. Como, por ejemplo, la goma arábica fue utilizada en la preparación de aglutinantes en acuarelas. En las obras de arte, las *proteínas* sirven como adhesivos o también como aglutinantes de las técnicas al temple y en las técnicas mixtas donde se utiliza la yema de huevo. En restauración, se emplean colas animales (cola de pescado, cola de conejo, etc.) como aglutinante, adhesivo y consolidante.

Los materiales orgánicos *sintéticos* como los *termoplásticos* tienen cadenas lineales o ramificadas en dos dimensiones. En restauración, son muy utilizados los acrílicos como el Paraloid B72 y Paraloid B67 como consolidantes, adhesivos y barnices en diversos sustratos. Otros materiales sintéticos son los *termoestables*, estos productos necesitan un catalizador y un endurecedor. Se utilizan como aglutinantes y barnices en pintura.

2.2.1 MATERIALES POLIMÉRICOS: RESINAS

PARALOID B72:

Es el nombre comercial de una resina acrílica compuesta por un copolimero orgánico sintético a base de acrilato de metilo y metacrilato de etilo. De forma internacional es producido por Röhm and Haas y en la industria nacional lo produce Dekora; de este último será el producto elegido para realizar los ensayos en el laboratorio. Tiene una presentación sólida en forma de perlas transparentes. Su temperatura de transición vítrea (T_g) es de 40 °C y dureza Knoop: 10-11. Es soluble en acetonas, esterés, hidrocarburos, aromáticos, alifáticos. En conservación y restauración, es una resina muy popular y, quizás, la más utilizada debido a la amplia gama de usos (consolidación, adhesión y protección de objetos y obras de arte) y materiales compatibles tales como la madera, materiales pétreos, metales, etc. Cada una de estas aplicaciones deben tener una concentración adecuada para que la resina acrílica actúe de manera eficaz. Específicamente en restauración, es el producto que más se utiliza para la protección de las obras a la intemperie ya que presenta una gran estabilidad. Debido a este motivo, lo seleccioné para compararlo con otros productos comerciales que también son utilizados para el mismo fin.

Antes de utilizar el producto, es aconsejable leer su ficha técnica para comprender sus características e informarse acerca de los cuidados necesarios. Es importante utilizar elementos de seguridad como campanas y protección personal como máscara de filtros, antiparras, guantes, etc. En este caso, el producto no está clasificado como peligroso en forma sólida. Cuando se realiza la solución, se debe considerar la toxicidad de los disolventes en que serán utilizados, pudiéndose establecer la misma a través de parámetros como la concentración máxima admitida (CMA), que es la concentración máxima tolerada expresada en partes por millón en el aire (ppm), calculando una jornada laboral durante 8 horas. Los disolventes aconsejados, por su baja toxicidad, son: acetona, butil acetato, dowlanol PM. La elección del solvente no depende únicamente de su toxicidad sino también de la forma en la que se va a aplicar. Por ejemplo, si se utiliza acetona, el operador debe trabajar con cierta rapidez ya que es un solvente muy volátil. La forma más común y utilizada de aplicar la solución es con pincel.

Metodología⁶:

La capa de protección o barniz tiene una concentración del 15%. Es decir, que se prepara una solución con una concentración al 15% del producto sólido en disolvente. Luego se deja que la resina se disuelva durante 8 horas aproximadamente. Una vez aplicado se deja secar 24 hs aproximadamente según las condiciones climáticas. No se debe tocar el objeto antes que seque ya que se marca la superficie.

PARALOID B67:

Se trata de un homopolímero acrílico a base de iso-butilmetacrilato (iBMA). Es producido por el mismo fabricante que la resina anterior. Se presenta como una resina sólida en forma de perlas transparentes. Su temperatura de transición vítrea (Tg) es de 50 °C y dureza Knoop: 11-12. Es soluble en las mismas sustancias que la resina anterior pero a diferencia del Paraloid B72 es también soluble en alcohol etílico e hidrocarburos alifáticos. En conservación y restauración, se utiliza en cerámica arqueológica, protección de metales, fijación de firmas y número de inventario, pegado de vidrios y huesos. Tanto el Paraloid B67 como el B72 tienen diferentes formulaciones por lo cual presentan ciertas características específicas y se utilizan para determinados usos y materiales. Específicamente en restauración de metales es utilizado como recubrimiento protector por garantizar la reversibilidad del producto, en el caso que se requiera remover el barniz sin generar variaciones en el sustrato; especialmente si cuenta con incrustaciones y policromía.

Como en el caso anterior, no es peligrosa la resina sólida, aunque se debe tener precauciones según el disolvente a utilizar. La forma más utilizada de aplicar la solución es con pincel.

Metodología⁷:

⁶ Concentración obtenida de Blanca Ramírez Barat y Emilio Cano Díaz, Evaluación in situ de recubrimientos protectores para patrimonio cultural metálico mediante espectroscopía de impedancia electroquímica, 2015

⁷ Concentración obtenida de Blanca Ramírez Barat y Emilio Cano Díaz, Evaluación in situ de recubrimientos protectores para patrimonio cultural metálico mediante espectroscopía de impedancia electroquímica, 2015

Presenta la misma metodología y concentración que la resina anterior. Se deja secar 24 hs aproximadamente, según las condiciones climáticas. No se debe tocar el objeto antes que seque ya que se marca la superficie.

2.2.2 MATERIALES PARAFINICOS: CERA MICROCRISTALINA (COSMOLOID H 80)

Las ceras y parafinas son compuestos inertes y forman solidos blandos. Según la procedencia pueden ser vegetales, animales y minerales. La cera microcristalina es una cera mineral compuesta por hidrocarburos saturados lineales ramificados y cíclicos. Se extraen del petróleo y están constituidas por pequeños cristales disformes. Su punto de fusión es de 84°C a 90°C. Soluble en White Spirit. Resalta la apariencia de las obras ya que les confiere brillo a las superficies. En conservación y restauración, se utiliza para la protección de obras en madera, metal y materiales pétreos. Específicamente en restauración de metales se puede utilizar combinada con Paraloid B72. Primero se aplica el Paraloid B72 y se deja secar, luego se aplica una capa de cera microcristalina.

Metodología⁸:

Se aplica por medio de un trapo de lustre y se deja secar por 48 hs.

2.2.3 SECADO DE LOS MATERIALES FILMÓGENOS

Es el paso de la fase líquida de la sustancia filmógena, que puede estar en solución, emulsión o fundida, a una fase sólida. La formación de la capa puede ser por un fenómeno físico, por una reacción química o a ambas a la vez. Los procesos de formación de la capa solida son:

- *Evaporación* de un disolvente o fase externa: resinas, polisacáridos y proteínas (Paraloid B72 y B67).
- *Solidificación*: ceras (cera microcristalina).

⁸ Dato obtenido de las fichas técnicas proporcionadas por el fabricante del producto.

- *Reacciones químicas*: aceites secantes y resinas naturales.

Cuando se *evapora el disolvente* se forma una capa por *procesos físicos*, siempre que las macromoléculas estén disueltas, dispersas o fundidas. La evaporación del componente volátil implica la evaporación de algunas moléculas produciendo vacíos y desplazamientos de las moléculas restantes; además se genera una contracción en el volumen durante el secado. La velocidad de rotación de las moléculas disminuye al aumentar la viscosidad. En el caso de que el proceso sea muy rápido se reduce el brillo y crecen las tensiones que producen la ruptura de la capa. Las capas presentan una permeabilidad diferente según la orientación al aire.

La variación en la viscosidad durante el secado influye en las propiedades ópticas, es decir, en el brillo y en la homogeneidad del espesor de la película formada. La mayoría de las resinas sintéticas forman soluciones viscosas dando como resultado una capa seca menos plana.

Las sustancias filmógenas que se aplican fundidas (cera microcristalina) forman una capa que se debe al enfriamiento del material o *solidificación*. Se trata de un *proceso físico*, es decir, a un cambio de estado de la sustancia. Dichas capas son más compactas y espesas que aquellas obtenidas por evaporación del solvente.

Cuando la capa o película se solidifican por medio de una *reacción química*, generalmente se trata de un proceso de oxidación. Se polimeriza originando un compuesto de mayor tamaño molecular. Por ejemplo, el aceite secante tiene la capacidad de formar la capa dependiendo del número de posiciones de los dobles enlaces. Entre estos dobles enlaces se dan las reacciones de oxidación y reducción junto a la polimerización formando una red tridimensional.

El secado de los polímeros sintéticos mediante reacciones químicas se puede presentar por dos casos: el primero, sin desprendimiento de una sustancia volátil, como el caso de las resinas epoxi y los poliésteres o por evaporación de un compuesto volátil, como el caso de las resinas urea y formaldehído.

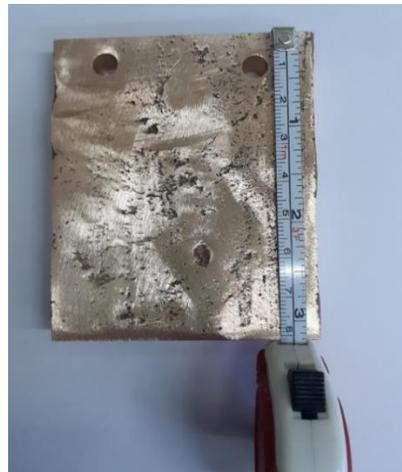
➤ **Capítulo III Parte experimental**

3.1 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Las piezas de bronce proceden de la metalurgia Difla S.A., presentan una composición de 87% de cobre, un 8% de estaño y 5% de plomo; se fabricaron mediante la fundición por moldes en arena de silicio y zirconia. Por este motivo, la superficie metálica presenta cierta rugosidad; que posteriormente se pulió con una amoladora y disco flap para eliminar suciedad y defectos superficiales. Se cortaron por medio de una sierra de corte circular para conseguir probetas con las siguientes medidas: 8.1 cm de largo x 6.5 cm de ancho x 1.2 cm de espesor. Las medidas pueden variar entre 1 y 1,5 cm por probeta. El tipo de aleación y las medidas aproximadas son uniformes en todas las probetas para evitar la deformación de los resultados. Luego, se les realizó dos perforaciones de 0,5 cm en la parte superior de las piezas para poder suspenderlas por medio de un material plástico en el equipo de envejecimiento acelerado, WOM⁹. Por último, se procedió al siglado con la ayuda de punzones de metal con los números inscriptos y una maza.



Fotografía N°1: Lingotes de bronce marcados para realizar el corte y perforación



Fotografía N°2: Medición de las piezas



Fotografía N°3: Lingotes con perforaciones superiores.

⁹ WeatheroMeter: Cámara climática que simula distintas exposiciones al medio



Fotografía N°4: Probetas de bronce sin recubrimientos.

- Aplicación de los recubrimientos protectores:

Las probetas de ensayo son sometidas a la aplicación de diferentes recubrimientos con el objetivo de proteger la superficie metálica.

Los procedimientos se realizaron bajo la campana, con guantes de nitrilo, guardapolvo y protección ocular.

Paraloid B72 (probetas 1 al 5)

El solvente utilizado para la disolución del Paraloid B72 es acetona ya que resulta ser bajo su grado de toxicidad. Se aplicó una capa del recubrimiento con pinceleta N°8 y se dejó secar en un desecador¹⁰ durante una semana para nuevamente aplicar una capa del producto elegido.

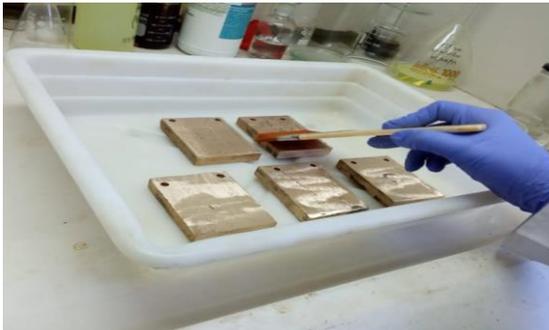
Paraloid B67 (probetas 6 al 11)

¹⁰ Desecador: gran recipiente de vidrio con tapa que permite el cerrado herméticamente. Su función es eliminar o proteger de la humedad al contenido del mismo. Se lo utiliza con piedras de sílice.

El solvente utilizado para la disolución es acetona. Se aplicó el mismo procedimiento que con el producto anterior.

Cera microcristalina (probetas 12 al 17)

Se midió una punta de espátula para que todas las probetas tengan la misma proporción de la cera microcristalina. Posteriormente, se aplicó el producto con trapo de lustre y se dejó secar en el desecador durante una semana para nuevamente aplicarle una capa más del producto.



Fotografía N°5: Aplicación del Paraloid B72



Fotografía N°6: Aplicación de la cera microcristalina.

3.2 ENSAYOS DE ASPECTO

3.2.1 COLOR

Esta medición se realizó siguiendo los lineamientos operativos de la norma ASTM E 1164/2017, empleando un fotocolorímetro marca BYK Gardner, modelo SPECTRO GUIDE a una geometría de 45°/0° y con un iluminante D 65/10°. El sistema de color utilizado fue el CIELab, que consiste en dos ejes perpendiculares entre sí y coplanares “a” y “b” que definen el color y un tercer eje, “L”, normal a este plano que indica la luminosidad del mismo.

Se comenzó midiendo los recubrimientos protectores en cada probeta. Sobre estas muestras se han realizado 10 mediciones por pieza, posteriormente se realizó el mismo procedimiento después de los procesos de envejecimiento en diferentes cámaras climáticas (WOM y niebla salina) con el mismo colorímetro en los mismos puntos.



Fotografía N°7: Dispositivo para tomar registro de color

3.1.2 ESPESOR DE PELICULA SECA

Se empleó un instrumento marca ELCOMETER, modelo Mk4B, cuyo principio de funcionamiento es por inducción magnética. Se informa el número de mediciones, valor mínimo, valor máximo, valor promedio y desviación estándar. Se tomó como cero para la calibración del equipo una de las probetas de bronce. Se midieron las probetas antes y después del envejecimiento producido, tanto con el WOM como con la niebla salina.

3.1.3 MASA

Se determinó la masa de las probetas de bronce con una balanza analítica Mettler Toledo, modelo AB204. Incertidumbre de medición dentro del rango de peso medido es de $\pm 0,2$ mg. Se midieron las probetas antes y después del envejecimiento producido, tanto con el WOM como con la niebla salina.

3.3 ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO EN CÁMARAS CLIMATICAS

3.3.1 WeatheroMeter

Para la realización de este ensayo se procedió según norma ISO 105-B02.

El equipo empleado fue una cámara climática marca ATLAS WEATHER OMETER, modelo Ci4000.

Los parámetros de ensayo utilizados según ISO 105-B02:

- Ciclo de exposición: Radiación continua sin aspersión
- Irradiancia: 1,10 W/m²/nm @ 420 nm ± 10 %
- Temperatura de panel negro: 63 °C ± 3 °C
- Temperatura de cámara: 80°C ± 3 °C
- Humedad relativa: 30% ± 5%
- Combinación de filtros (Interno - externo): Boro/S – Soda Lime
- Tiempo total de exposición: 900 - 1000 horas.

Procedimiento:

Las probetas de ambos Paraloid ingresaron el día 12 de Julio al equipo y se fueron retirando paulatinamente con diferentes tiempos de exposición hasta que la última probeta completo un ciclo de 912 hs.

Tabla N°1: Fechas y tiempo de exposición según el recubrimiento

RECUBRIMIENTO	PROBETA	INGRESO	EGRESO	T DE EXPOSICIÓN (HS)
P72	1	12-jul	16-jul	96
	2	12-jul	23-jul	264
	3	12-jul	3-ago	532
	4	12-jul	6-ago	600
	5	12-jul	20-ago	912
P67	6	12-jul	16-jul	96
	7	12-jul	23-jul	264
	8	12-jul	3-ago	532
	9	12-jul	6-ago	600
	10	12-jul	20-ago	912

Posteriormente, se utilizó el mismo procedimiento para la cera microcristalina.

Completando un ciclo de 744 hs.

Tabla N°2: Fechas y tiempo de exposición de la cera

RECUBRIMIENTO	PROBETA	INGRESO	EGRESO	T DE EXPOSICIÓN (HS)
---------------	---------	---------	--------	----------------------

	12	19-jul	23-jul	96
CERA	13	19-jul	26-jul	168
MICROCRISTALINA	14	19-jul	3-ago	364
	15	19-jul	20-ago	744



Fotografía N°8: Las probetas suspendidas en el WOM.

3.3.2 NIEBLA SALINA:

Se realizó la determinación de la resistencia a la corrosión a la niebla salina siguiendo los lineamientos operativos de la norma ASTM B 117-07. Se empleó un equipo marca ERICHSEN, modelo 606/400.

Luego de la exposición en el WOM, las probetas de bronce se colocaron en la niebla salina durante 96 hs.



Fotografía N°9: las probetas suspendidas en el equipo de la niebla

3.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS PELICULAS SUPERFICIALES A TRAVÉS DE MEDIDAS ELECTROQUÍMICAS:

3.4.1 RESISTENCIA DE POLARIZACIÓN LINEAL (R_p)

Esta medición se basa en que, bajo determinadas condiciones, en el entorno del potencial de corrosión (± 20 mV) se verifica una relación lineal entre el potencial aplicado al metal y la corriente que circula en el sistema polarizado. La pendiente de la recta en el potencial de corrosión, $\Delta V/\Delta I$, descontada la resistencia óhmica del medio, se denomina resistencia de polarización (R_p).

Se utilizó una velocidad de barrido anódico de 60 mV/min, en un intervalo de 40 mV, partiendo de un potencial 20 mV más negativo que el potencial de reposo o corrosión (E_c).

Las mediciones electroquímicas se llevaron a cabo con un potencióstato/galvanostato marca AUTOLAB modelo 302N y un software de corrosión NOVA 2.1.

Se utilizó un electrodo de referencia de Ag/AgCl y un alambre de platino como electrodo auxiliar. Como electrolito, se utilizó un líquido con una composición similar al agua de lluvia (Tabla N°3).

Tabla N°3: Composición de agua de lluvia¹¹

¹¹Datos obtenidos de Blanca Ramírez Barat y Emilio Cano Díaz, Evaluación in situ de recubrimientos protectores para patrimonio cultural metálico mediante espectroscopia de impedancia electroquímica, 2015

Composición	Conc. mg/l
CaSO ₄ •2H ₂ O	14,43
(NH ₄) ₂ SO ₄	15,04
(NH ₄)Cl	19,15
NaNO ₃	15,13
CH ₃ COONa	3,19

➤ **Capítulo IV “Evaluación de los Resultados”**

4.1 ENSAYOS DE ASPECTO:

4.1.1 COLOR

A continuación, se presentan los promedios de las mediciones realizadas:

Tabla N°4: Mediciones cromáticas sobre probetas con recubrimiento Paraloid B72

Paraloid B72									
N° probeta	Antes WOM			Post WOM			Post NIEBLA		
	L	a	B	L	a	b	L	A	b
1	50.49	4.44	16.91	50.38	4.98	17.96	57.57	5.41	17.78
2	61.28	7.99	19.02	58.29	8.93	19.51	46.81	7.11	17.80
3	64.31	8.41	21.36	59.62	9.68	21.45	51.99	6.04	13.70
4	56.34	8.95	17.86	57.57	9.36	19.62	52.01	5.78	13.02
5	55.84	8.64	17.09	54.01	9.21	17.90	59.42	4.61	13.22
Prom gral	57.65	7.69	18.45	55.97	8.43	19.29	53.56	5.79	15.10

El indicador “L” muestra la luminosidad de las probetas, se puede observar que ha disminuido luego del proceso de envejecimiento acelerado con ambas cámaras climáticas. El eje “a”, representa a las coordenadas de rojo y verde (+a indica rojo, -a indica verde); en este caso los tonos rojos han aumentado después de colocar las probetas en el WOM. Sin embargo, los tonos rojizos disminuyeron en la niebla salina.

El eje “b”, es decir, las coordenadas de amarillo y azul (+b indica amarillo, -b indica azul) muestran un leve aumento de tonos amarillos luego de la exposición en el WOM. Mientras, que después de la exposición en la niebla salina se puede observar una disminución de tonos amarillos.

Tabla N° 5: Mediciones cromáticas sobre probetas con recubrimiento Paraloid B67

Paraloid B67									
N° probeta	Antes WOM			Post WOM			Post NIEBLA		
	L	A	b	L	a	b	L	A	b
6	53.06	8.89	16.75	52.71	9.26	17.83	51.93	8.14	25.67
7	58.49	9.17	17.55	55.89	9.13	18.30	53.95	6.27	18.16
8	51.77	5.06	17.23	49.85	5.61	18.88	50.26	5.01	18.17
9	57.06	8.07	18.20	55.05	8.83	18.86	50.27	5.83	17.26
10	53.93	9.07	17.18	53.76	9.81	19.65	54.50	8.57	20.47
Prom gral	54.86	8.05	17.38	53.45	8.53	18.70	52.18	6.76	19.95

En el caso del Paraloid B67, los ejes L, a y b sufrieron pequeñas variaciones luego del envejecimiento acelerado. La luminosidad disminuyó. Los tonos rojos / verdes (eje a) se mantuvieron similares luego de la exposición en el WOM y aumentaron levemente la tonalidad verdosa luego de la exposición en la niebla salina. Las coordenadas de amarillo y azul (eje b) muestran un aumento de tonos amarillos luego de la exposición en el WOM y niebla salina.

Tabla N° 6: Mediciones cromáticas sobre probetas con recubrimiento cera microcristalina

Cera									
N° probeta	Antes WOM			Post WOM			Post NIEBLA		
	L	A	B	L	a	B	L	A	b
11	59.48	6.46	18.54	53.95	6.57	20.08	49.76	7.20	21.75
12	64.92	8.76	18.78	57.39	8.83	17.12	55.40	8.02	18.96
13	64.24	5.93	19.60	58.43	6.19	18.49	54.41	6.24	19.96
14	57.24	8.01	16.47	54.61	8.21	15.95	46.10	6.78	14.49
15	60.60	8.53	17.81	59.32	8.91	17.76	52.60	7.37	19.15
Prom gral	61.30	7.54	18.24	56.74	7.74	17.88	51.65	7.12	18.86

Con respecto a la luminosidad del recubrimiento de cera se puede observar que la luminosidad ha disminuido luego de los procesos de envejecimiento acelerado; es la mayor disminución observada en los tres recubrimientos. En cambio, los ejes “a” y “b” se han comportado de manera variable. El eje “a” no varió notablemente luego de la exposición en

las cámaras, tuvo un leve aumento de los tonos rojizos luego del WOM; y luego una pequeña disminución al sacar las probetas de la niebla salina. Los ejes “b” muestran una disminución de tonos azules luego de la exposición en el WOM; y luego han aumentado después de la niebla salina

4.1.2 ESPESOR DE PELICULAS SECAS

A continuación, se presentan los promedios de las mediciones realizadas:

Tabla N° 7: Mediciones del recubrimiento Paraloid B72

N° probeta	Antes WOM (μm)	Post WOM (μm)	Post NIEBLA (μm)
1	14,27	8,35	11,63
2	17,30	8,41	10,39
3	16,50	8,79	11,14
4	16,27	7,28	10,18
5	19,73	11,01	11,53
Prom gral	17,02	8,74	10,92

Tabla N° 8: Mediciones del recubrimiento Paraloid B67

N° probeta	Antes WOM (μm)	Post WOM (μm)	Post NIEBLA (μm)
6	18,30	9,93	10,43
7	13,05	9,38	13,17
8	13,72	10,54	15,26
9	18,44	8,71	15,92
10	15,00	15,45	12,14
Prom gral	15,68	10,85	13,29

Tabla N° 9: Mediciones del recubrimiento cera

N° probet	Antes WOM (μm)	Post WOM (μm)	Post NIEBLA (μm)
11	7,55	4,27	7,35
12	7,72	4,20	12,43
13	14,72	6,77	10,52
14	1,61	3,67	8,82
15	9,65	8,42	8,63
Prom gral	8,28	5,53	9,54

Se observa que los espesores han disminuido luego de los procesos de envejecimiento con el WOM. Sin embargo, después de la niebla salina han aumentado debido a los productos de corrosión.

Las mediciones se registraron con gran dispersión ya que la superficie de las probetas eran muy rugosas.

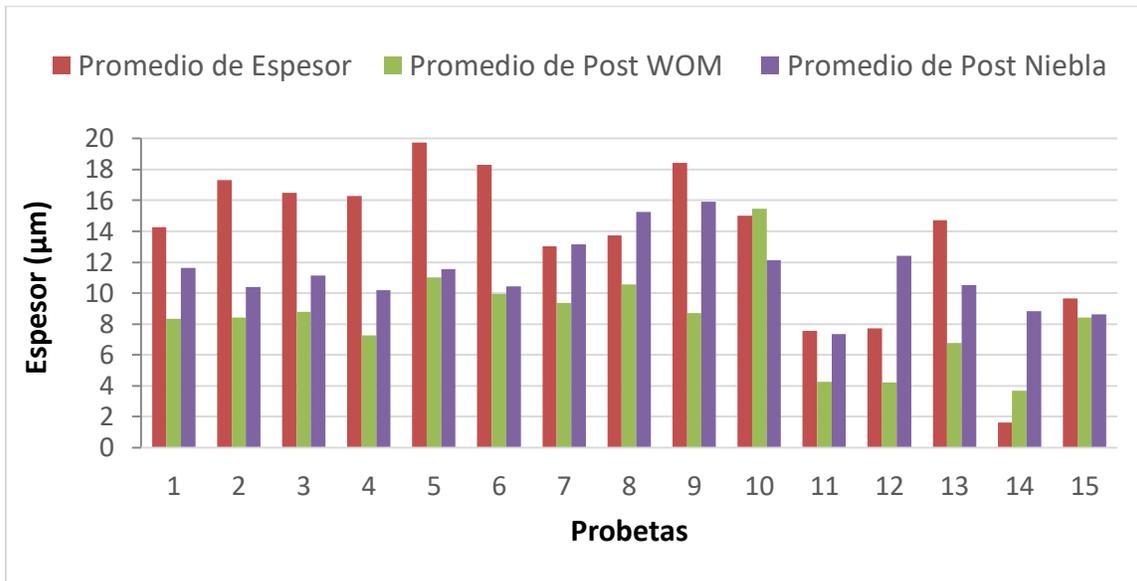


Figura N°9: Grafico de todos los espesores medidos.

4.1.3 MASA

A continuación, se exponen los promedios de las mediciones realizadas:

Tabla N° 10: Masa de las probetas durante el proceso de envejecimiento en ambas camaras.

	N° de probeta	Peso 2 capas (g)	Peso Post WOM (g)	Peso Post niebla (g)
Paraloid B72	1	533.4	533.3	534.1
	2	520.7	520.7	521.5
	3	512.6	512.6	513.3
	4	515.5	515.4	516.2
	5	532.3	532.2	533.2
Paraloid B67	6	540.0	540.0	540.3
	7	527.4	527.3	529.2
	8	559.7	559.5	560.0

	9	509.2	509.4	510.0
	10	582.2	582.1	582.6
Cera	11	567.6	567.5	567.7
	12	531.8	531.8	533.1
	13	541.6	541.6	541.8
	14	536.8	536.8	537.3
	15	528.5	528.4	530.2

Se puede observar que la masa de las probetas disminuyó levemente después del envejecimiento en el WOM. Sin embargo, el peso aumentó luego de la niebla salina.

4.2 ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO EN CÁMARAS CLIMATICAS:

4.2.1 WeatheroMeter

Si bien los recubrimientos han protegido a las piezas metálicas, el brillo de las mismas ha disminuido hasta opacarse a simple vista. Tampoco se nota a simple vista signos de corrosión presentes.

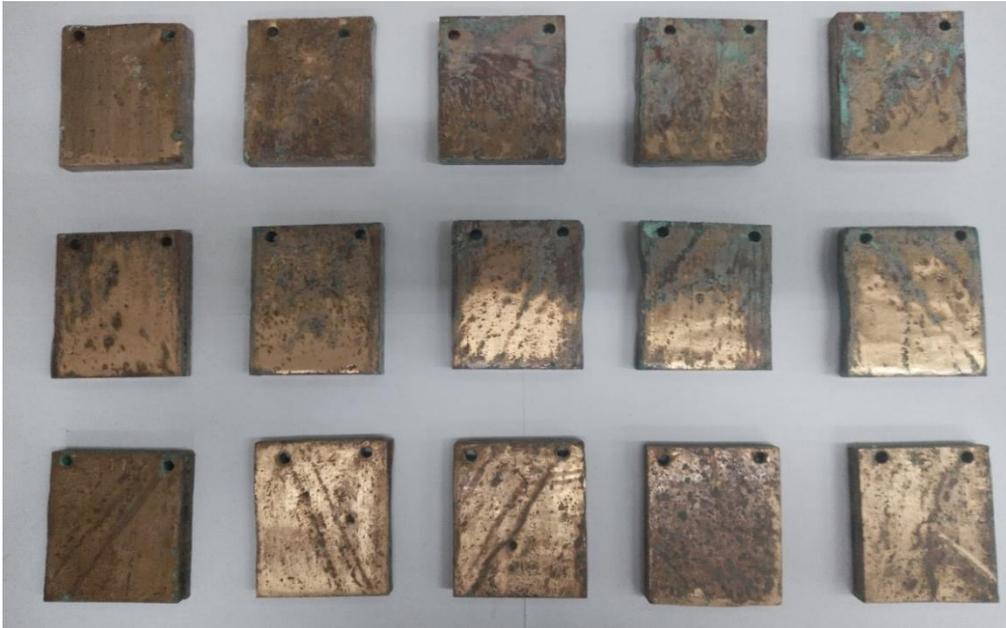


Fotografía N°10: Las probetas post WOM

4.2.2 NIEBLA SALINA:

Luego de la exposición en niebla salina los recubrimientos acrílicos, han logrado proteger a las piezas de bronce, se observa menos del 10% de la superficie total con indicios de corrosión.

Sin embargo, la cera microcristalina, se oscureció, modificando e interfiriendo el aspecto original de la superficie de la pieza.



Fotografía N°11: Las probetas post niebla salina. Contando desde arriba: 1era fila: Paraloid B72, 2da fila Paraloid: B67 y la 3era fila: cera microcristalina

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS PELICULAS SUPERFICIALES A TRAVÉS DE MEDIDAS ELECTROQUIMICAS

4.3.1 RESISTENCIA DE POLARIZACION LINEAL (R_p)

A continuación, se presentan los gráficos representativos de las mediciones efectuadas para cada sistema de estudio durante la exposición en el WOM.

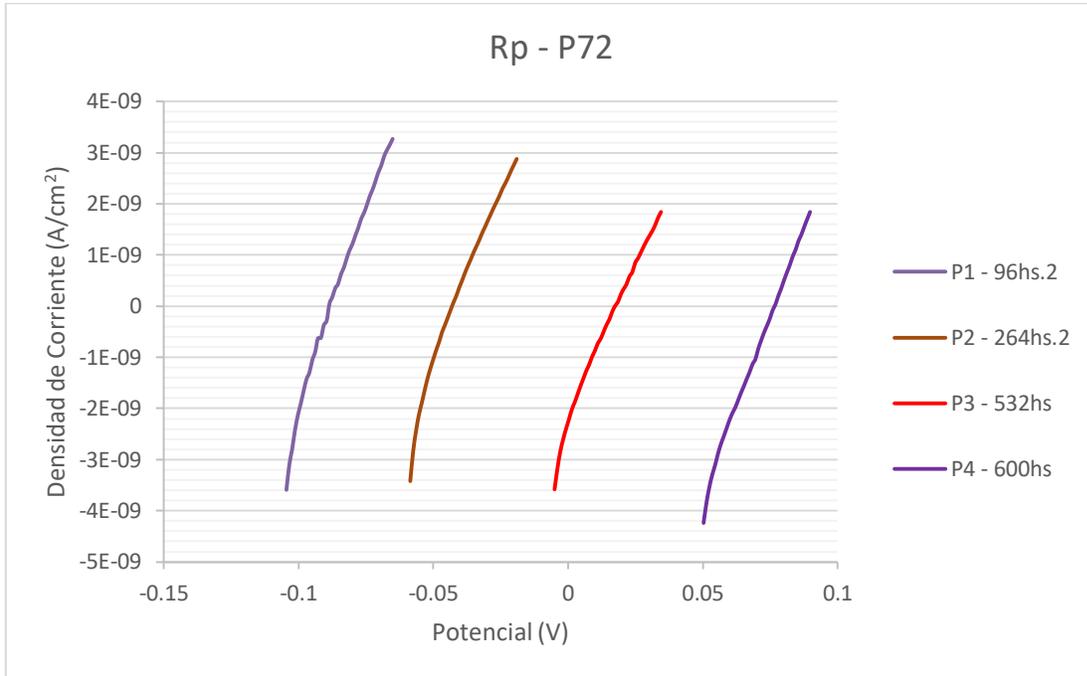


Figura N°10: Medición de resistencia de polarización lineal para el Paraloid B72

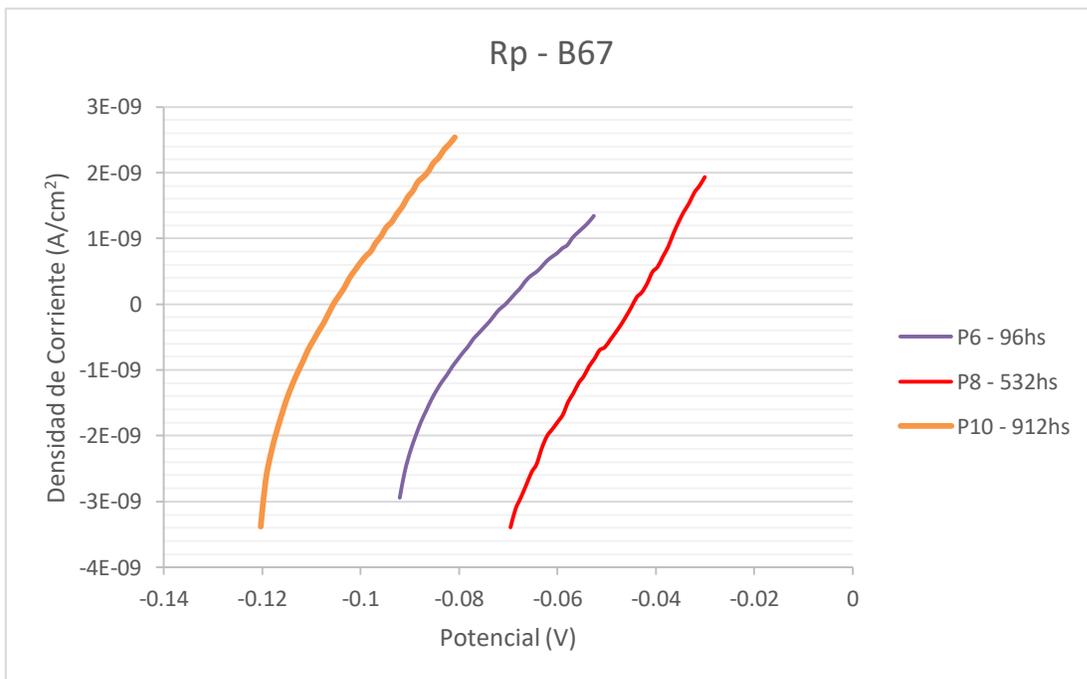


Figura N°11: Medición de resistencia de polarización lineal para el Paraloid B67

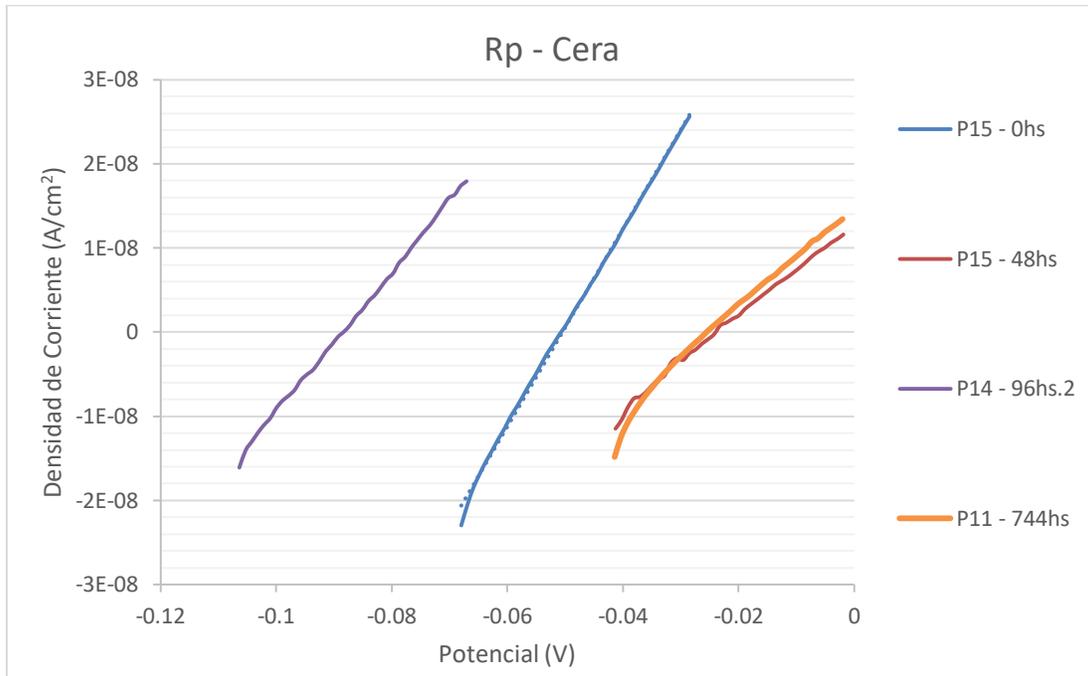


Figura N°12: Medición de resistencia de polarización lineal para la cera.

La resistencia de polarización lineal no disminuye en función del tiempo de exposición en la cámara WOM. (Tabla N°11)

Tabla N° 11: Resistencia de Polarización lineal.

	T (hs)	Cera Microcristalina	Paraloid B67	Paraloid B72
Rp ($\Omega.cm^2$)	0	8.47E+05	2.76E+07	9.09E+07
	96	1.80E+06	6.33E+06	6.21E+06
	264	1.19E+06	6.06E+07	4.55E+07
	532	4.05E+06	7.94E+06	8.00E+06
	912	1.82E+06	7.81E+06	4.72E+07

➤ Capítulo V: Conclusiones

A lo largo de este trabajo, se ha intentado demostrar y comparar los distintos grados de actuación de los tres recubrimientos seleccionados en diferentes cámaras climáticas. De esta manera, se trató de evaluar su capacidad protectora frente a diferentes adversidades climáticas.

Luego de la exposición en el WOM la resistencia de polarización lineal de los tres recubrimientos no disminuyó. Esto indica que el envejecimiento acelerado realizado no generó daños perceptibles en los recubrimientos que generen modificaciones en la resistencia de los mismos. Es decir que, lograron cumplir su función primaria de aislar a la pieza de condiciones adversas, otorgaron una buena protección y no se observaron signos de corrosión.

En la niebla salina los recubrimientos acrílicos, han logrado proteger a las piezas de bronce, en mayor medida en comparación con la cera microcristalina que se oscureció, modificando e interfiriendo el aspecto original de la superficie de la pieza. Esto indica, que la cera microcristalina tiene una capacidad protectora menor que la observada en los recubrimientos acrílicos luego de la exposición en la cámara de niebla. Ese dato es suma importancia, en el caso de que en próximas restauraciones se decida trabajar con este producto en un medio salino.

Los ensayos de aspectos han determinado que la luminosidad ha disminuido en los tres recubrimientos luego de las dos cámaras de envejecimiento, siendo la mayor pérdida en el caso de la cera microcristalina.

Los espesores y las masas de los recubrimientos han disminuido luego del proceso de envejecimiento con el WOM. Sin embargo, se registra un aumento del mismo después de la niebla salina debido a los procesos de corrosión.

La hipótesis introductoria que ha servido para generar este trabajo, queda confirmada, ya que la cera microcristalina tiene una menor capacidad protectora, al ser comparada con los recubrimientos acrílicos. Las ventajas que presenta la cera, reside en la facilidad de aplicación y en no utilizar un solvente para su preparación; además de su bajo costo; en comparación con los dos recubrimientos. Este producto se puede utilizar monitoreando su evolución y degradación en el tiempo. Conocer la eficacia de los recubrimientos protectores aplicados a objetos, así como sus características, evolución y degradación en el tiempo, es fundamental para diseñar estrategias de conservación del patrimonio metálico.

Asimismo, hay que destacar que el trabajo provee de mayor información sobre los productos elegidos y la oportunidad de saber qué sucederá con los recubrimientos siguiendo los parámetros utilizados en la investigación. Es decir, como se van a envejecer y degradar estos materiales luego de la exposición a varios factores. Se propone en una próxima etapa profundizar en la solubilidad y reversibilidad de los recubrimientos seleccionados y de esta forma tener otro parámetro de elección.

➤ **Capítulo VI: Fuentes y Bibliografía**

- CARRANZA M. Ricardo, DUFFO Gustavo, FARINA Silvia (2009) *Nada es para siempre. Química de la degradación de los materiales*. Artes gráficas Rioplatense
- CAVENA G., NUGARI M.P., SALVADORI O., (2000) “*La biología en la restauración*”, Editorial Nerea.
- DIAZ MARTINEZ Soledad, GARCIA ALONSO Emma, “*Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico*”, Secretaria General Técnica.
- GOMEZ, M. Luisa (2004) “*La restauración*”, Editorial Cátedra.
- MANDENO WILLIE (2008) *Conservation of iron and teelwork in historic structures and machinery*, Science & Technical Publishing Department of Conservation, New Zealand
- MIGLEY BARRY (1993) “*Guía completa de escultura modelado y cerámica. Técnicas y materiales*”. tursen hermann blume ediciones
- MUÑEZ VIÑAS Salvador, OSCA PONS Julia, GIRONÉS SARRIO Ignasi (2014), *Diccionario Técnico de materiales de la restauración*, Ediciones Akal, Madrid.
- PARICIO Ignacio, *Pátina o suciedad*, Ediciones Bisagra, 2002
- PROYECTO COREMANS, (2015) “*Criterios de intervención en materiales metálicos*”. Secretaria General Técnica
- Confederación Europea de Organizaciones de Conservadores-Restauradores (2002), *Directrices profesionales de E.C.C.O: La profesión y su código ético*, Bruselas
- L. GIANINI, (2011) “*Corrosion behavior of bronze alloys exposed to urban and marine environments: an innovative approach to corrosion process understanding and to graphical results presentation*”. *Materials and Raw Materials Engineering and Analytical chemistry*, Ghent - Rome.
- C. CHIAVARI, A. BALBO A., E. BERNARDI C, C. MARTINI D, F. ZANOZZO, I. VASSURAC, M.C. BIGNOCHI, C. MONTICELLI, “*Organosilane coatings applied on bronze: Influence of UV radiation and thermal cycles on the protectiveness*”. *Progress in Organic Coatings* 82 (2015) 91-100.