



Universidad Autónoma  
del Estado de México

---

# ESCULTURAS *de* BRONCE

---

CORROSIÓN Y PÁTINA

RICARDO VICTORIA LEÓN | CARLOS EDUARDO BARRERA DÍAZ  
BERNARDO FRONTANA URIBE







ESCULTURAS  
*de*  
BRONCE  
— CORROSIÓN Y PÁTINA —



**Universidad Autónoma  
del Estado de México**

**Dr. en Ed. Alfredo Barrera Baca**  
**Rector**

**Dr. en C. I. Amb. Carlos Eduardo Barrera Díaz**  
**Secretario de Investigación y Estudios Avanzados**

**Dr. en C. Erick Cuevas Yañez**  
**Director de la Facultad de Química**

**Mtra. en Admón. Susana García Hernández**  
**Directora de Difusión y Promoción de la Investigación  
y los Estudios Avanzados**

**L.L.L. Patricia Vega Villavicencio**  
**Jefa del Departamento  
de Producción y Difusión Editorial**



---

ESCULTURAS  
*de*  
BRONCE  
CORROSIÓN Y PÁTINA

**RICARDO VICTORIA LEÓN | CARLOS EDUARDO BARRERA DÍAZ  
BERNARDO FRONTANA URIBE**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS AVANZADOS

*Esculturas de bronce.  
Corrosión y pátina*

Ricardo Victoria León  
Carlos Eduardo Barrera Díaz  
Bernardo Frontana Uribe

Primera edición: septiembre de 2018

ISBN: 978-607-422-970-7

ISBN de versión para Internet: 978-607-422-969-1

© Universidad Autónoma del Estado de México  
Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados  
Instituto Literario núm. 100 Ote.  
C.P. 50000, Toluca, México  
[www.uaemex.mx](http://www.uaemex.mx)

En la portada *Leona Vicario* y contraportada detalle del *Monumento a la Autonomía*. Fotografías: Ricardo Victoria León.

El contenido de esta publicación es responsabilidad de los autores.

En cumplimiento del Reglamento de Acceso Abierto de la Universidad Autónoma del Estado de México, la versión electrónica de esta obra permanece a disposición del público en el repositorio de la UAEM (<http://ri.uaemex.mx>) para su uso en línea con fines académicos y no de lucro, por lo que se prohíbe la reproducción parcial o total, directa o indirecta del contenido de esta presentación sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito de los editores, en términos de lo así previsto por la Ley Federal del Derecho de Autor y, en su caso, por los Tratados Internacionales aplicables.

*Impreso y hecho en México*

# — ÍNDICE —

**09**  
PRÓLOGO

**13**  
INTRODUCCIÓN

**17**  
CAPÍTULO 1  
CONCEPTOS BÁSICOS

**31**  
CAPÍTULO 2  
METALURGIA DE LA FUNDICIÓN DE BRONCES  
Y LATONES

**41**  
CAPÍTULO 3  
FABRICACIÓN DE ESCULTURAS

**63**  
CAPÍTULO 4  
HISTORIA NATURAL DE LA PATOLOGÍA

**81**  
CAPÍTULO 5  
PROCESOS DE OXIDACIÓN EN LAS ESCULTURAS  
DE BRONCE

**109**  
CAPÍTULO 6  
PREVENCIÓN DE LA OXIDACIÓN

**123**  
CAPÍTULO 7  
ACTIVIDADES INAPROPIADAS DE RESTAURACIÓN

**135**  
CAPÍTULO 8  
EVIDENCIAS DE CORROSIÓN Y PÁTINA  
EN LAS ESCULTURAS DE BRONCE

**143**  
CAPÍTULO 9  
PRINCIPIOS BÁSICOS DE RESTAURACIÓN

**145**  
CONCLUSIÓN

**147**  
GLOSARIO

**151**  
ÍNDICE DE IMÁGENES

**161**  
FUENTES DE CONSULTA





# PRÓLOGO

Con verdadero beneplácito y muy satisfactoriamente, tuve contacto con esta investigación, la cual considero no sólo madura, sino rigurosa y plena de fecundos logros y de perspectivas sugerentes. Ricardo Victoria León, Carlos Barrera Díaz y Bernardo Frontana Uribe, autores de esta obra, han logrado un texto original, elaborado con un profundo conocimiento de las fuentes científicas invocadas. Este texto es resultado de arduas jornadas de trabajo, las que si bien han sido protagonizadas por la ciencia, también la pretensión de la difusión de la cultura ha estado presente en el interés de los autores; con ello, el fomento del humanismo se ha enriquecido y se ha vinculado a lo estrictamente científico.

Estimado lector, usted tiene en sus manos un libro acabado y autosuficiente, que no necesita prólogos ni glosas para su lectura; si bien su temática es novedosa y poco atendida, el mejor consejo es que se ponga ya en contacto con sus párrafos sin detenerse en las líneas del prólogo; de esta manera, podrá disfrutar la importante información contenida en esta investigación; pero si sigue usted en este párrafo, le diré que nuestros autores han empleado la información científica que dejan en su conocimiento, adicionando sus aportaciones con la exquisita sensibilidad que deja cumplir con el compromiso social, que se contiene en todo trabajo científico.

Otra de las bondades de este libro es que, por su naturaleza, a muchos de los lectores les habrá de provocar el interés de conocer, aún más, la temática

que se desarrolla en ellos: algunos por interés de saber la génesis de esta investigación que se contiene en la obra; otros, quizá, por interpretar el sentido del texto y, no pocos atraídos, por las interrogantes que la propia investigación provoca al estudiarla y analizarla con mayor profundidad.

Estoy plenamente convencido que el resultado del trabajo de nuestros investigadores, que ahora tiene usted en sus manos, le habrá de provocar toda una serie de inquietudes, porque es un tema poco analizado y que invita a la reflexión; inquietudes que, después de aceptar escribir este prólogo y leer su contenido, fueron apareciendo con un interés creciente y construyendo desde mi ignorancia científica, sugerencias que si pierdo el temor que acompaña al desconocimiento de un tema tan interesante, habré de presentárselas a alguno de los autores.

Sé que cuando tratamos de conocer más a fondo a los autores de un libro que nos atrae, los datos que, fríamente, se colocan en la obra, difícilmente nos hablan de la calidad humana y del esfuerzo, como en este caso, han realizado de seguro nuestros autores; éste es un gran impulso para lograr una obra de la calidad y la importancia de la que ahora nos ocupa. Los datos fríos y poco expresivos, desde el punto de vista humano, nos brindan un historial académico que nos dejan conocer, a cabalidad, la nobleza y el valor de un autor como los que ahora estamos conociendo: todo aquello que podamos escribir sobre Ricardo Victoria León, Carlos Barrera Díaz y Bernardo Frontana Uribe poco refleja de esa vida de trabajo y dedicación a la investigación y de la sólida madurez intelectual y el dominio de la investigación científica, que han logrado y que quedan entre las líneas de esta importante investigación; en particular, cuando nos ofrecen, como es el caso, un trabajo por demás original, de los pocos que pudiera haber en la historia de la investigación científica, sobre todo en la historia de la Química, del impacto ambiental en la obra urbana, y único, culturalmente hablando, en su tipo.

Bien cabría preguntarnos a todos aquellos que hemos estado cerca de la promoción cultural si alguna vez nos habíamos preocupado por conocer los datos que, fatalmente vinculados a la obra de arte, aparecen en este libro; ¿qué conjunción de propósitos, de voluntades y de azares condujo a sus autores, no sólo a disfrutar la obra creativa, sino a vincularla con la ciencia?; ¿cómo se definen y evolucionan los problemas a los que se enfrentan las obras de arte con el paso del tiempo y con su necesaria y obligada interacción con la cotidianidad y con el desarrollo urbano?; ¿qué otras preguntas nos surgen después de conocer el trabajo singular y único de nuestro autores? Los temas que se tratan parecen muy alejados de los problemas acuciantes y pasionales del mundo de la cultura y sin embargo ahí están fatalmente unidos y en no pocos casos compartiendo el destino y la vida útil de la obra de arte.

En los años iniciales de la década de los noventa del siglo xx, se estaba dando impulso decisivo al desarrollo de la investigación científica, en nuestro Estado de México y, sobre todo, en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), la labor de incrementar sólidas líneas de trabajo, con la aparición de diversos núcleos académicos interesados en el desarrollo formal de la investigación científica y relacionados con temas unidos a la cultura, fue una preocupación y una ocupación de investigadores universitarios.

Yo quiero interpretar la aparición de *Estatuas de bronce. Corrosión y pátina* con el auge que, en aquel entonces, toma la investigación; yo quiero pensar que el interés de nuestros autores de alguna manera se motivó en algún momento, desde aquel incipiente esfuerzo universitario y que ahora ha colocado a la UAEM en un lugar preponderante en la investigación científica de nuestro país; y su novedosa preocupación por los aspectos culturales, porque no podemos dudar del interés que se localiza en el contenido de esta investigación que nuestros autores demuestran por la integración de la ciencia dentro de la cultura humanista.

Hasta aquí estas líneas, que si bien están construidas con todo afecto y admiración para los redactores de esta obra, seguramente usted que las está leyendo lo que quiere es ya establecer contacto con el material de esta investigación; por ello, ya sólo me concretaré a remarcar dos aspectos que —a mi juicio— nos ofrece este libro: en primer término, pocas obras como ésta nos permiten pensar en las relaciones entre la ciencia y la vida cotidiana de la ciudad; y en segundo término, este libro subraya la necesidad de investigar sobre los materiales que utilizan los artistas y creadores de la obra de arte; de manera tal que aparecen, también, como protagonistas en el desarrollo de la cultura; sin duda, la presencia de los químicos científicos, incorporándose en estos campos de la investigación, permite impulsar nuevas áreas culturales, así como realizar valiosas aportaciones.

Mtro. en D. Marco Antonio Morales Gómez

Ex rector de la Universidad Autónoma del Estado de México (1993-1997)





# INTRODUCCIÓN

Los seres humanos estamos acostumbrados a mirar sin observar, salvo en el caso de que algún cambio sea excepcional y se registre en nuestra memoria. Esto sucede con el paisaje urbano, donde nos parece normal que una estatua o un centro escultórico presente un atractivo estético poco usual. Las transformaciones que sufren las esculturas o monumentos no los detectamos; sin embargo, al observar de forma detallada, sí existe un deterioro pequeño en estas piezas; es entonces cuando sí apreciamos el cambio.

Explicar en el aula de estudios universitarios o en espacios de difusión cultural temas metalúrgicos a personas no especialistas implica un compromiso, porque una situación es escribir una fórmula teórica en el pizarrón; y otra muy distinta, explicar el comportamiento de ese proceso metalúrgico empleando la fórmula teórica y, aún más, estar en presencia del objeto físico.

En la vida cotidiana, no va a estar un especialista al lado nuestro para darnos detalle de la apariencia de la estatua; sin embargo, al existir una explicación previa o un documento en donde consultar estos temas sin tanta complicación, motiva a observar de forma diferente estos objetos, estatuas, esculturas o centros arquitectónicos. Por ello, este libro nace por un motivo muy claro: explicar a los alumnos, de la licenciatura en Química, la importancia de la metalurgia, pues en el programa de estudios se encuentra esta unidad de aprendizaje; sobre todo, cómo los estudiantes justifican los conocimientos relacionados con dicha unidad en el aula. De esta manera, el presente

documento está escrito de forma amena; esto no significa dejar a un lado el rigor en la investigación; por el contrario, en cada capítulo se explica, de forma detallada, conceptos relacionados con la metalurgia. Así, el libro se divide en nueve capítulos:

En el capítulo uno, establecemos algunos términos de referencia que se emplearán a lo largo del texto. Definimos qué es patrimonio cultural, y qué trascendencia tiene para cada ciudad; analizamos los bienes culturales de acuerdo con la UNESCO. Asimismo, definimos y diferenciamos qué es escultura, estatua y monumento.

La descripción de los dos metales más empleados para elaborar esculturas la estudiamos en el capítulo dos; se describen las distintas aleaciones que tiene el bronce con otros metales. Ejemplificamos con distintos diagramas la composición de los metales y analizamos características de distintas esculturas para determinar qué es un bronce falso.

Para el capítulo tres, detallamos las distintas etapas para la fabricación de la escultura; nombramos los distintos tipos de hornos para la fundición de la pieza: horno de crisol y horno de crisol de arcilla grafitada.

En el capítulo cuatro, el lector entenderá qué son las patologías; éstas propician el deterioro de una pieza o una escultura de bronce; en este apartado, describimos los distintos daños que sufren los monumentos, así cómo se pueden prevenir estas anomalías.

Se analizan, en el capítulo cinco, los distintos procesos de oxidación por los que pasa una pieza, y definimos qué es la pasivación y la corrosión, entre otros términos.

De acuerdo con el capítulo seis, hay métodos para prevenir la oxidación de las piezas de bronce; en esta sección, describimos algunos y definimos qué es el patinado y, sobre todo, damos ejemplos de los procesos químicos y electroquímicos que modifican la composición de una pieza.

Un evento casuístico puede desencadenar otro tipo de eventos relacionados con la causa original y, a partir de ello, construir un escenario positivo siempre y cuando la información ofrecida sea seria; esto pasó con la fallida restauración de la *Estatua ecuestre de Carlos IV*; en el capítulo siete, analizamos qué sucedió con esta pieza. También, describimos los procesos inadecuados que se usaron y ejemplificamos en dónde se tuvieron desaciertos al momento de restaurar *El Caballito*.

El capítulo ocho detalla con fotografías los daños que sufren distintas esculturas de bronce. Brindamos ejemplos y señalamos cómo se pueden evitar los procesos de oxidación.

En el último capítulo, enunciamos los principios básicos de una restauración, sobre todo, para que no se comentan errores con piezas de gran valor

artístico. Para un mejor entendimiento, el libro cuenta con un glosario de terminología metalúrgica relativa a las esculturas de bronce.

Quienes gustan de las artes apreciarán el valor de esta obra. Esperamos que este texto sirva de ilustración a los lectores para entender aún más qué son la corrosión y la pátina. No se tenía este tipo de texto; sin duda, este documento será un gran aporte al mundo de la restauración, pues se enfoca, sobre todo, al estudio de las piezas de bronce. El contenido de esta páginas servirá para apreciar aún más este tipo de obras.





## CAPÍTULO 1

# CONCEPTOS BÁSICOS

**E**l cobre es un metal que ha acompañado a la humanidad desde el empleo de herramientas, sus aplicaciones bélicas y artísticas fueron fundamentales; de ahí que tengamos excelentes esculturas de bronce, las cuales dieron notoriedad a los romanos.

La fluidez y la maleabilidad del cobre, junto con sus aleaciones, lo convierten en el metal perfecto para todas aquellas expresiones artísticas, por su comportamiento reológico y de tensión superficial, lo cual permite el llenado de pequeñas cavidades que realzan las características estéticas de la pieza.

En Nueva España, la metalistería estaba muy restringida por el conquistador español; sin embargo, encontramos en la cultura tarasca prehispánica objetos de cobre que denotan su sensibilidad artística y sus conocimientos metalúrgicos al respecto del comportamiento del cobre. Esa tradición se ha transmitido hasta la actualidad. Esto puede observarse en los talleres de Santa Clara del Cobre en el estado de Michoacán.

El patrimonio cultural de una ciudad, región o país es un elemento de identidad y desde luego conlleva el orgullo de pertenencia. Su estado de conservación es un indicador del grado de cultura que posee la sociedad y el gobierno en su conjunto.

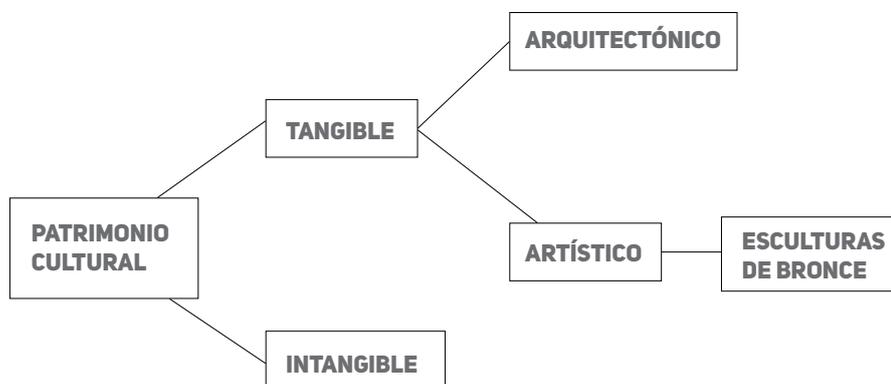
Nuestro objeto de estudio son las esculturas hechas de bronce, ya sean sólidas o huecas; las cuales forman parte del patrimonio cultural y artístico. Las esculturas que analizamos se encuentran en distintas ciudades: Toluca, Nuevo León, Durango y Nueva Orleans.

Las piezas de bronce se nombran independientemente de su fecha de manufactura y de su importancia relativa, ya que lo que nos interesa comentar en este libro es lo correspondiente a los aspectos estéticos y químico-metalúrgicos que intervienen en los procedimientos de conservación y restauración.

## PATRIMONIO CULTURAL

Es la herencia propia del pasado de una comunidad, mantenida hasta la actualidad y transmitida a las generaciones presentes y futuras. Es el conjunto de bienes tangibles e intangibles que constituyen la herencia de un grupo humano; que refuerzan, emocionalmente, su sentido de comunidad con una identidad propia y que son percibidos por otros como característicos. Como producto de la creatividad humana, el patrimonio cultural se hereda, se transmite, se modifica y se optimiza de individuo a individuo y de generación a generación.

**IMAGEN 1.**  
Localización de las  
esculturas de bronce  
en la clasificación de  
patrimonio cultural.



Este patrimonio se subdivide en tangible —bienes muebles y bienes inmuebles— constituido por objetos que tienen sustancia física y pueden ser conservados y restaurados por algún tipo de intervención; son manifestaciones sustentadas por elementos materiales, es decir, productos de las artes, la arquitectura, el urbanismo, la arqueología, la artesanía, entre otros.

De acuerdo con el Consejo para la Cultura y las Artes (CONACULTA), el patrimonio cultural se integra por:

*Patrimonio tangible:* bienes muebles e inmuebles elaborados por el hombre en el pasado. Estos bienes son de valor desde el punto de vista arquitectónico, arqueológico, histórico, artístico o científico. Dentro de este patrimonio hay diversos tipos: arquitectónico, arqueológico, histórico y artístico, entre otros.

*Patrimonio artístico:* dentro del patrimonio artístico se encuentran las pinturas, las esculturas, las realizaciones de las artes decorativas o menores, así como otras manifestaciones. También podemos considerar los murales y vitrales,

puertas, ventanas, algunas decoraciones en fachadas y lámparas, entre otros objetos. En las ciudades encontramos gran variedad de muestras de patrimonio artístico, como esculturas urbanas o en relieve, estatuas, monumentos conmemorativos, bustos, fuentes, portales, mausoleos (CONARTE, 2018: s/p).

## BIENES CULTURALES

La UNESCO define bienes culturales como:

La expresión *bienes culturales*, ideada para satisfacer la necesidad de una designación que incluya la mayor parte de los objetos materiales asociados a las tradiciones culturales, está entrando gradualmente en el uso común. Los bienes culturales se clasifican con frecuencia en dos grandes categorías:

1. Los bienes muebles, ya sean obras de arte, libros, manuscritos u otros objetos de carácter artístico o arqueológico y, en particular, las colecciones científicas.
2. Los bienes inmuebles, tales como monumentos arquitectónicos, artísticos o históricos, lugares arqueológicos y edificios de interés histórico o artístico (UNESCO, 1969: s/p).

## TÉRMINOS APLICABLES DE REFERENCIA

Ahora vamos a establecer algunos términos de referencia, pues más adelante nos servirán para describir mejor la obra que estamos analizando; además de ir ejemplificando cada uno de éstos. Para ello, empleamos las definiciones de los diferentes tipos de obras.

Es muy importante que establezcamos un ejemplo de esta nomenclatura para ir entendiendo el objeto de este libro; las obras nos interesan por su belleza estética, por su simbología histórica o porque es un referente en la ciudad.

Admirar una obra significa apreciar lo que consideramos importante como es lo que representa, sus características materiales, su autor, el lugar en donde se encuentra y, sobre todo, la descripción de su estado actual, entendiendo la razón por la cual la obra tiene determinada apariencia o colocación; pero lo más trascendente será que a partir del conocimiento de estas características se respete la obra y, en la medida de lo posible, evitar que le causen daños.

Sin embargo, no siempre es posible encontrar todos los datos en el mismo lugar; nos referimos a la información que debería estar grabada en la obra metálica, pues la que se encuentra es sólo una placa que indica la fecha en que la autoridad en turno la inauguró sin dar más información y aún más: el no

tener una memoria técnica de las operaciones de conservación-restauración; esto complica la actividad del restaurador profesional.

## TIPO DE OBRA

1. *Escultura*: elemento en tres dimensiones que materializa un concepto de expresión artística. La escultura es aquel arte que permite modificar, moldear o esculpir la materia para realizar la representación de una forma en tres dimensiones. Se denomina escultura a un tipo de arte o aquella técnica que permite a una persona moldear, esculpir, tallar, fundir o vaciar objetos a través del manejo o labrado de diversos materiales como la piedra, madera, barro, arcilla, oro, plata y bronce.
2. *Estatua*: obra que representa parcial o totalmente la figura humana. En función de su actitud, puede presentar las siguientes denominaciones:
  - :: Propia, en pie.
  - :: Sedente, sentada.
  - :: Yacente, tumbada, por lo general, sobre un sarcófago.
  - :: Ecuestre, a caballo.
  - :: Orante, arrodillada.
  - :: Oferente, ofreciendo presentes.

Por la zona del cuerpo humano que representa, se distingue:

- :: Busto: si muestra sólo la cabeza y la parte superior del tórax.
  - :: Herma: un busto que se prolonga por su base en forma de alto pedestal, más estrecho hacia abajo y sin solución de continuidad con la figura.
  - :: Torso: fragmento de escultura sin cabeza, piernas y brazos (típica en escultura romana, añadiéndose el resto del cuerpo en piedra de distinto color y textura).
3. *Monumento escultórico*: edificación pública o privada, cuyo destino es perpetuar la memoria de algún personaje o acontecimiento. Es una escultura grande y compleja, porque es escultura y monumento al mismo tiempo. De acuerdo con la Real Academia Española, se define como: “1. Obra pública y patente en memoria de alguien o algo. 2. Construcción que posee valor artístico, arqueológico, histórico” (RAE, 2002: 1534).

## TIPO DE MONUMENTOS

En el Reglamento sobre la Ubicación, Edificación y Conservación de Monumentos y Esculturas Urbanas del municipio de Santa Catarina, Nuevo León, los monumentos se clasifican en:

- ⌘ Civil o popular: el que se erige en memoria de algún personaje o acontecimiento de la sociedad civil.
- ⌘ Cultural: el que se refiere a un tema de la cultura y el arte.
- ⌘ Histórico: el que se erige en memoria de algún personaje o suceso histórico.
- ⌘ Militar: el que erige en plano simbólico o un concepto o acontecimiento castrense.
- ⌘ Privado: son los que se ubican en propiedad privada.
- ⌘ Público: son los que se ubican en áreas públicas.
- ⌘ Símbolo escultórico: expresión de un concepto o acontecimiento representado mediante un conjunto de elementos tridimensionales (UECMEU, 2018: 2).

## COMPONENTES DE LOS MONUMENTOS

- ⌘ Basamento: especie de gran zócalo continuo que sirve de base a una construcción.
- ⌘ Explanada: superficie de terreno allanado.
- ⌘ Fuente: elemento que contiene agua, ya sea a manera de espejo o en movimiento.
- ⌘ Instalaciones: facilidades con las que cuenta el monumento, ya sean de energía eléctrica, hidráulica, sanitarias y de elementos mecánicos.
- ⌘ Pedestal: cuerpo o soporte que sostiene una estatua o escultura; volumen sobre el que se asienta un cuerpo para que esté a mayor altura.
- ⌘ Placa: lámina de metal o piedra, donde se inscriben los textos alusivos del monumento.
- ⌘ Plataforma: superficie plana que sobresale del nivel de piso.
- ⌘ Plaza: lugar abierto que sirve para adorno y esparcimiento, conformado por la vialidad y los edificios circundantes.
- ⌘ Protectores: dispositivos que sirven para conservar la integridad de las personas y las condiciones físicas del monumento.
- ⌘ Accesorios: todos los demás componentes de la edificación.

El restaurador tiene la sensibilidad artística para entender la estética de una escultura para llevar a cabo las actividades de conservación-restauración; mientras que el químico es el tecnólogo conocedor de los materiales de construcción de la pieza. La conjunción exitosa de ambos permite una restauración exitosa de la obra que, bajo otras consideraciones, estaría perdida para las futuras generaciones. El conservador-restaurador tiene como objeto de trabajo mitigar y controlar el deterioro de la pieza y regresar la apariencia de ésta a su estado original.

A continuación, presentamos un ejemplo de esta terminología de referencia, empleamos el monumento al general José Vicente Villada, el cual se encuentra en las confluencias de la avenida Villada y Paseo Colón en Toluca.



**IMAGEN 2.** *José Vicente Villada.* Monumento escultórico e histórico, con basamento emplazado, plataforma jardineada y pedestal; cadenas protectoras, todo ello en armonía. La estatua es de bronce al estaño plomo, presenta superficialmente un color marrón. Se ubica al inicio de Paseo Colón y se orienta hacia el norte con su placa de identificación del personaje de referencia. El general José Vicente Villada fue el último gobernador porfiriano, se distinguió por promover los ambientes laborales sanos para los trabajadores y fue un buen gobernante.

Otro ejemplo es el caso de la escultura a don Ignacio Manuel Altamirano, que se encuentra en el pórtico de Rectoría de la Universidad Autónoma del Estado de México.



**IMAGEN 3.** *Ignacio Manuel Altamirano*, estatua hecha en bronce con acabado patinado. Se puede observar el nombre del autor en la base, Olaguíbel, además en los accesorios se nota el reflector que ilumina de forma ascendente.

## QUÍMICA EN EL ARTE Y EN LA RESTAURACIÓN

A lo largo del desarrollo de la humanidad, la Química ha estado siempre presente; desde los alquimistas que querían transmutar el plomo en oro, los ensayadores que determinaban la concentración del oro en una determinada mena hasta los fundidores que preparaban las aleaciones para moldear diversos objetos metálicos diseñados por los escultores.

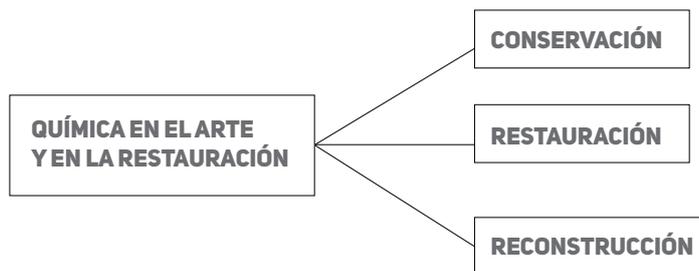
Los artistas, para expresar el arte en cualquiera de sus expresiones, emplean los materiales más disímolos en donde se aprecia mejor la estética de la obra; sin embargo, en ese momento creativo, no reflexionan al respecto de la durabilidad de una obra de arte y creen que ésta es inmortal. Dentro de este gran grupo de materiales se encuentran los metales y aleaciones, con los cuales se realizan esculturas. Sin embargo, las condiciones del medioambiente cambian, y la obra queda expuesta tanto a los agentes ambientales como a los agentes antropogénicos que la deterioran. El patrimonio cultural tangible artístico, representado por esculturas, estatuas y monumentos escultóricos, que admiramos al llegar a una ciudad, por ser un punto de referencia, por su importancia histórica, por el artista que llevó a cabo la obra, por su belleza estética, está sujeto a deterioro por las condiciones del medioambiente; éstas, por lo común, son muy diferentes a las que existían cuando la obra quedó terminada y expuesta por vez primera en exteriores, condiciones que conocemos como agentes naturales y antropogénicos de intemperismo.

Es aquí donde surge el reto para el profesional de la restauración, ya que debe de tener un amplio conocimiento de los materiales para, en principio, mitigar el proceso de deterioro y después realizar los procesos de restauración, recuperación o reconstrucción para que la pieza mantenga su belleza histórica y sea un legado para las futuras generaciones.

La Química en el arte y la restauración es la herramienta fundamental para llevar a cabo los procesos antes descritos. En el mundo entero, se reconocen términos y procesos de restauración a los cuales nuestro país está adherido, comenzando por la Carta del Restauo (1972) de la UNESCO. Por ello, conocer y dominar la tecnología metalúrgica es de primordial importancia para salvaguardar nuestro patrimonio cultural artístico.

En la imagen 4 señalamos las actividades existentes en la Química en el arte y en la restauración; son secuenciales, es decir, sino existe daño y puede preverse, primero es la conservación; después sigue la restauración si el daño es observable, pero es mitigable y controlable. Si el daño es mayor e incluso se ha perdido materia, entonces se inicia una reconstrucción.

**IMAGEN 4.**  
Operaciones que se efectúan en la Química en el arte y la restauración



## CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

El objetivo de la conservación consiste en detener el deterioro, mitigarlo, y luego en la restauración, tratar de regresar a las condiciones que tenía la obra originalmente. Esto no significa que se debe de regresar la pieza a las mismas condiciones cuando fue creada; sino que se deben respetar las condiciones de desgaste y deterioro normales de cualquier objeto representativo, considerado como patrimonio cultural. Todas estas operaciones y procesos de mantener una obra de arte en un buen estado de conservación requieren de una u otra forma de otras ciencias que estudian a los materiales, sus propiedades y su comportamiento; en particular, la Química tiene una gran intervención en estos procesos de conservación.

La conservación involucra, en sí, procesos de restauración y reconstrucción dependiendo del grado de deterioro de la obra, en los términos establecidos en la Carta del Restauo<sup>1</sup> (UNESCO) de 1972.

La Química es la gran herramienta del conservador-restaurador; de hecho, los trabajos más exitosos son los que se llevan a cabo multidisciplinariamente, ya que el conservador-restaurador conoce historia del arte, tiene una gran sensibilidad estética y el profesional de la Química posee un gran conocimiento de los metales y aleaciones, su comportamiento y, por tanto, puede llevar a cabo las operaciones químicas correspondientes; por ejemplo, la limpieza de un monumento pétreo o de una escultura metálica.

Antes de cualquier intervención química en una obra de arte, se debe conocer perfectamente el material del que está hecha, el proceso de fabricación y las condiciones de deterioro que llevaron a la pieza a su estado actual; de esta manera, se determina la estabilidad química de la obra.

Es una condición general de comportamiento de cualquier metal o aleación deteriorarse en mayor o menor grado; por ejemplo, el oro casi no reacciona con los agentes de intemperismo; sin embargo, la plata se va oscureciendo poco a poco dependiendo de la agresividad del medio. Las aleaciones a base de cobre van adquiriendo diferentes coloraciones y tonalidades; por una parte, atestiguan su antigüedad; por otra parte, mejoran su belleza estética, si están bien conservadas; sin embargo, también se puede transformar en *herrumbre*, como se conoce comúnmente a una pieza que ya no tiene posibilidad de restauración y entonces se debe llevar a cabo la reconstrucción.

En el arte, la Química puede actuar en sentido positivo y lograr un salvamento exitoso y plausible de un objeto o puede llevarlo a una destrucción en sentido negativo, cuando se empleó a la Química de manera irresponsable.

---

<sup>1</sup> Este documento se conoce con tres nombres: Carta del Restauo, Carta de Venecia y Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios.

La conservación es una actividad profesional que conjunta términos prácticos, técnicos y teóricos en las actividades que le competen; los conservadores interpretan los valores reconocidos en el bien cultural y crean una estrategia de trabajo delimitada por ejes éticos de la propia profesión, así como de cartas, acuerdos, documentos, convenciones y legislaciones locales e internacionales. La conservación está dividida en tres campos de acción: preventiva, curativa o directa y restauración. La conservación consiste en el examen técnico. Éste es el primer paso que se lleva a cabo para determinar la estructura original y los componentes de un objeto, así como el alcance de los deterioros, alteraciones y pérdidas que sufre y la documentación sobre los descubrimientos realizados. A continuación, se define en qué consisten los campos de la conservación:<sup>2</sup>

*Conservación preventiva:* consiste en todas aquellas medidas, políticas y acciones que tengan como objetivo evitar, retardar o minimizar futuros deterioros o pérdidas en el patrimonio cultural. La conservación preventiva es considerada como sistema de mayor eficacia para promover la integridad a largo plazo de los bienes culturales.

*Conservación correctiva:* son todas aquellas acciones aplicadas de manera directa sobre un bien o un grupo de bienes culturales que tengan como objetivo detener los procesos dañinos presentes o reforzar su estructura con la menor cantidad posible de alteraciones.

*Restauración:* son todas aquellas acciones que se realizan de forma directa en un objeto concreto individual y estable, que tengan como objetivo facilitar su apreciación, comprensión y uso. Estas acciones sólo se realizan cuando el objeto ha perdido una parte de su significado o función a través de una alteración o un deterioro pasado. En la mayoría de los casos, estas acciones modifican el aspecto del bien, buscando devolver al objeto su significado, y preservarlo para el futuro. La restauración es la actividad realizada para convertir identificable un objeto deteriorado, sacrificando el mínimo de su integridad estética e histórica.

## RECONSTRUCCIÓN

Cuando la pieza tiene un daño permanente o incluso se ha perdido parte de ésta, la UNESCO permite su reconstrucción, siempre y cuando, en la placa descriptiva de la obra correspondiente se indique que para efectos de una mejor

---

<sup>2</sup> s/a, “Conservación y restauración” en Wikipedia. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Conservaci%C3%B3n\\_y\\_restauraci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Conservaci%C3%B3n_y_restauraci%C3%B3n).

aparición y comprensión, la obra se ha reconstruido; esto permitirá ayudar a su equilibrio estático.

## MARCO NORMATIVO Y LEGAL PARA LA SALVAGUARDA DEL PATRIMONIO CULTURAL DE MÉXICO

Las actividades que desarrollan los restauradores (conservador-restaurador) tienen un marco de actuación delimitado por los lineamientos y acuerdos que México ha signado ante la UNESCO para la preservación del patrimonio cultural. En el ámbito internacional, los países miembros de dicha organización cuentan con el tratado internacional denominado la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, en donde se contemplan los alcances y limitaciones que se tienen al momento de decidir entre operaciones de conservación, restauración y reconstrucción.

A continuación, citamos algunos párrafos del documento que se conoce como Carta del Restauo. Éstos son aplicables significativamente para las actividades de conservación-restauración.

Carta Internacional sobre la Conservacion y la Restauracion de Monumentos y Sitios (1972):

Art. 1. Todas las obras de arte de todas las épocas, en la acepción más amplia, que va desde los monumentos arquitectónicos a los de pintura y escultura, aunque sean fragmentos, y desde el hallazgo paleolítico a las expresiones figurativas de las culturas populares y del arte contemporáneo, pertenecientes a cualquier persona o ente, con la finalidad de su salvaguardia y restauración, son objeto de las presentes instrucciones que toman el nombre de Carta del Restauo 1972.

Art. 4. Se entiende por salvaguardia cualquier medida conservadora que no implique la intervención directa sobre la obra; se entiende por restauración cualquier intervención encaminada a mantener vigente, a facilitar la lectura y transmitir íntegramente al futuro las obras de arte y los objetos definidos en los artículos precedentes.

Art. 7. En relación con los mismos fines del artículo 6, e indistintamente para todas las obras definidas en los artículos 1, 2 y 3, se admiten las siguientes operaciones o reintegraciones:

1) Añadidos de partes en función estática o reintegraciones de pequeñas partes históricamente verificadas, llevadas a cabo según los casos o determinando de forma clara la periferia de las integraciones o bien adoptando material diferenciado, aunque acorde, claramente distinguible a simple vista, en particular en los puntos de encuentro con las partes antiguas, que además deben ser marcadas y fechadas donde sea posible.

2) Limpiezas que, para las pinturas y las esculturas policromadas, no deben llegar nunca al esmalte del color, respetando la pátina y los posibles barnices antiguos; para todas las otras clases de obras no deberán llegar a la superficie desnuda de la materia que conforma las propias obras de arte.

Art. 8. Toda intervención sobre la obra, o junto a ella, según los fines definidos en el artículo 4, debe realizarse de tal forma y con tales técnicas y materiales que puedan dar la seguridad de que en el futuro sean posibles nuevas intervenciones de salvaguardia o restauración. Además, toda intervención debe ser estudiada previamente y argumentada por escrito (último apartado del art. 5) y durante su curso deberá llevarse un diario, al que seguirá un informe final, con la documentación fotográfica de antes, durante y después de la intervención. Además, se documentarán todas las investigaciones y análisis que eventualmente se realicen con el auxilio de la Física, la Química, la Microbiología y otras ciencias. De todas estas documentaciones se depositará una copia en el archivo de la superintendencia competente y se enviará otra al Instituto Central de Restauración. En el caso de limpiezas, en un lugar de la zona tratada, a ser posible marginal, deberá conservarse un testigo del estado anterior a la intervención, mientras que, en el caso de añadidos, las partes eliminadas deberán ser conservadas o documentadas, en la medida de lo posible, en un archivo-depósito especial de las superintendencias competentes (UNESCO, 1972: s/p).

## MARCO NORMATIVO EN MÉXICO

A continuación, se presenta una lista enunciativa, no limitativa, de la legislación mexicana relacionada con la conservación y restauración del patrimonio cultural:

DOCUMENTO	AÑO DE SU FIRMA
1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (última reforma)	1997
2. Ley General de Bienes Nacionales	1994
3. Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas	1972

4. Reglamento de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas-INAH	1993
5. Ley Orgánica del Instituto Nacional de Antropología e Historia-INAH	1985
6. Reglamento del Consejo de Arqueología-INAH	1994
7. Ley Aduanera (modificada el 2 de febrero de 2016)	1995
8. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente LGEEPA-SEMARNAT (modificada)	1988-1996

En una operación de conservación-restauración debe considerarse una regla no escrita, la cual dice: “Si la pátina es estable, debe conservarse”, además del cumplimiento de los preceptos establecidos en la Carta del Restauero.

El restaurador de este tipo de esculturas debe hacer acopio de toda la información posible al respecto de la pieza: el tipo de aleación, el método de manufactura, de tal forma que se tenga una idea clara del material que se va a tratar y, sobre todo, cuál es el objetivo de la conservación-restauración para no cometer errores que después se produzca un daño irreversible.

Por una parte, cuando a algún monumento, escultura, estatua se le interviene y se le deja “como nueva”, ésta pierde su valor histórico y artístico. Por otra parte, en este contexto hay que distinguir piezas naturalmente antiguas, de piezas envejecidas de manera artificial, aunque el propósito de estas últimas sea el de una modificación visual de forma estética.





## CAPÍTULO 2

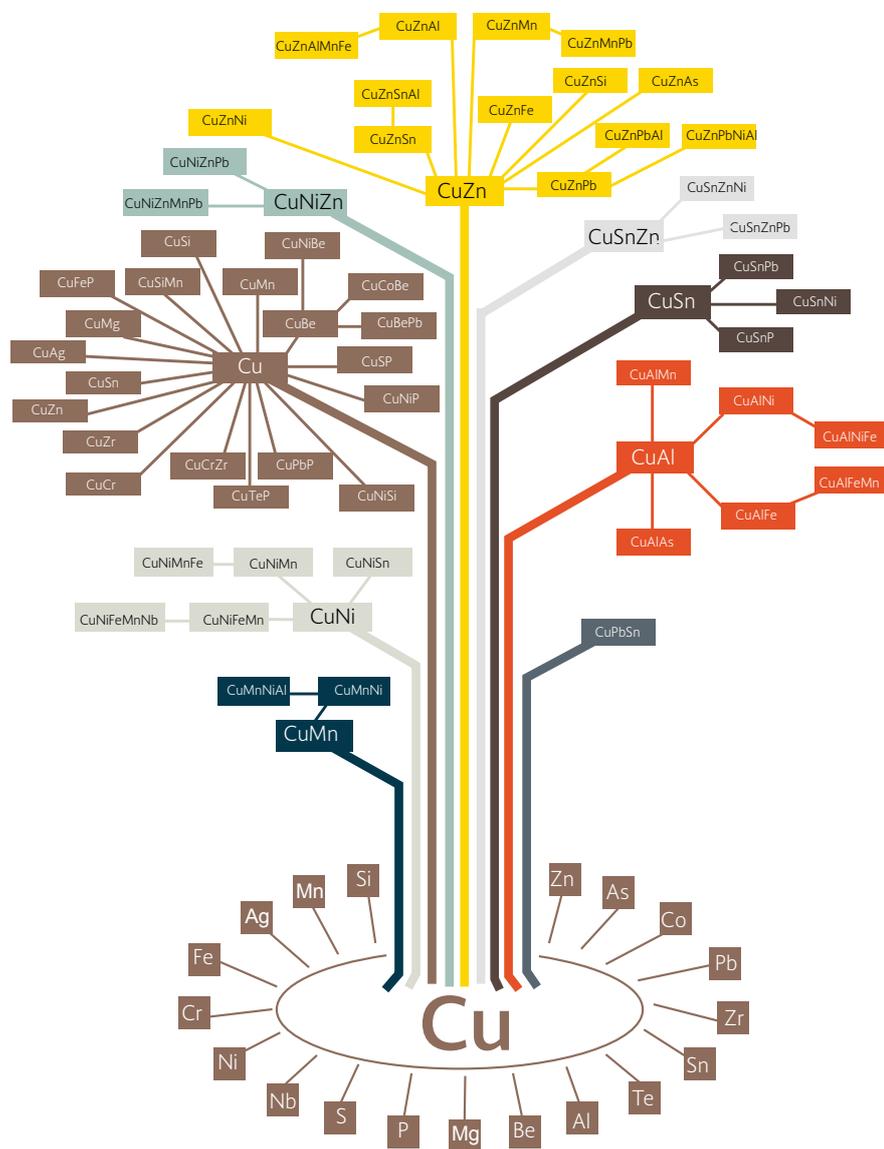
# METALURGIA DE LA FUNDICIÓN DE BRONCES Y LATONES

Los materiales más empleados para la fabricación de esculturas metálicas son el bronce y el latón, los cuales poseen aleaciones metálicas de base cobre, es decir, en su composición química el metal que se encuentra en mayor concentración es el cobre y como elementos de aleación pueden estar otros elementos metálicos: estaño, zinc, plomo, antimonio y aluminio con adiciones de otros elementos no metálicos como el silicio.

Estas aleaciones de cobre tienen diferentes aplicaciones, pero entre las más antiguas está la fabricación de esculturas; además, son empleadas por la facilidad que presentan para fundirse y vaciarse en un molde por su alto grado de fluidez; por sus características de tensión superficial pueden replicar los detalles que el escultor ha plasmado en su modelo. Por su color en diferentes tonos de dorado natural o ese verdoso patinado las hace que posean un atractivo estético importante, y finalmente su resistencia al deterioro, por efectos del medioambiente, hace que sean muy apreciadas como el metal favorito para crear una obra de arte.

La fundición artesanal ha variado a lo largo del tiempo. Preparar las aleaciones ha cambiado dependiendo de las materias primas. En la antigüedad, a partir de los minerales se obtenía el bronce arsenical, por su contenido de arsénico que se presenta de forma natural en los minerales, o la tumbaga que era una aleación con alto contenido de plomo. Hoy en día, la fundición de bronce y latón se puede realizar a partir de los metales puros o de chatarra de bronce y latón. Lo que sí es un hecho es que cada fundidor adiciona otras sustancias como antioxidantes, escorificantes y fluidificantes; su proporción es variable, ya que es el secreto de cada fundidor. Los minerales comunes empleados son cuprita, covelita, calcopirita, bornita (óxidos y sulfuros de cobre) con estannita y casiterita (óxidos de estaño) y esfalerita y cincita (sulfuro de zinc y óxido de zinc), también galena (sulfuro de plomo), calentados con carbón en un horno de crisol.

En teoría, el bronce y el latón son aleaciones binarias; en la práctica, resultan aleaciones ternarias o aún más complejas, como adelante se señalará. Debemos establecer que el bronce es una aleación de base cobre y estaño como aleante principal. El latón es una aleación base cobre, pero tiene zinc como aleante principal. Ambas aleaciones contienen otros elementos metálicos en menor proporción. Cada composición, de cada aleación, adquiere una tonalidad diferente.



**IMAGEN 1.** Árbol de las aleaciones del cobre. Este diagrama presenta las aleaciones principales para la manufactura de piezas fundidas y vaciadas en un molde, además de otro tipo de piezas de aplicación industrial.

El contenido de zinc, fundamentalmente, hace que la aleación se observe más latonada o dorada, menos zinc, pero más plomo y estaño; se observa un color marrón-rojizo oscuro; menos plomo marrón-rojizo claro. Algo que se debe señalar es que los bronce con alto zinc, aleaciones más doradas o amarillentas, se les permite ir adquiriendo una pátina natural, a los de menor contenido de zinc, es decir, el marrón oscuro, se les da una pátina verdosa para modificar su apariencia. También la adición de aluminio modifica el color, pero tiene el inconveniente de impartirle dureza a la aleación sólida, lo cual ocasiona que su maquinado sea más difícil.

El Instituto Europeo del Cobre presenta las siguientes definiciones:

#### Latón

Es una aleación de cobre y zinc. Cuando el porcentaje de zinc es inferior al 18%, el latón tiene un color rojo; al aumentarse el contenido de zinc, el metal se vuelve más claro y dorado. Esta aleación es más dura que el cobre puro. El latón fundido no es viscoso y se adapta perfectamente a moldes detallados. Muchos instrumentos musicales están hechos de latón.

#### Bronce

Es toda aleación de cobre y estaño. El contenido de cobre en esta aleación es generalmente superior al 60%. Se puede reconocer el contenido de estaño por el color del bronce: los tonos más dorados tienen un mayor contenido de estaño, mientras que los tonos más rojizos tienen un menor contenido de estaño. Además, el estaño ayuda a que se forme la característica pátina protectora que aumenta la dureza del cobre y su resistencia a la corrosión (Instituto Europeo del Cobre, 2017: s/p).

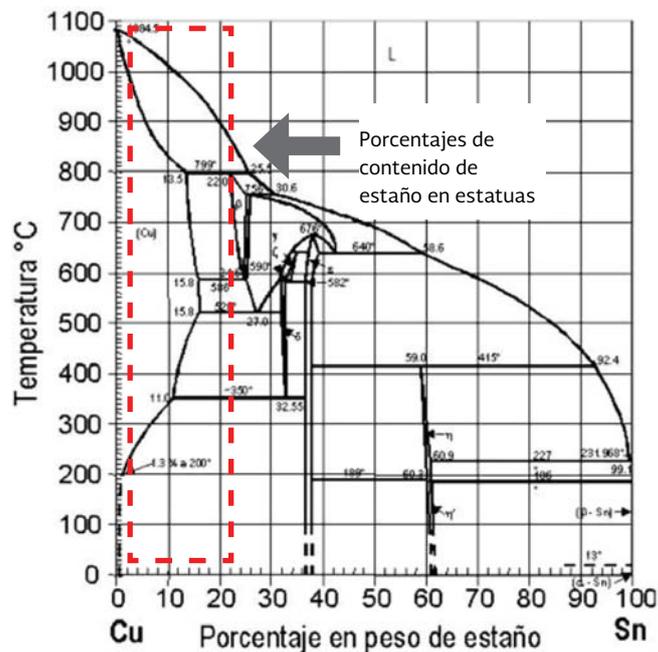
De acuerdo con nuestra experiencia en la preparación de latones y de bronce, controlar las temperaturas de fusión y su sobreelevación para preparar el vaciado es muy importante en dos sentidos: el primero de ellos es la sublimación y oxidación de los elementos de aleación de bajo punto de fusión, esto en el caso de temperaturas altas, pero en el otro extremo, temperaturas bajas, promoverán una disminución de la fluidez, y entonces no se tendrá el acabado superficial deseado.

En este caso, el metalurgista cuenta con la ayuda teórica del empleo adecuado de los diagramas de fase, en donde se establecen los puntos de fusión del cobre y del aleante principal y se observarán los rangos de fusión y de solidificación más apropiados para el proceso de vaciado dependiendo de las facilidades tecnológicas con las que se cuente, comenzando por la capacidad del horno disponible y de su forma de calentamiento. Tanto el estaño como

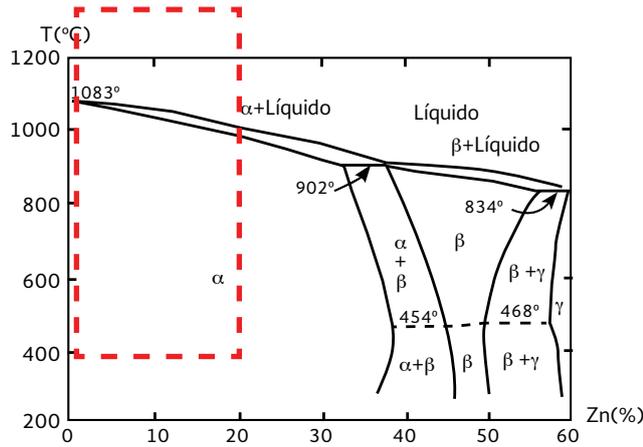
el zinc son considerados como metales blandos, por su bajo punto de fusión; ambos se consideran metales blancos, lo cual propicia que las aleaciones base cobre vayan perdiendo el color rojizo tradicional y se vayan teniendo diferentes tonalidades de dorado. El punto de fusión del estaño y del zinc es más bajo que el correspondiente al cobre puro. Con ello, definitivamente disminuye el punto de fusión de la aleación. Esto se puede observar en los diagramas de fase correspondientes.

Los diagramas binarios de fase nos presentan regiones en donde se encuentran fases que facilitan la fluidez de la aleación al estado líquido y, por lo tanto, el vaciado de estas aleaciones es un poco difícil; sin embargo, cada fundidor tiene sus secretos y agregan otros elementos metálicos para lograr estos efectos. Por ejemplo, agregar silicio a un latón mejora considerablemente su fluidez.

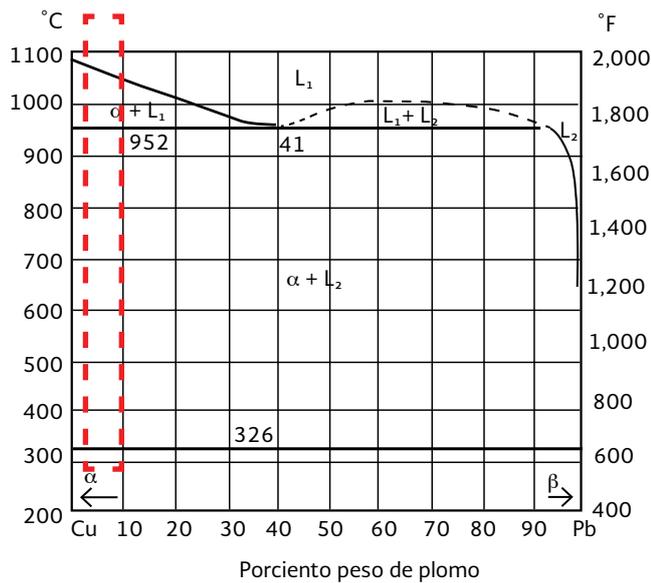
**IMAGEN 2.**  
Diagrama de fases Sn/Cu. Del lado izquierdo del diagrama desde los 1000°C hasta los 200°C y en un porcentaje hasta 15% de estaño se encuentran los broncees alfa.



Los diagramas binarios de fase nos indican las microfases existentes, las cuales se denominan con letras del alfabeto griego a partir de los dos extremos del diagrama y luego hacia el centro. De tal manera que estaremos observando las fases  $\alpha$  y  $\beta$  tanto en el diagrama de los broncees como en el de los latones. No todos los diagramas están completos, ya que no todas las composiciones resultan en aleaciones prácticas.



**IMAGEN 3.** Diagrama de fases Zn/Cu. En este diagrama, el campo de los latones alfa alcanza a llegar hasta 35% de contenido de zinc. Éste, en estatuas, se enmarca en rojo.



**IMAGEN 4.** Diagrama de fases Pb/Cu. Sólo se presenta una fase a diferencia de bronce y latones.

La Asociación Española de Normalización (UNE) tiene normalizadas a las aleaciones de cobre. La tabla 1 enuncia de manera genérica a los bronce en sus aplicaciones más comunes.

**TABLA 1**CLASIFICACIÓN Y USO DE ALEACIONES DE COBRE. NORMAS UNE-EN-1412:  
1996. UNE-EN-1982: 2009

- 0-310 Aleaciones Cu/Sn para moldeo
- 0-320 Aleaciones Cu/SN/Zn para moldeo
- 0-330 Aleaciones Cu/Sn/Pb para moldeo
- 0-710 Aleaciones Cu/SN para forja
- 0-720 Aleaciones Cu/Sn/Zn para forja

Elaboración: Ricardo Victoria León.

En la tabla 2, se pueden observar diferentes tipos de bronce, cuya composición química implica a los elementos de aleación antes mencionados; las dos primeras, siendo aleaciones ternarias, la sumatoria de los elementos de aleación principales, no llegan al 20%. Al compararse con los diagramas de fase, se observará que las aleaciones mencionadas presentan diferentes rangos de temperatura entre las líneas que representan el rango de solidificación.

**TABLA 2**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE DIFERENTES TIPOS DE BRONCES. EJEMPLO DE ANÁLISIS QUÍMICO  
DE BRONCES. NORMA UNE-EN- 1412:1996

EJEMPLO DE MATERIAL	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Sb	Fe	Bi
A	87	8.0	5.0					
B	85.14	4.76	4.56	4.35	0.88	0.13		
C	99.97		0.016	0.0024				0.0088

Elaboración: Ricardo Victoria León.

Los diagramas binarios de las imágenes 3 y 4 sólo consideran los dos metales más importantes para formar la aleación, aunque en realidad, como ya se ha mencionado antes, no existen aleaciones binarias puras, es decir, que por lo general existen otros elementos químicos en cantidades muy pequeñas como para ser tomadas en cuenta para formar una aleación terciaria. Estas trazas de elementos intervienen definitivamente en el comportamiento metalúrgico y es el secreto de cada fundidor y escultor. Diferentes composiciones se observan en la tabla 3.

## ALEACIONES BASE COBRE COMUNES PARA MOLDEO

**TABLA 3**  
CLASIFICACIÓN GENÉRICA DE LAS ALEACIONES BASE COBRE PARA MOLDEO

NOMBRE GENÉRICO	NÚMERO UNS	COMPOSICIÓN
Cobre	C80100-C81100	>99%Cu
Cobre diluido	C81300-C82800	>94% Cu
Bronces rojos al Pb y bronce rojos	C83300-C84800	Cu/Zn/Sn/Pb (75 a 89% Cu)
Bronces amarillos al Pb y bronce amarillos	C85200-C85800	Cu-Zn-Sn-Pb (57 a 74% Cu)
Bronces al Mn y Bronces al Mn con Pb	C86100-C86800	Cu/Zn/Mn/Fe/Pb
Bronces al Si y latones al Si	C87200-C91700	Cu/Zn/Si
Bronces al Sn y bronce al Sn con Pb	C92200-C92900	Cu/Sn/Zn/Pb
Bronces al Sn con alto % de Pb	C93200-C94500	Cu/Ni/Sn/Zn/Pb
Bronces al Al	C95200-C96700	Cu/Al/Ni/Fe
Cu/Ni	C96200-C96800	Cu/Ni/Fe
Ni/Ag	C97300-C97800	Cu/Ni/Zn/Pb/Sn
Cu/Pb	C98200-C98800	Cu/Pb
Otras aleaciones	C99300-C99750	

Fuente: American Society for Metals, (ASM, 1991).

En la tabla 3, se presentan diferentes tipos de aleaciones específicas para moldear, se puede observar que se les da el nombre genérico de bronce, citándose como “bronce al...”; ello quiere decir que es una aleación base cobre que contiene diferentes elementos de aleación en donde no necesariamente aparece el estaño.

Se han mencionado con insistencia, que antes existían latones, Cu/Zn, y bronce, Cu/Sn. En la actualidad, se denomina genéricamente a todas las aleaciones como bronce, agregando el nombre del metal, como bronce al manganeso, por ejemplo. La excepción son los cuproaluminios y cuproníqueles por su importancia industrial.

Como se mencionó en el capítulo uno, el bronce tiene muchas características deseables para la elaboración de esculturas y sus diferentes tipos, entre otras, posee la propiedad de expandirse cuando se está solidificando, lo que permite captar cualquier detalle superficial del molde y después contraerse al ir enfriándose y esto es de mucha ayuda para el desmoldeo. Su resistencia química ante agentes químicos de deterioro es buena. Al lograrse la formación de la pátina, la escultura se autoprotege del proceso de oxidación, no puede decirse lo mismo de la corrosión que al ir formando eflorescencias o productos de oxidación se comienza a perder masa.

## TONALIDADES DEL BRONCE

Las diferentes coloraciones y tonalidades que puede adquirir el bronce están en función de las diferentes composiciones químicas que tenga cada aleación. El latón suele tener un color brillante parecido al amarillo oro, a diferencia del bronce que suele tener un color más oscuro.

La imagen que se presenta a continuación corresponde a diferentes lingotes de bronce recién pulidos, es decir, no hay productos de oxidación sobre su superficie.

**IMAGEN 5.**  
Tonalidades del bronce. Esta escala se presenta sólo como referencia ilustrativa de comparación



Las piezas de bronce que están expuestas al medio ambiente cambiarán su tonalidad e incluso su color dependiendo del proceso de oxidación que se desarrolle.

## BRONCES FALSOS

Hemos considerado conveniente hacer un pequeño espacio en nuestro texto para aquellas piezas escultóricas que tienen la apariencia de bronce patinado, pero que en realidad es una estatua hecha con otro metal o aleación diferente de base cobre, como son los latones y los bronce, de costo más bajo. El proceso de fabricación puede ser el mismo que las estatuas; en realidad, se logran verdaderas obras de arte, consideradas éstas desde un punto de vista apreciativo estético de quien va a adquirirlas o mostrarlas. Por una parte, estas piezas también pueden ser réplicas de un original de mayor valor, pero que se exponen en exteriores o en lugares que ya se tiene el riesgo medido de un daño físico, sea natural o antropogénico por su origen.

Por otra parte, hay que establecer diferencias en el empleo del bronce falso: la primera es para obtener una ganancia indebida por hacer aparentar una obra como original, lo cual es fraude; la otra se usa para efectos ciertamente decorativos.

Podemos considerar a una pieza como antigua cuando cuenta tal vez con más de 100 años de su manufactura, con una pátina natural correspondiente a dicho lapso. Debemos subrayar que existen piezas antiguas y piezas envejecidas. Estas últimas, normalmente, tratan de imitar a la pátina natural con un proceso acelerado de corrosión.

Una pieza antigua forma parte de una colección de un particular, de un museo o de alguna institución. Su antigüedad no es tan importante como sí lo es el conjunto del cual forma parte. La estatua puede estar documentada como algo coleccionable y de época.

Una réplica o reproducción es una estatua creada con el objeto de imitar un original; asimismo, no está hecha de bronce y no tiene valor en el mercado de antigüedades. Su valor, como objeto decorativo, puede ser considerable. Existen réplicas tan bien hechas que a una persona no experta le resulta difícil distinguirla de una pieza auténtica. Por último, también es conveniente comentar que es válida la exposición de réplicas o reproducciones certificadas cuando se hace explícita la mención.

Las estatuas de bronce falso pueden estar fabricadas con diferentes materiales tanto metales y aleaciones como de otros materiales: fibra de vidrio o los materiales aglomerados con resinas acrílicas; en ambos casos, lo importante es el acabado que imita efectos de envejecimiento muy originales y genuinos.

Dentro de los metales y aleaciones, se encuentra el antimonio bronceado, las aleaciones antimonio-zinc-magnesio aluminizadas y el aluminio anodizado.





## CAPÍTULO 3

# FABRICACIÓN DE ESCULTURAS

La fabricación de esculturas, estatua o monumento, requiere buena coordinación entre el artista, el modelo y el fundidor; este último es quien diseña la mejor forma de vaciarlo en el molde a partir de la aleación de bronce que se vaya a preparar. Cabe mencionar que muchos fundidores guardan celosamente sus procedimientos. En la actualidad, se tienen muchas herramientas tecnológicas para elaborar una pieza de este tipo, lo cual no puede decirse de aquellas piezas que fueron hechas hacia finales del siglo XIX y principios del XX, por lo voluminoso de las piezas, por la capacidad de fusión del horno y por los materiales para hacer los moldes. Existen diferentes métodos para elaborar esculturas, cada taller tiene su técnica; una escultura que sobresale es la *Estatua ecuestre de Carlos IV*, hecha por el arquitecto y escultor Manuel Tolsá, la cual fue fundida y vaciada en una sola pieza, algo inusitado para la época en la que se hizo.



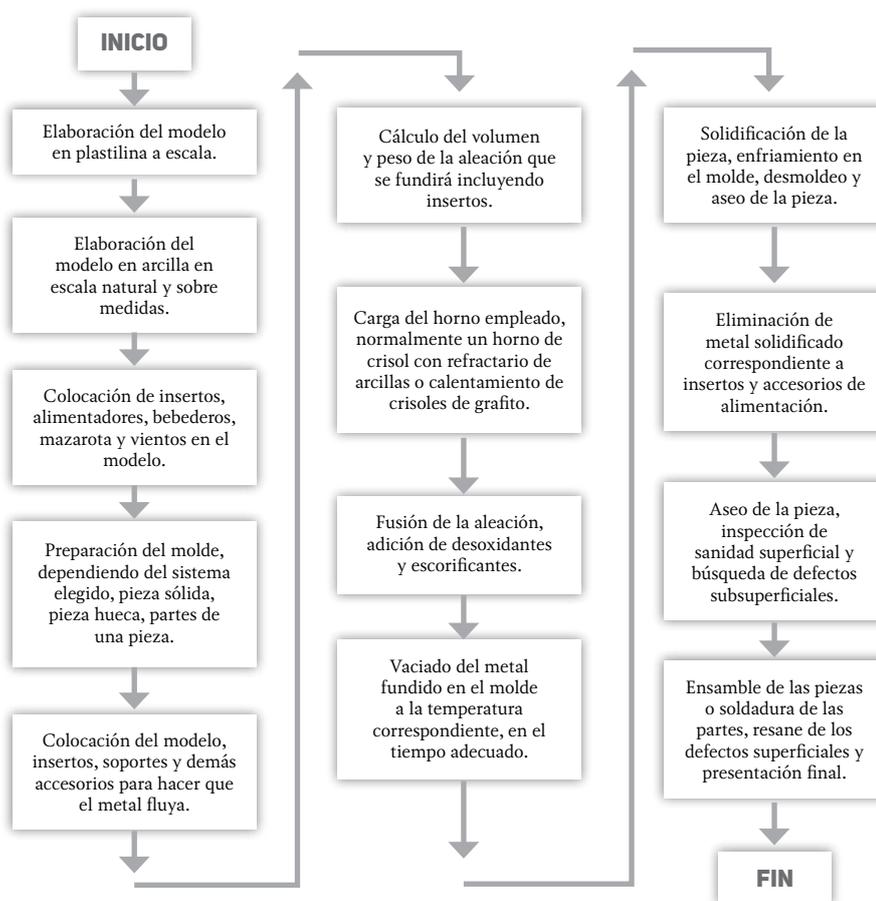
### IMAGEN 1.

*Estatua ecuestre de Carlos IV o El Caballito, antes de someterse a la restauración en la Plaza Manuel Tolsá.*

La mayoría de las esculturas y estatuas de la ciudad de Toluca están huecas y se han hecho por partes (estos aspectos más adelante se describirán). Sobre todo, debemos remarcar, al momento de diseñarse la escultura, el tipo de bronce que se fundirá, ya que cada aleación puede tener diferente apariencia superficial como la del tipo latonada, la cual es un dorado blanco amarillento o la que es más de color marrón claro. Esto depende de las cantidades relativas de los elementos introducidos de aleación al baño metálico de cobre. Lo anterior es considerando si la escultura se va a patinar de manera natural o artificial.

## ETAPAS DE ELABORACIÓN

En el flujograma, se esquematiza la secuencia tradicional de operaciones que se realizan para obtener una escultura lo más sana posible, superficialmente, considerando además de los posibles defectos internos como grietas por contracción, burbujas y rechupes, así como juntas frías.



**IMAGEN 2.**  
Flujograma de operaciones de fundición de piezas.

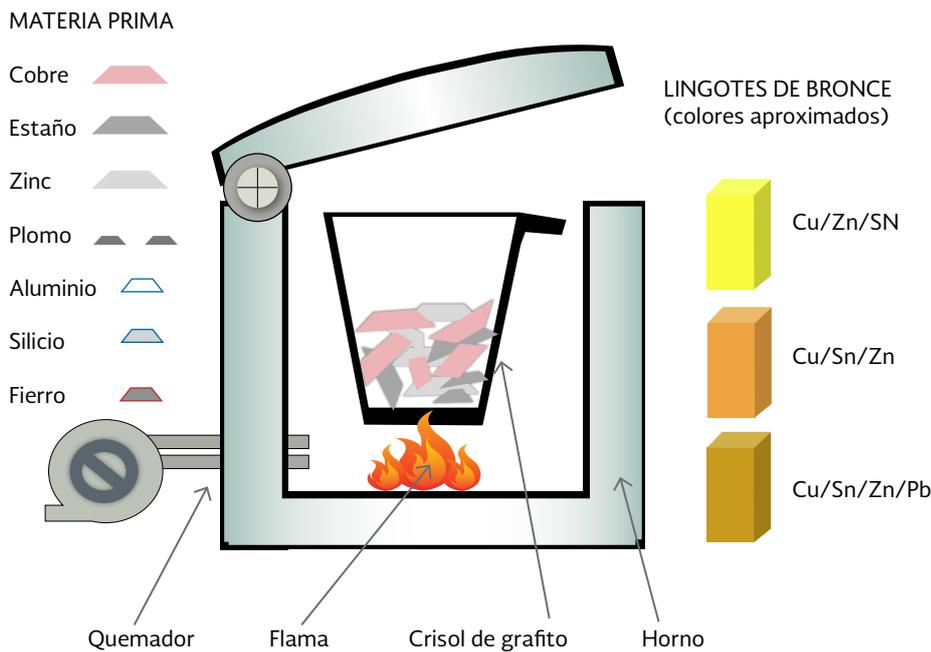
## PROCESO DE FUNDICIÓN

La fundición de bronce en el taller donde se elaboran las esculturas normalmente se lleva a cabo en hornos de crisol, en donde puede existir dos variantes:

- ⌘ Horno de crisol fijo
- ⌘ Horno de crisol de arcilla grafitada

En ambos casos, la carga metálica no está en contacto directo con la flama; si el horno es calentado a base de algún combustible derivado del petróleo, ya sea líquido (petróleo) o gaseoso (gas natural). Los hornos de resistencia también se emplean en la actualidad, pero al igual que los anteriores, la fuente de calentamiento no está en contacto directo con la carga metálica.

En la imagen 3, podemos observar el crisol sobre su base soporte que es abrasada por la flama, para que se vaya fundiendo el metal y con las corrientes de convección se vaya homogeneizando la composición química de la aleación.



**IMAGEN 3.** Horno de crisol extraíble, calentado a gas. Se indican los metales de carga y las aleaciones producidas.

La carga de los metales que se fundirán sigue una secuencia obligatoria, ya que los puntos de fusión son muy diferentes. El cobre se funde primero, después se agrega el estaño y el plomo y al final el zinc.

**IMAGEN 4.** Lingotes de bronce que se agregarán al crisol del horno.



Esto debe ser así, ya que el zinc sublima muy fácilmente y en estado gaseoso produce óxido de zinc muy volátil; el estaño y el plomo forman óxidos color tornasol y normalmente se quedan en la escoria que se va hacia la superficie del baño metálico.

En la antigüedad para preparar la aleación, se conseguían los lingotes de cobre, estaño y zinc *in situ*; hoy en día, como se indica en la imagen anterior, es posible conseguir las aleaciones madre o *master alloys*, las cuales son lingotes de bronce con una composición química muy específica. Ello facilita mucho el trabajo del fundidor y del artista.

A diferencia de las aleaciones de hierro que presentan diferentes coloraciones, desde el rojo sangre hasta el amarillo blanco, siendo esta última la más caliente. Las aleaciones de cobre sólo presentan un calor rojizo con brillos plateados. Por consiguiente, el control de la temperatura, el empleo de pirómetros y termómetros de inmersión son más eficientes, que simplemente emplear la observación del color del baño metálico.

Se emplean otros elementos químicos, como desoxidantes y modificadores de la fluidez de la aleación; sin embargo, éstos no forman parte de la aleación.

**IMAGEN 5.** Horno de crisol basculante, donde se observa el color rojo amarillo en la periferia del crisol de grafito correspondiente a la flama, el color rojo naranja correspondiente al crisol y el color rojo típico de las aleaciones de cobre.



Es fundamental quitar la escoria superficial; ésta, de quedar atrapada en el baño metálico, produciría posteriormente defectos superficiales.



**IMAGEN 6.** Vaciando la aleación fundida desde el horno de crisol a la cuchara de vaciado. Obsérvese el maneral de los vaciadores: un lado es para dirigir y el otro sirve de apoyo para la carga.

En la imagen anterior, se puede observa un volante manual con el cual se hace bascular al horno y vaciar la aleación fundida en una cuchara con la cual posteriormente se hará el vaciado en el molde.

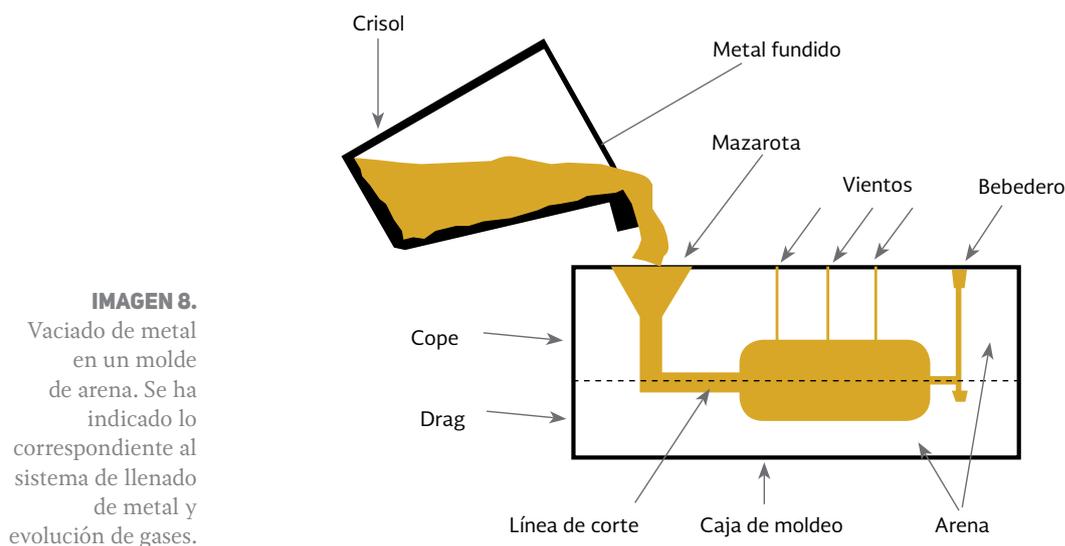


**IMAGEN 7.** Fundidores sacando el crisol del horno. En esta fotografía, el horno de crisol está enterrado para facilitar sacar el crisol con la aleación fundida.

En la imagen anterior, se observa a dos trabajadores extrayendo el crisol de un horno enterrado, ya que esto facilita que se pueda extraer este material del horno, el cual tiene una capacidad aproximada de 30 kilogramos de metal. El color del crisol es de amarillo blanco; esto indica que la temperatura es muy elevada; en consecuencia, comienzan a haber evoluciones de humo blanco, el cual corresponde a la sublimación del zinc.

## TÉCNICAS DE MOLDEO

El metal fundido se va a vaciar en un molde, que viene siendo, en realidad, una cavidad con una forma predeterminada, cuyo objetivo es replicar todas las características del modelo; además se debe considerar el diseño de los canales por donde va a fluir el baño metálico, llenando todas las cavidades existentes, permitiéndose que se desplacen todos los gases y vapores que se formen de una forma eficiente para que el metal no tenga los defectos superficiales causados por los gases.



**IMAGEN 8.**  
Vaciado de metal en un molde de arena. Se ha indicado lo correspondiente al sistema de llenado de metal y evolución de gases.

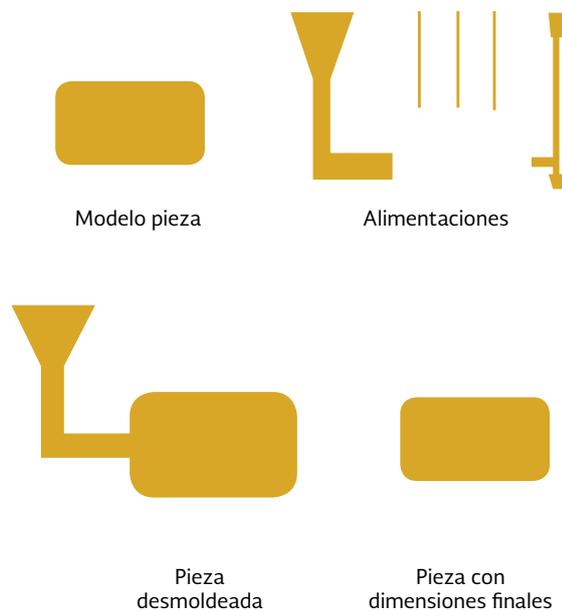
El metal fundido es un líquido y como tal se comporta. Vamos a hacer la analogía con el agua y entonces al hablar del sistema hidráulico, en realidad, estamos hablando de una presión metalostática (presión hidráulica en el caso del agua). El sistema hidráulico de llenado de un molde tiene como primer principio al sistema de vasos comunicantes. Entonces, cuando se llene el bebedero, el cual está del lado opuesto a la mazarota, que es la alimentación principal, será

indicativo que ya se llenó la cavidad en el molde, es decir, nuestra pieza. Los vientos tienen la función de permitir la salida de gases a medida que se va llenando el molde.

Al dibujar la pieza y realizar el modelo, es fundamental diseñar la línea de corte o de partición que corresponde a cada una de las mitades, lo cual tiene un efecto en la apariencia de la pieza terminada.

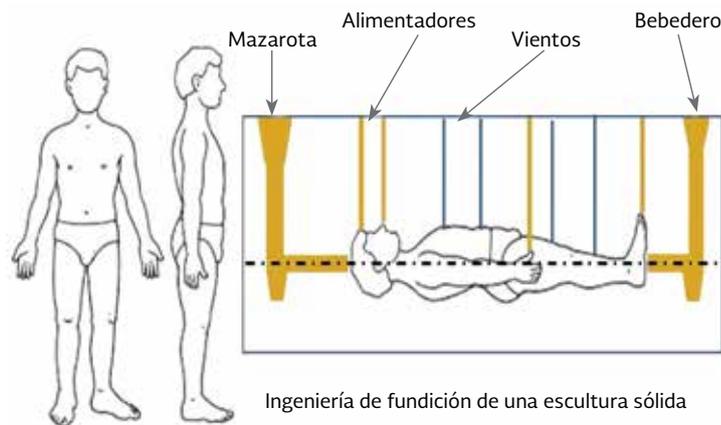
Los nombres de *cope* y *drag* son los términos con los que se conoce la parte de arriba y la parte de debajo de las cajas de moldeo.

Cuando se diseña una pieza que se va a fundir en algún molde, debe de considerarse el cálculo del metal que se va a emplear en la pieza, además de todos los accesorios para que se alimente el metal, es decir, mazarota, bebederos, alimentadores, vientos, y cuando la pieza es más complicada hasta las venas de alimentación.



**IMAGEN 9.** Partes que intervienen en una pieza que va a vaciarse en un molde.

La imagen 10 nos indica el moldeo y vaciado de una pieza sólida en molde de arena. La estética de las piezas de este tipo es muy importante, razón por la cual, todos los accesorios de alimentación y venteo deben ser estratégicamente colocados, considerando que la tensión superficial de la aleación fundida es muy alta. Esto significa que el metal no va a penetrar totalmente a todas las cavidades, por lo que el modelo debe tener sobredimensiones, para que el metal llene de forma adecuada todas las cavidades.



**IMAGEN 10.** Colocación de accesorios de alimentación y venteo de una pieza sólida

Las técnicas de moldeo son muy diferentes y ello depende de la calidad superficial de la pieza y de las características mecánicas que se desean tener cuando el metal ya está solidificado. Vamos a clasificarlas dependiendo de la solidez de éstas, de su complejidad, de sus dimensiones y de las facilidades existentes en el taller.

**IMAGEN 11.**  
Clasificación de las esculturas por su solidez y por el número de partes



Los materiales empleados para la elaboración de un molde (fabricación de la escultura) son refractarios sólidos, cuya presentación tiene forma granular; es el caso de la arena sílica para el moldeo en arena o pulverizada como el caolín y las mezclas de feldespato y cuarzo para el moldeo de precisión y la denominada cera perdida.

En cualquier caso, se requiere el uso de aglutinantes, desde el agua, los almidones, los silicatos y las resinas fenólicas y furánicas; los moldes deberán tener una humedad mínima; las resinas poliméricas, una evolución de gases mínima para no causar defectos de fundición.

Para los procesos de precisión, en el denominado de cera perdida, el empleo de ceras debe lograrse mezclas con puntos de ablandamiento y fusión muy controlados, para ello se emplea como cera de abeja, cera de carnauba, parafinas y, en la actualidad, polímeros sintéticos.

El caucho de silicón ha resultado ser una materia prima esencial para los procesos de moldeo de precisión, ya que tiene una gran fluidez antes de polimerizar, y esto permite replicar, con mucha precisión, los detalles del modelo original y luego a partir de ello formar los moldes de material refractario.

## FUNDICIÓN EN MOLDES DE ARENA

El moldeo en arena es tal vez el proceso más antiguo y más económico cuando se trata de fundir piezas que no requieren un acabado tan especial como el que proporcionan otras técnicas de moldeo de precisión, se emplea para producir piezas, en donde no hay cambios de sección y cavidades en las cuales el metal, debido a su tensión superficial, no puede penetrar.

Hoy en día, se fabrica un modelo de plastilina, después se obtienen réplicas de yeso y a partir de ahí, se hace el molde de arena, antiguamente se empleaba arcilla. Debe de considerarse, además, la calidad de la arena en cuanto a su granulometría y a los aditivos para lograr la cohesión de los mismos granos, ya que de ello dependerá mucho el acabado superficial de la pieza y de los efectos que se le quiera dar.

Las imágenes que se presentan a continuación corresponden a un taller artesanal de fundición de campanas de diferentes dimensiones; en este caso, son campanitas decorativas que se emplean más por su sonido que por la alta calidad superficial, ya que es necesario darles un acabado posterior.



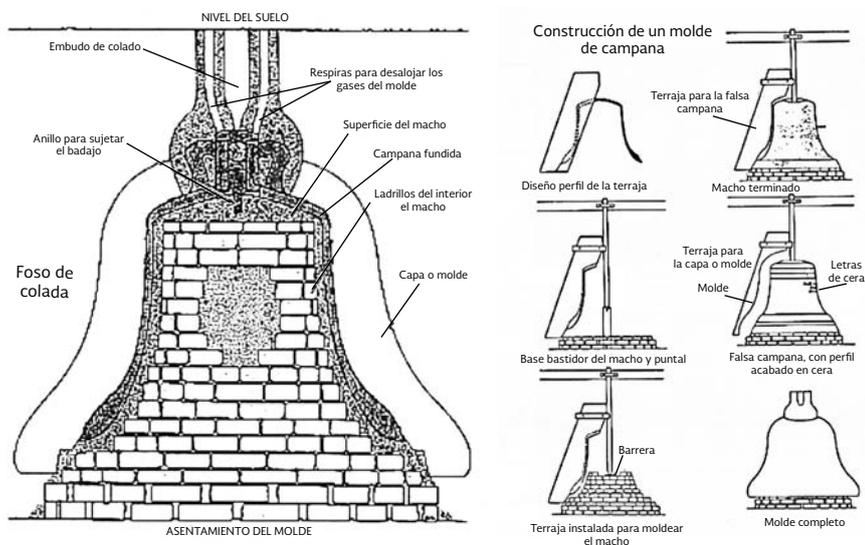
**IMAGEN 12.** Vaciando con cuchara para piezas pequeñas.

Una vez fundida y vaciada la pieza, sigue el desmoldeo y la limpieza de la pieza fundida para su ensamble posterior; esto se aplica si la pieza final esta compuesta de subensambles o sea tal vez una pieza única.

Si bien las campanas no son esculturas en sentido estricto, es un hecho que el procedimiento de su fabricación tienen mucha similitud con el de las esculturas, también se funden en bronce y aquí lo que más se busca es la sonoridad y su resistencia al medioambiente.

Para la fabricación de una campana, se hace con tabique que va forrándose con arena para dar la forma interior. En la forma exterior, se fabrica una corteza de materiales refractarios que se aplican sobre un modelo y se replican las características artísticas deseadas. Esta corteza ya endurecida se monta sobre la parte interior y se ajusta el espesor.

Como se observa en el esquema de José Luis Cabrelles Martínez, el molde es de arena y está hecho en un hoyo escarbado en la tierra.



**IMAGEN 13.** Esquema del molde.



**IMAGEN 14.** Campana fundida artesanalmente.

Este tipo de moldeo es simple y de bajo costo, sabiendo que el acabado superficial es bueno; pero se requiere dar un acabado superficial posterior.

## MOLDEO DE PRECISIÓN (*INVESTMENT CASTING*)

El moldeo de precisión se refiere a los procesos en donde es muy importante el acabado superficial de la pieza y la economía del metal. Se emplea, normalmente, en esculturas poco voluminosas como los bustos o en aquellas que se pueden ensamblar y soldar las diferentes partes que la componen por ser una escultura muy grande. También se pueden fabricar esculturas pequeñas de una sola pieza, con múltiples detalles.

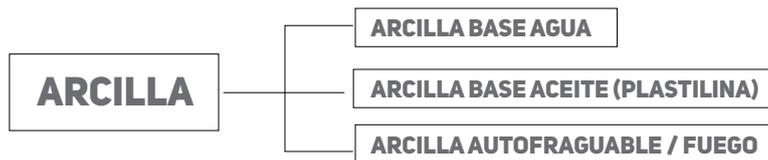
Después de observar muchas piezas, proponemos la siguiente clasificación de los procesos que genéricamente son moldeo de precisión, por sus características; pero que se diferencian por la forma en las que se hace el modelo de fundición.



**IMAGEN 15.** Clasificación propuesta del moldeo de precisión.

La materia prima con la que se hacen los moldes es muy importante. Uno de estos materiales es la arcilla que mezclada con el agua o el aceite forma una masilla moldeable a la cual el artista le va a dar forma. No endurece tan rápidamente, existe otra más que es autofraguable, es decir, que al perder agua comienza a endurecer y termina de aumentar su dureza cuando se somete a un proceso térmico de alta temperatura.

También para hacer la cáscara endurecible, se emplean materiales refractarios a base de feldespatos y cuarzo, ya que esa costra dura debe aumentar de espesor para su resistencia mecánica y refractaria. A continuación, proponemos la siguiente clasificación:



**IMAGEN 16.** Arcillas empleadas en moldeo de precisión.

Las ceras empleadas en el moldeo de precisión serán manipuladas por el creador de la escultura. En el caso del proceso de cera perdida, que más adelante explicaremos, el artista tiene que dar muchos detalles a algunas piezas y requiere de un material blando; sin embargo, hay inconvenientes: a mayor punto de fusión mayor dureza; este relativo inconveniente puede ser manejado por el artista al hacer mezclas de ceras, y entonces la manipulación es más sencilla en el sentido de que se pueden dar detalles más fácilmente.

**IMAGEN 17.** Ceras empleadas en moldeo de precisión

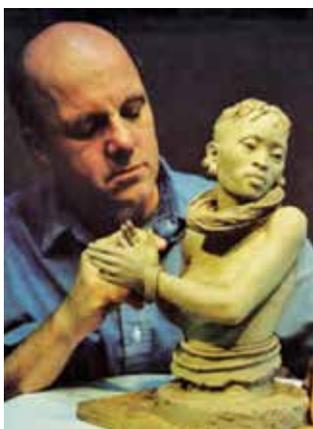


A continuación, vamos a explicar brevemente cada uno de los procesos que se emplean en la fabricación de esculturas de bronce, por lo menos los más comunes.

## CERA PERDIDA

Este proceso se emplea para elaborar esculturas pequeñas, las cuales son fundidas y moldeadas en una sola pieza. Aquí se debe tomar en cuenta el sistema de alimentación, ya que puede haber cambios de sección y reducción de diámetros de diferentes orificios que forman la pieza, mientras más perfecto es el modelo, más perfecta es la pieza.

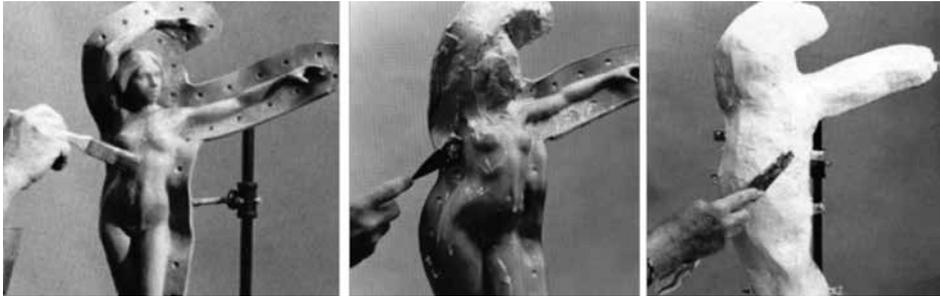
El artista Tuck Langland elabora su modelo maestro, del cual se obtendrán las diferentes réplicas para armar el molde.



**IMAGEN 18.** El escultor Tuck Langland trabaja la arcilla para crear la escultura *Kenyan dancer*.

A esta pieza se le va a pintar con látex o con caucho de silicón. Ambos polímeros son muy flexibles, hasta cubrir con algunas capas a la totalidad de la pieza. Esto se hace con el objeto de obtener el modelo maestro, pero en negativo, a partir del cual se pueden obtener varias piezas que nos van a servir para construir el molde para vaciar el metal.

Las siguiente imágenes indican que al modelo maestro se le comienza a pintar con el látex o el caucho de silicón antes de polimerizar. Se aplican tres o cuatro capas, pero a partir de la segunda, se utiliza una tela tipo malla para dar una tercera pintada y así darle más resistencia mecánica, sin perder su elasticidad. A continuación, y una vez polimerizada, se puede ahora pintar con fibra de vidrio, además, se agregan los puntos de registro, ya que recordemos que lo que se elabora son mitades de molde que tienen que embonar a la perfección, también puede pintarse con algún refractario de alta resistencia mecánica.



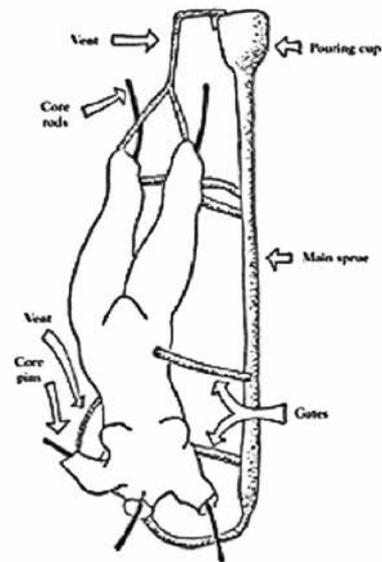
**IMAGEN 19.** Secuencia de elaboración del molde maestro. Se considera que lo que se tiene al unir las mitades del molde es una cavidad que tiene todos los detalles de la pieza, pero en negativo. Escultor Tuck Langland.

Ahora a partir de este molde maestro, se pueden obtener réplicas en cera, dependiendo de la cera empleada, como a continuación se muestra:



**IMAGEN 20.** Una trabajadora vacía la cera en el molde maestro para obtener una réplica en cera.

Esta réplica en cera se va a pintar con el material refractario, de tal forma que una vez que endurece dicho material, la réplica en cera queda ocluida en esta materia; esta replica contiene todos los sistemas de alimentación necesarios para que al momento que se vacíe el metal fundido, la cera se vaya desplazando y deje el espacio que va a ser ocupado por el metal fundido, como se muestra a continuación.



**IMAGEN 21.** Réplica en cera donde se observan los sistemas de alimentación. Toda esta pieza se va a recubrir con refractario y se dejará endurecer, luego se secará.

Ahora sí se puede proceder a vaciar el metal fundido, el cual ha sido previamente calentado para fundir la cera, para que pueda entrar el metal, el cual, una vez solidificado, se procede a romper la forma y después obtener la pieza que va a ser sometida a una operación de limpieza.



**IMAGEN 22.** El metal fundido se vacía en el molde, el cual posteriormente se rompe para obtener la pieza. Escultor Tuck Langland.

En la ciudad de Toluca, podemos encontrar una pequeña escultura, obra del artista Ernesto Tamariz, la cual nos puede servir para ilustrar este método de moldeo.

Esta obra titulada *La sagrada familia* es bastante amplia, pero poco conocida. Es una escultura y se encuentra en el área del atrio de la iglesia de la Santa Veracruz, en la Plaza Fray Andrés de Castro en el Centro Histórico de Toluca.



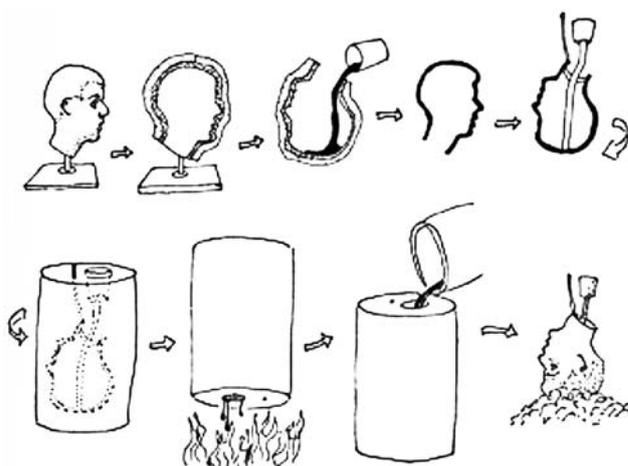
**IMAGEN 23.** *La Sagrada Familia.*

El proceso de cera perdida es quizá uno de los más antiguos. En esencia, ha permanecido igual; sin embargo, debemos afirmar que en la actualidad con los nuevos materiales se pueden obtener excelentes obras.

## FUNDICIÓN HUECA

Es un proceso en el cual se forma un hueco al invertir el molde, después que el metal ha solidificado parcialmente en la superficie del modelo, drenando así el metal líquido del centro. La solidificación empieza en las paredes relativamente frías del molde y progresa con el tiempo hacia la parte media de la fundición.

Como se puede observar en la siguiente imagen, se prepara una costra externa que en su interior replica la superficie del modelo, éste se elimina y queda una cavidad; ésta se llena con cera de bajo punto de fusión, pero de alta dureza; una vez fundida, se vierte sobre el molde y se calcula el espesor de la cera que va a solidificar. Ello nos proporcionará el espesor de la pieza que se fundirá, posteriormente se elimina la cera restante que aún no ha solidificado, con el objeto de que quede una cavidad, la cual va a ser rellena con material refractario moldeable.



**IMAGEN 24.**  
Moldeo tipo cáscara.

Se prepara el molde exterior y cuando esté solidificado se calienta y se invierte para sacar la cera fundida y a continuación se vacía el metal líquido que sólo va a llenar el molde, cuya sección es el espesor de la pieza; posteriormente, el molde se rompe con precaución y se obtiene la pieza que se diseñó.

En las siguientes imágenes, de una pieza de bronce vaciada en este sistema, se ejemplifica lo mencionado con anterioridad. Se observan las dos mitades de la pieza, la línea de partición y la cavidad interior, además de poder observarse el color del bronce. La pieza tiene el acabado que se replicó del molde.



**IMAGEN 25.**  
Escultura hueca de bronce. La pieza está patinada artificialmente.

Hoy en día se utiliza caucho de silicón, que permite replicar bien las superficies y, por su gran elasticidad, se pueden remover con facilidad; anteriormente se usaba un tipo especial de yeso como el que se emplea para la realización de máscaras mortuorias.

## ENSAMBLE DE PIEZAS

A continuación, ejemplificamos el procedimiento para obtener una estatua hueca de un personaje. El taller donde se realizó es ET Pybus Sculpture en Wenatchee, Washington, EE. UU. Ellos nos permitieron compartir sus fotografías, Lance Dooley es el escultor y autor de esta pieza.

La escultura, en cualquiera de sus diferentes variedades, comienza con un dibujo del escultor, en donde se concibe la totalidad de la obra. Después el artista, asesorado por el fundidor, tiene que concebir la mejor forma de vaciar la pieza, ya que lo que se busca es un moldeo con precisión.



**IMAGEN 26.** El escultor Lance Dooley moldea la estatua en arcilla a partir de un dibujo en escala 1:1.

En este diseño particular, se ha decidido hacer una estatua hueca, que se elaborará por fracciones; en consecuencia, se efectúa un despiece y, entonces, se procede a realizar las partes mediante el proceso de cera perdida, para que todas se ensamblen a la perfección; de esta manera, la estatua tendrá la apariencia de ser una escultura de una sola pieza. Éste es un trabajo artesanal, pero de una alta creatividad y destreza al momento de diseñar todo lo referente al flujo del metal fundido dentro de cada molde.



**IMAGEN 27.** Éstas son las piezas que se van a ensamblar.

Como podrá observarse en la fotografía anterior, se tiene realmente un rompecabezas de piezas y ahí radica la valía del autor de la obra escultórica.



**IMAGEN 28.** Aquí se presenta el sistema hidráulico de alimentación para asegurar que toda la sección de la pieza se llene apropiadamente.

Cada pieza del ensamble se moldea y se funde particularmente, pero el objetivo es que cada parte mantenga las mismas características; por lo que el escultor y el fundidor tienen que trabajar en equipo para que la estatua tenga un acabado excelente.



**IMAGEN 29.** Se ensambla la estatua para observar que no falte alguna pieza.

Ya la estatua va tomando forma, aunque sólo lo referente a todo lo que es el moldeo de precisión. Esto es importante, ya que se debe hacer un cálculo del metal que se va a emplear. En esta imagen, se observa la manufactura de una de las piezas de la estatua, la cera en color rojo oscuro se eliminará y en su lugar se colocará un relleno, llamado corazón, (*core* por la palabra en inglés) para poder dimensionar el espesor de la pieza. Además de encontrar el peso de la pieza una vez terminada.



**IMAGEN 30.** Molde de uno de los brazos. También se pesa la pieza.

El objeto de calcular el peso total de la pieza es el diseño del pedestal que debe de tener las suficientes propiedades mecánicas para fijar a la estatua y desde luego resistir su peso.



**IMAGEN 31.** *Man of steel*. La estatua tiene una altura aproximada de 2.50 m y ya con todo y pedestal 3.00 m. Escultura hecha en bronce.

Al final se ensamblan todas las piezas y se procede a soldarlas, lo cual también es un reto metalúrgico, ya que la coloración del cordón de soldadura debe ser idéntico al del metal base; también la resistencia química del cordón de soldadura debe ser el mismo, pues de lo contrario, con el paso del tiempo, se notará la diferencia de los metales y se develará que la pieza está hecha por partes. Todo lo anterior es una descripción de cómo se hace una escultura en forma genérica, y esto nos ayuda a comprender la expresión artística de una escultura, pero también a interpretar su estado actual, como es el caso de muchas esculturas que se encuentran en cualquier ciudad formando parte del patrimonio cultural propio del lugar.

A continuación, se presenta la escultura *Cuauhtémoc*, la cual se encuentra parcialmente protegida del deterioro antropogénico al estar en un pedestal. El medioambiente que la rodea ha generado indicios claros de corrosión como sales blanquecinas sobre la superficie de la pieza; lo más probable es que sean cloruros. Si bien la pieza está rodeada de árboles y dos fuentes que generan una humedad relativa constante, la interacción con otros agentes de intemperismo ya ha generado oxidación visible en la escultura, éstos indican que se ha pasado de un deterioro simple a uno donde hay complicaciones con la formación de productos de oxidación.



**IMAGEN 32.** *Cuauhtémoc*. Parque Jardín Alameda, Centro Histórico de la ciudad de Toluca. Detalles de la estatua *Cuauhtémoc*, donde se observan las placas que forman la pieza y corrosión selectiva en las uniones soldadas. El monumento es obra del artista Ernesto Tamariz en 1968.

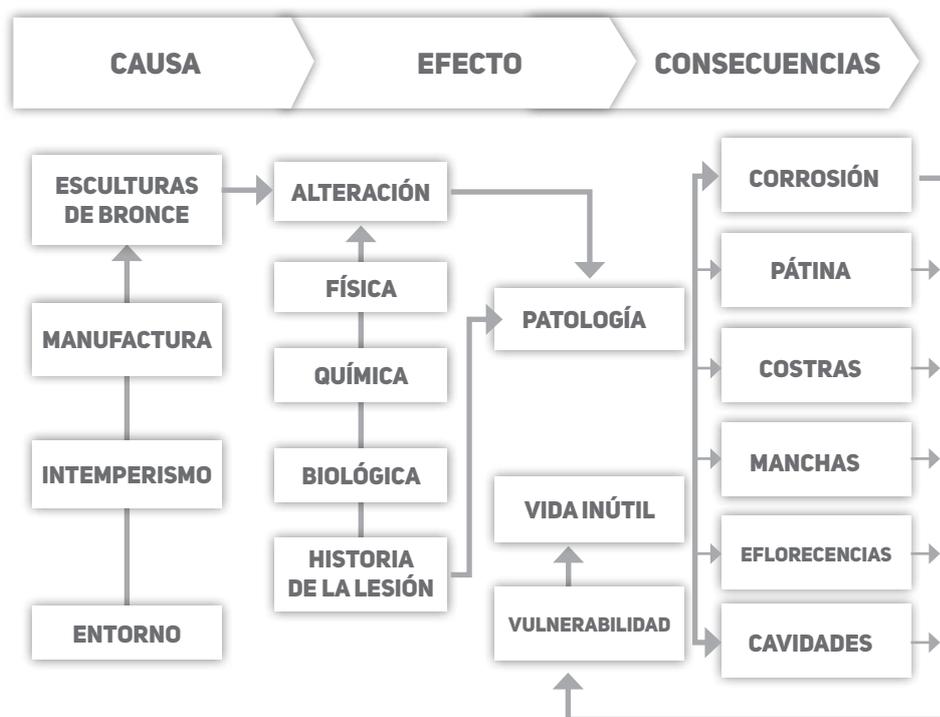
Esta estatua es hueca, posee placas de bronce unidas entre sí y se puede observar la corrosión selectiva en las uniones soldadas, lo que hace que éstas se observen con claridad. La actividad de las aves, en particular palomas, hace que la estatua tenga en su superficie heces fecales, cuya acidez es importante y de no eliminarse de forma adecuada aumentarán la oxidación.



## CAPÍTULO 4

# HISTORIA NATURAL DE LA PATOLOGÍA

Las esculturas metálicas, al igual que muchas otras obras que forman parte del patrimonio cultural, están sujetas a sufrir deterioro por efecto de diferentes causas; de manera genérica, a éstas les damos el nombre de patologías; si bien es un término empleado en Medicina, se aplica perfectamente al deterioro que van sufriendo las esculturas. En todo este proceso de desgaste existe una causalidad, que tiene efectos sobre la pieza y, desde luego, sufren las consecuencias.



**IMAGEN 1.** Diagrama de causalidad de la historia natural de la patología y sus diferentes manifestaciones.

Las alteraciones superficiales que sufren los metales y aleaciones tienen un mecanismo de reacción, caracterizado por varias etapas y procesos, los cuales pueden explicar cómo se ha llegado hasta el daño que actualmente se está observando en las esculturas alteradas. Aunque en la práctica es más conveniente ir en sentido inverso porque en el proceso causa-efecto-consecuencias son estas últimas las que ya están ahí presentes de manera objetiva.

La historia natural de la alteración nos describe, en el tiempo, la evolución del sistema complejo, en donde se establece la interrelación de las diferentes variables que intervienen. En todo este sistema complejo, el agua es el agente que mayormente interviene; sin ésta no parece ser posible la realización de las diferentes reacciones químicas.

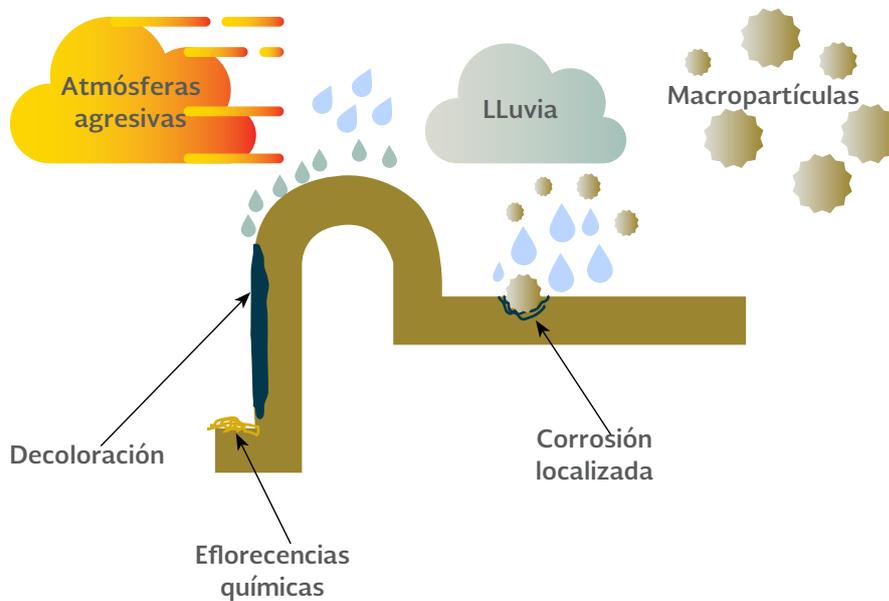
**TABLA 1**  
AGENTES DE DETERIORO

AGENTES DE DETERIORO	INTEMPERISMO	Físicos	EROSIÓN	ABRASIÓN
			Calor, radiación UV	Choque térmico
AGENTES DE DETERIORO	INTEMPERISMO	Químicos	Oxidación	Corrosión
				Pátina
		Biológicos	Oxidación	Corrosión
	ANTROPOGÉNICOS	Mecánicos	Pérdida de materia	Vandalismo
				Mantenimiento pulidos
		Químicos	Pintura	Grafiti
	Oxidación	Mantenimiento con ácidos		

Elaboración: Ricardo Victoria León.

Sin duda, el deterioro de los metales es más un fenómeno químico que físico; sustancias químicas producidas tanto por el medioambiente (fuentes inorgánicas) como por la actividad biológica de organismos; éstos siempre están

presentes y producen un cambio químico en los metales, llamado oxidación. Con excepción del oro y del platino, los metales utilizados desde la antigüedad no son estables y en un ambiente natural tienden a reaccionar o combinarse con otros componentes no metálicos para así formar compuestos más estables. Esto no es de sorprenderse, ya que en su estado natural, la mayoría de los metales son minerales, los cuales químicamente son compuestos estables.



**IMAGEN 2.** Agentes de deterioro de una escultura de bronce.

## EL AGUA Y EL PH

Aunque el bronce aparenta ser muy resistente y de muy baja inercia química, la realidad que se presenta es diferente. Por muy compactas que parezcan las esculturas metálicas, éstas reaccionan químicamente y de ahí que se tenga la corrosión y la pátina, ambas reacciones químicas de oxidación: la primera en medio anhidro y la segunda en un medio acuoso. El agua se presenta como lluvia o como humedad ambiental.

Un caso especial es el referente a las aguas meteóricas, ya que al caer en la parte más alta de la escultura y al dirigirse hacia abajo promueve la existencia de un proceso de lixiviación de multitud de aerosoles sólidos y líquidos viables y no viables que se han impactado en la apariencia, arrastrando entre otras

sustancias, los minerales solubles en agua o incluso partículas metálicas, que al formarse un par galvánico, comienza la corrosión.

El pH es otro agente, el cual cataliza las reacciones y pone de manifiesto la vulnerabilidad del bronce, que al reaccionar químicamente comienza a oxidarse y se le da el nombre genérico de cáncer del cobre. Estos productos de lixiviación de las reacciones llevadas a cabo van manchando los materiales.

## LOS AEROSOLES AMBIENTALES

La mayor parte de agentes de deterioro ambiental se encuentra en forma de partículas que pueden desplazarse y viajar a grandes distancias en el medioambiente y combinados con este último forman lo que conocemos como agentes de deterioro ambiental. Estos aerosoles pueden ser no viables, es decir, no favorecen la propagación de la vida y desde luego no son organismos vivos; los aerosoles viables favorecen el desarrollo de la vida, como microorganismos. Por sus características químicas, los aerosoles pueden ser inorgánicos; dentro de este grupo se encuentran los CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, los cuales son los componentes de la lluvia ácida cuando se combinan con la humedad ambiental y en esta forma comienzan a deslavar la superficie de la escultura eliminando las sustancias que pudiesen haber estado protegiendo a la superficie de la pieza, pero además, si acaso se depositara una partícula metálica sobre la superficie de la escultura, comenzarían a formarse un par galvánico y se iniciaría de esta forma un núcleo de corrosión.

La erosión eólica transporta muchas partículas de origen mineral que contienen cloruros; esto, al reaccionar con la superficie de la escultura, comienza a formar los compuestos, los cuales son los que se conocen como el cáncer del bronce, es decir, atacamita, brocantita y paraatacamita, oxiclорuros hidratados que son eflorescencias en diversas variedades de color verde.

Los aerosoles orgánicos normalmente provienen de los hidrocarburos volátiles que en combinación con los oxidantes fotoquímicos y los hidrocarburos se forma ozono; éste también daña la superficie de las esculturas. Aquí estamos en el campo de los compuestos volátiles orgánicos (*Volatile Organic Compounds*: VOCs, por sus siglas en inglés).

En la actualidad, muchos de estos productos químicos emanan de los escapes de los vehículos automotores que emplean combustibles derivados del petróleo, e incluso muchas de esas partículas carbonáceas se depositan sobre la superficie de la escultura, siendo también causa de la creación de puntos de corrosión.

## LA BIOCOLONIZACIÓN

La dinámica de los aerosoles viables es la herramienta teórica para explicar los fenómenos de transporte en aerobiología, la cual se ve seriamente influenciada por los factores climáticos. Aquí nos referimos a las sustancias que emiten los árboles o las heces fecales de aves que tienen la facilidad de viajar en el aire dependiendo de su tamaño. Lo que normalmente se encuentra son esporas de hongos y líquenes, así como otros microorganismos en el ambiente.

Los agentes de deterioro químico y biológico son el objeto de nuestro estudio, pues éstos causan la oxidación. Los primeros son los agentes existentes en el medioambiente, es decir, los contaminantes atmosféricos. Los segundos se encuentran en el medioambiente y están asociados con la existencia de flora y fauna nocivas.

Los agentes biológicos de deterioro se deben a:

- a) La acumulación de microorganismos como bacterias del siguiente tipo: *Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus thioparus*, *Thiobacillus denitrificans*, *Thiobacillus ferrooxidans*, microorganismos capaces de llevar a cabo la biocorrosión.
- b) Reacciones químicas causadas por heces fecales de aves.
- c) Desarrollo de colonias de líquenes y de colonias de hongos.

## LA RADIACIÓN SOLAR

En las observaciones relacionadas con las estatuas que están localizadas muy cerca una de otra; éstas tienen comportamientos diferentes; sobre todo aquellas que están en áreas expuestas a la radiación solar y las otras que se encuentran cubiertas por esta misma radiación, aunque ambas están en exteriores; tal parece que la radiación ultravioleta, proveniente de la luz solar, influencia a los mecanismos de reacción de los diferentes productos de oxidación de la aleación de base cobre empleada en la fabricación de la estatua; con esto, se forman mecanismos que disminuyen la velocidad de corrosión.

## LA ENTROPÍA

Este término, tomado del área de la termodinámica, pero aplicado al mecanismo de reacción que hemos denominado como *alteración*, nos predice hacia dónde se dirige nuestro sistema complejo, hacia dónde se va a desplazar el equilibrio homeostático existente entre esculturas de bronce, diseño

arquitectónico y medioambiente, todo como un conjunto, cuya historicidad es única.

La entropía nos puede predecir si es que estamos ante la presencia de un cambio o de una transformación al momento de estarse desplazando los reactivos hacia los productos; es decir, la dirección del avance del equilibrio. Lo que no nos permite revelar la entropía es detectar el tiempo en el que se lleva a cabo la transformación.

Todas las esculturas de bronce, incluso todas las demás esculturas metálicas, están sujetas a la entropía, esto es, a su destrucción en el muy largo plazo; sin embargo, el problema radica en que las condiciones medioambientales en la actualidad, el proceso de destrucción, se están ralentizando, es decir, la entropía va en aumento.

Entonces, estamos en presencia de un sistema complejo de baja entropía, o sea, un sistema complejo que se dirige hacia su destrucción de manera muy lenta y que nos permite ver los cambios de manera prospectiva, con la limitante de que si intervengo a una sola variable entonces modifico las otras restantes.

## ESTIMACIÓN CUALITATIVA DEL GRADO DE DETERIORO

A continuación, presentamos una escala cualitativa del grado de deterioro de las estatuas, esculturas o centros escultóricos de bronce. Esta escala es una propuesta de nosotros los autores:

*Grado I.* La pieza sólo presenta la formación incipiente de pátina, fundamentalmente de óxidos y sulfuros de cobre. Se encuentran cubriendo la totalidad de la pieza. Si bien éste es un proceso de autoprotección, se considera deterioro, ya que la pieza no se encuentra como salió del taller de fundición. La pasivación y la inhibición coexisten.

*Grado II.* La pieza se encuentra cubierta de adherencias provenientes del depósito de todos los materiales aerotransportados, por ejemplo: polvo, arena, heces fecales de aves. El ambiente circundante y las adherencias en conjunto con la humedad relativa comienzan a perforar a la pátina formada e inician los puntos de corrosión muy localizados que se identifican por los colores de las oxisales de cobre formadas. Se ha perdido la inhibición.

*Grado III.* La pieza presenta ya áreas de corrosión distribuidas de manera heterogénea sobre la pieza, dependiendo de los lugares donde exista mayor condensación de la humedad ambiente. Se sigue acumulando los depósitos de adherencias sólidas y biológicas. La corrosión comienza a ser mayor que la pasivación.

*Grado iv.* La pieza está cubierta de los productos de corrosión presentando los colores típicos de las oxisales formadas. Todo tipo de recubrimiento anterior, sea la pátina o sea algún tipo de pintura o barniz se está perdiendo y se muestra en forma de escurrimientos ostensiblemente visibles. Ya no hay pasivación.

*Grado v.* La corrosión sigue avanzando dejando y se deja al descubierto el metal base de la pieza, totalmente vulnerable, comenzando a perder materia, adelgazándose el grosor de la pieza. La corrosión abarca el total del espesor de metal base. Se presenta un proceso destructivo acelerado.

Esta escala es sólo estimativa, se genera a partir de la observación de las piezas de bronce. El deterioro obedece al siguiente mecanismo:

Pasivación → Corrosión → Destrucción

A continuación, presentamos una serie de ejemplos de estatuas localizadas en diferentes localidades, climas y condiciones medioambientales, se enfatiza en el hecho de que todo lo que hemos mencionado, como agentes de deterioro, puede presentarse cada uno por separado o varios en conjunto y, por lo tanto, los productos de oxidación tendrán diferente apariencia. Este aspecto se aclarará en otro capítulo de este libro.

Analizamos la siguiente estatua ecuestre, la cual se encuentra en la ribera del río Mississippi en Nueva Orleans. La humedad relativa promedio es superior al 85%, durante la noche baja la neblina cubriendo a la estatua. Está al descubierto y, por lo tanto, en presencia de iluminación solar. Se pueden observar los productos de corrosión de color verde seco, siguiendo un patrón de escurrimiento ocasionado por el agua que se condensa sobre la pieza.



**IMAGEN 3.** *Bernardo de Gálvez.* Cuarto real gobernador español de Louisiana, 1771-1782. Esta escultura se localiza en la ribera del río Mississippi en Nueva Orleans. EE. UU.



**IMAGEN 4.** Vista lateral. *Bernardo de Gálvez.*



**IMAGEN 5.** Detalle. *Bernardo de Gálvez.*



**IMAGEN 6.** *Robert E. Lee.* Este general perteneció al Ejército Confederado. La estatua ecuestre pertenece al Jardín del City Hall en Nueva Orleans, Louisiana, EE. UU. Ribera del río Mississippi.

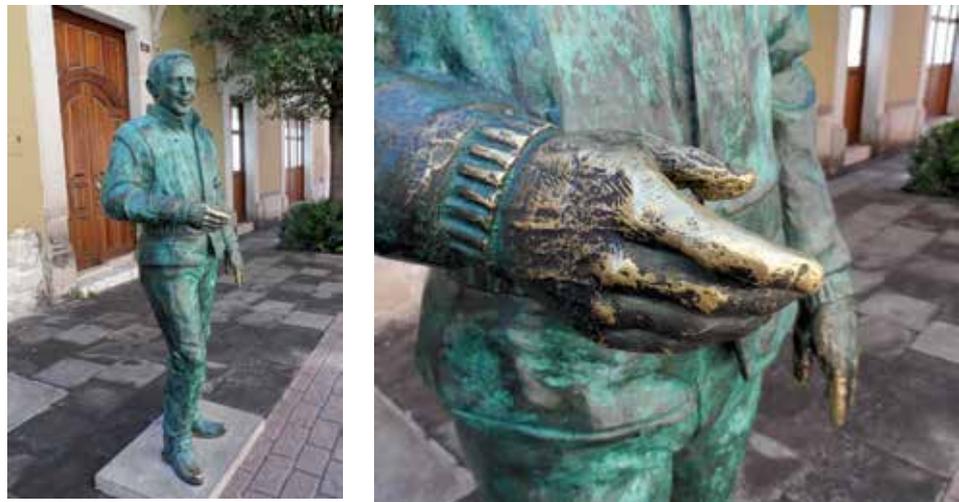
Esta estatua ecuestre se fotografió a diferentes horarios con el objeto de contrastar la observación de los productos de oxidación; se nota un fondo color marrón que está cubierto por una capa uniforme de color verde seco. La estatua está en un jardín y, por lo tanto, es común observar las proyecciones de heces fecales de las aves.

**IMAGEN 7.** Estatuas decorativas que ilustran personajes de la comunidad, se encuentran en el French Market, en la ribera del río Mississippi en Nueva Orleans, Louisiana, EE.UU.



En este par de fotografías, se nota el color de la aleación base, el color marrón típico del bronce que se va a emplear sin recubrimientos artificiales. Se observan los productos de oxidación en las áreas que no están al alcance de los agentes de deterioro antropogénico. Las áreas pulimentadas se deben a la acción del contacto directo con los visitantes del lugar. Las estatuas se encuentran en áreas semicubiertas, la iluminación solar depende del cambio de posición solar estacional.

**IMAGEN 8.** Escultura de Kevin Costner. Paseo de las Estrellas en la ciudad de Victoria de Durango, Durango, México.





**IMAGEN 9.** Escultura de *Dolores del Río*. Paseo de las Estrellas en la ciudad de Victoria de Durango, Durango. México.

En estas fotografías, se puede observar el color de la aleación base, que es más amarillenta o latonada, diseñada para que sea recubierta con un acabado de bronce viejo de color verde. Se presenta esta serie de fotografías con el fin de observar la actividad de deterioro antropogénico al eliminar la cubierta de pintura con la cual se cubrieron inicialmente las estatuas. Al quedar sin esta cubierta, la estatua inicia con un tono superficial blanquecino que después comienza a tomar el color de los productos de oxidación de color verde seco. Las estatuas están en exteriores sin protección alguna.



**IMAGEN 10.** *Leona Vicario*. Esta estatua se localiza en la parte norte de la Plaza González Arratia, Centro Histórico de la ciudad de Toluca, Estado de México.

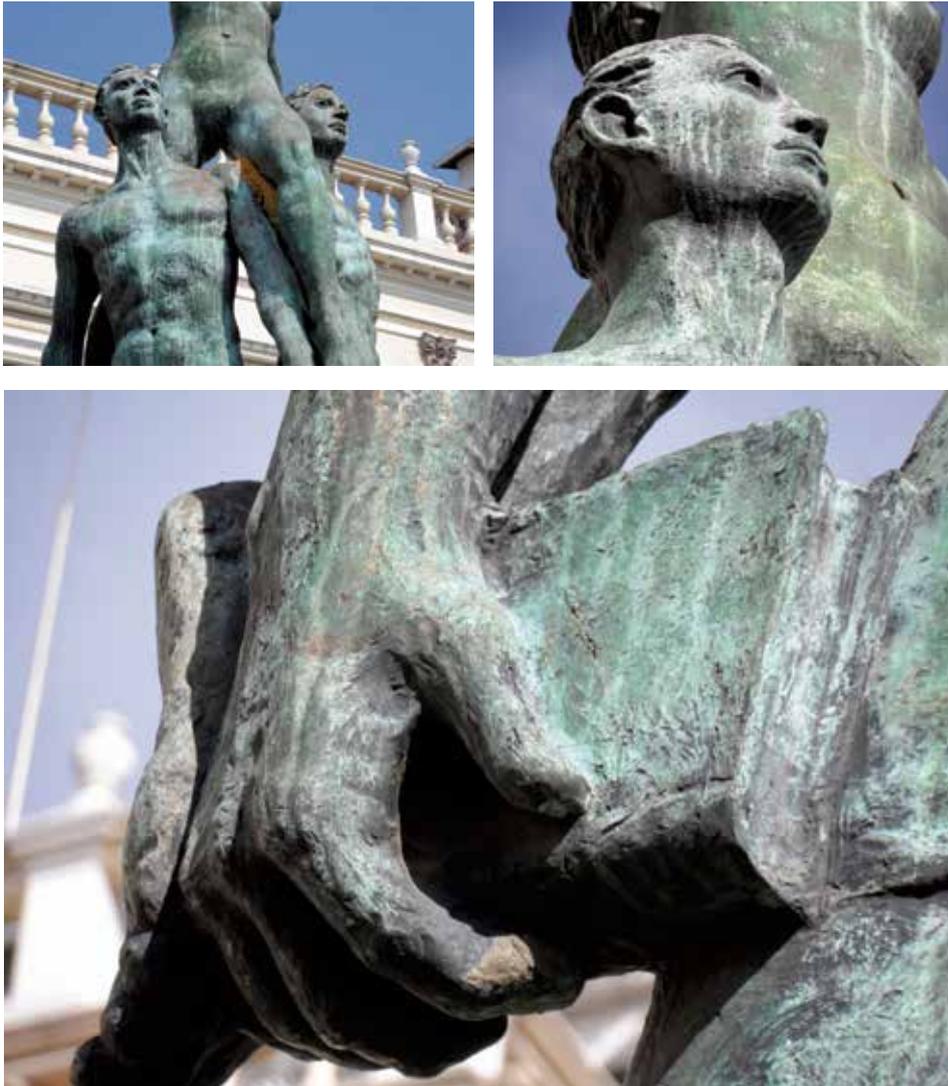


**IMAGEN 11.** Detalle de la escultura *Leona Vicario*. Se localiza en la parte norte de la Plaza González Arratia, Centro Histórico de la ciudad de Toluca, Estado de México.

Esta pieza está semiprotégida de la radiación solar por los árboles que circundan a la estatua, se encuentran productos de oxidación promovidos por la lixiviación llevada a cabo por las sustancias que producen los árboles.

**IMAGEN 12.**  
*Monumento a la Autonomía*, se encuentra en la Plaza de la Autonomía en la fachada oriente del Edificio Central de Rectoría de la Universidad Autónoma del Estado de México, en Toluca.





**IMAGEN 13.** Detalles del Monumento a la Autonomía.

Esta escultura está sin protección alguna de la radiación solar. Se puede observar el deslave de la pintura que inicialmente se aplicó y que con los años se ha ido perdiendo. Incluso en una de las fotografías, se observa un nido de avispas de color naranja. La aleación empleada fue diseñada para ser recubierta con algún tipo de recubrimiento. La aleación base es color marrón. El recubrimiento era, en un inicio, color verde pasto; luego cambió a verde seco y después se deslavó. La escultura está sometida a la acción de diferentes agentes de deterioro: el paso de vehículos y transporte urbano. Este complejo sistema de agentes agresivos hace que su restauración sea difícil.



**IMAGEN 14.** *Simón Bolívar*, localizado en el jardín del mismo nombre sobre la avenida Rayón, en la ciudad de Toluca, Estado de México.

Por una parte, se presenta esta escultura ecuestre como ejemplo de vandalización, que viene siendo un agente de deterioro antropogénico. Por otra, la aleación de bronce se diseñó para exponerse sin ningún tipo de recubrimiento, por lo cual es una aleación de bronce de apariencia latonada. Se pueden observar zonas de oscurecimiento, las cuales indican que algún proceso de oxidación está iniciándose, esto no representa mayor problema de restauración de la pieza, ya que es un proceso de protección natural, mientras no se observen puntos de coloración verde seca será indicativo que la pieza está en buenas condiciones.



**IMAGEN 15.** Monumento del Centenario de la Independencia o Fuente del Águila, en Paseo Colón y avenida Venustiano Carranza, en Toluca, Estado de México.

En esta fotografía, se pueden observar dos secciones: la húmeda y la seca; en la parte inferior en contacto con la humedad, se tienen oxisales hidratadas de cobre de un color verde pasto seco; en la parte superior, se observa oscura y con algunas muestras de proyecciones de heces fecales. En su historial, esta escultura ha tenido diversas etapas de restauración no apropiadas y el color negro puede ser un recubrimiento desgastado.



**IMAGEN 16.** Fuente de Neptuno o de la Vida, localizada en la Macroplaza de Monterrey, Nuevo León.

Esta escultura, rodada por una fuente, presenta dos partes: la húmeda es la parte inferior, la parte semihúmeda es la parte superior. La aleación base está diseñada para exponerse en exteriores sin necesidad de aplicar algún barniz. En la parte semihumeda se puede apreciar eflorescencias blanquecinas, quizá propiciadas por el tipo de agua y por las sales que arrastra el viento; probablemente, el zinc está reaccionando más rápido. Las sales de zinc son incoloras.



**IMAGEN 17.** Otros elementos del centro escultórico, donde se observan diferentes tipos de corrosión en las patas de los caballos: el verde esmeralda, el color marrón y el velo blanquecino.

En las partes húmedas, se observa una transición de las eflorescencias blanquecinas a eflorescencias verdosas, cuya constitución es compacta. En la última fotografía, se observa una mancha verde pasto seco, pero tiene una estructura diferente, no pulverulenta y continua, bien adherida.

Con los ejemplos anteriores, se espera haber ilustrado lo que hemos denominado como historia natural de la patología, es decir, el daño está identificado, son procesos de oxidación de diferente origen y como resultado se obtienen diferentes productos de oxidación que se manifiestan por su color, apariencia, textura, adherencia y condiciones en las cuales se formaron.

Las aleaciones se diseñan para mejorar las características de los metales originales; en este caso, los metales empleados en los bronce para esculturas: Cu/Sn/Zn/Pb son resistentes a la oxidación. Todos ellos tienden a formar óxidos estables en condiciones anhidras, no se puede afirmar lo mismo en un medio acuoso con un pH variable no neutro y, entonces, se puede formar un par galvánico y proceder al proceso de corrosión. En un medio anhidro, la formación de óxidos estables es el mecanismo que se puede presentar, —recordemos, como ya se ha mencionado— la velocidad de formación de productos de oxidación; el medio anhidro depende en gran parte de la actividad de la radiación solar.

Ya sea la formación de óxidos estables superficiales o la aplicación de algún tipo de barniz, ambos promueven una barrera protectora, una película que en el momento en que se rompe o se compromete, la oxidación puede proceder y con mayor intensidad.

Para el restaurador es de suma importancia conocer la historia natural de la patología, si se conoce todo lo referente al comportamiento de todos los agentes alrededor de la escultura, es más fácil su restauración para no cometer acciones irresponsables que puedan traducirse en altos costos de reconstrucción, pues el más grave sería la pérdida de la pieza.



## CAPÍTULO 5

# PROCESOS DE OXIDACIÓN EN LAS ESCULTURAS DE BRONCE

Las esculturas de bronce, expuestas tanto en interiores como en exteriores, están sujetas a la acción de los agentes de deterioro existentes en el medioambiente que las rodea. En este capítulo, revisamos los procesos principales de oxidación de los metales; en particular, los broncees empleados en la fabricación de esculturas desde un punto de vista químico, se trata de explicar el mecanismo de reacción correspondiente. Los más importantes son los que se conocen como corrosión y pátina.

El deterioro obedece al siguiente mecanismo:



Una escultura de bronce, recién fundida y desmoldeada, se ha comenzado a autoprotger, cualquier metal caliente, en presencia de aire, reacciona con el oxígeno ambiental formando capas de óxidos superficiales, que al limpiarse las piezas y pulirlas pueden ser eliminadas; sin embargo, el proceso de oxidación aún continúa muy lentamente.

Antes de salir del taller de fundición, se le da a la pieza algún tratamiento para que llegue protegida hasta su lugar de localización. A partir de este momento, la escultura queda expuesta a los procesos de oxidación. Pueden presentarse variantes, ya que en la actualidad existen piezas que combinan al metal con los polímeros; todo ello va pintado y entonces el mecanismo de deterioro no implica la pasivación.

## DETERIORO POR OXIDACIÓN

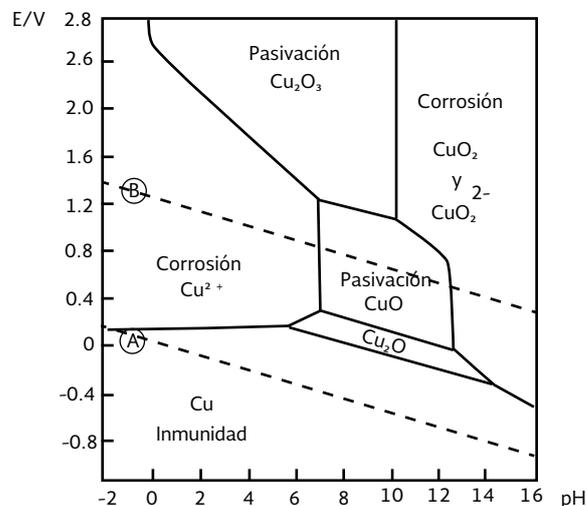
El deterioro ambiental al que está sujeto una escultura se conoce cotidianamente como corrosión ambiental, debido a la analogía con el óxido que aparece en las estructuras metálicas ferrosas, de color café, óxido que observamos normalmente en la ventanería de casas o de rejas alambradas; de hecho, podría realizarse un mapa municipal de corrosión urbana.

Estas áreas de corrosión urbana, incluso, pueden ser diferenciadas en función de varios aspectos asociados a la emisión de aerosoles contaminantes como son los provenientes de los automotores, al intemperismo debido a la cercanía de parques y jardines y también al número de horas de insolación.

Se cuenta con herramientas teóricas como a continuación se indicará, pero como tal es necesario interpretar su aplicación; ya que, si bien nos ayudan a explicar los procesos químicos de oxidación, no necesariamente representan las condiciones actuales y puntuales. Y entonces tenemos:



Para ilustrar el proceso de oxidación, emplearemos el modelo de diagrama de Pourbaix, que es un diagrama pH -e V<sup>0</sup> para medios acuosos, en donde podemos encontrar tres zonas:



**IMAGEN 1.** Diagrama de Pourbaix y las diferentes zonas.

Lo importante de este gráfico es la interpretación de las zonas que se presentan, las cuales vamos a correlacionar con el medioambiente que rodea a la escultura, al cual vamos a considerar como una solución acuosa muy diluida.

## ZONA DE CORROSIÓN

El metal en esta región de pH potencial formará oxisales o también sales anhidras; ambas son bastante solubles en agua y pueden ser sulfatos hidratados, carbonatos hidratados e hidroxiclорuros. Al formarse estos productos como eflorescencias de textura pulverulenta y disolverse, la escultura pierde materia y se generan un deterioro por corrosión.

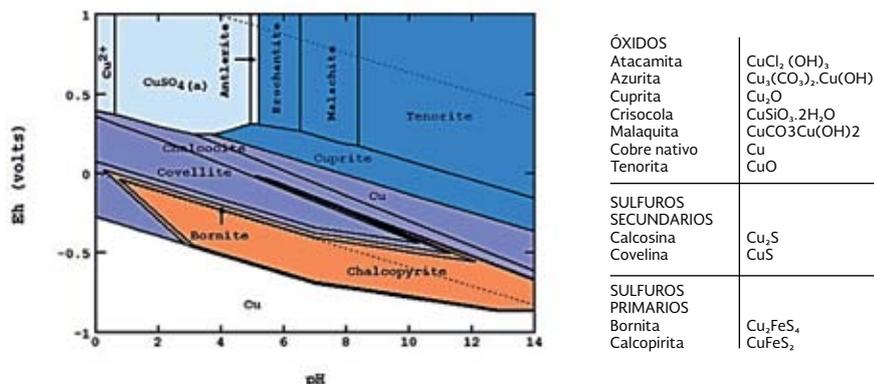
## ZONA DE INMUNIDAD

En estas condiciones no le sucede nada al metal y es resistente a los procesos de desgaste químico en medio acuoso. Por ejemplo, el cobre no sufre deterioro en soluciones acuosas diluidas de ácido clorhídrico. Recordemos que el cloro disuelve a los óxidos de cobre dejando una superficie de cobre sin disolverse. Esto es problemático porque se queda la superficie expuesta a una oxidación posterior.

## ZONA DE INHIBICIÓN O PASIVACIÓN

Los óxidos formados en esta zona se presentan como películas protectoras que impiden una corrosión posterior. Estos óxidos pueden ser simples o complejos. Los primeros normalmente tienden a ser negros; los segundos, color marrón en diferentes tonalidades como marrón oscuro o marrón amarillento.

En la imagen 2, observamos las zonas en donde vamos a encontrar las oxisales de cobre y los rangos de Eh -pH en donde son estables. En nuestro caso el medio ambiente circundante es el agente modificador.



**IMAGEN 2.** El diagrama de Pourbaix señala las zonas estables de las diferentes oxisales de cobre.

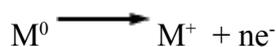
Existen diferentes procedimientos para mitigar los procesos de desgaste; en particular, vamos a mencionar los correspondientes a los procesos químicos:

- ∴ Por diseño de la aleación, en donde la solución sólida que forma a la aleación tiene características tales que resisten al ataque químico dependiendo del pH del medio. Los latones navales se llaman así por resistir el ambiente marino, por ejemplo.
- ∴ Formación *in situ* de películas protectoras por la formación de compuestos intermetálicos resistentes a la corrosión.

## SERIE ELECTROQUÍMICA DE METALES

Conocida como serie electromotriz, ésta tiene relevancia porque nos indica el grado de reactividad de los metales, siendo el más reactivo el litio y el más pasivo el oro. Existe de por medio el hidrógeno, al cual se le ha asignado un potencial de cero, ya que es el punto de referencia.

Los procesos que tienen lugar en la interfase metal-solución de cualquier metal en contacto con una partícula metálica y un electrolito fuerte se pueden medir de manera relativa, ya que otro factor fundamental, el cual modifica el mecanismo y la velocidad de la reacción, es el grado de concentración del electrolito. El metal ( $M^0$ ), en contacto con el electrolito, tiene, por un lado, tendencia a disolverse perdiendo electrones, con lo que queda cargado positivamente ( $M^+$ ).



Por otro, los electrones provenientes de otras reacciones de óxido reducción que ocurren en la superficie del metal de la escultura pueden provocar que los iones metálicos ( $M^{n+}$ ) se reduzcan y entonces se depositen sobre el metal:



Por lo que se alcanza el equilibrio dinámico en un determinado momento y dependiendo de la dirección será el valor del potencial de óxido reducción del metal.



Se ha propiciado, pues, una diferencia de potencial entre el par de metales y el electrolito, a esto se le denomina par galvánico. Para poder medir esta diferencia de potencial, adopta un electrodo estándar que es el electrodo normal de hidrógeno; al cual, por convención y a una temperatura determinada, se le asigna convencionalmente el valor cero. La utilidad de esta tabla radica en conocer qué tan activo es el metal que estamos empleando en nuestra pieza con respecto a otro que se le pueda adherir en su superficie, lo cual significa que tenemos un proceso de corrosión. Una pieza de cobre la protegemos si le damos un baño con una solución de cloruro de zinc o cloruro estano, los cuales son agentes reductores. Estos compuestos químicos, al estar en solución acuosa y existir el pH adecuado, reducen al metal base, oxidándose ellos mismos.

Esta tabla tiene una doble utilidad: por una parte nos indica, por ejemplo, que si una partícula de un metal menos noble cae sobre el bronce y coincidentemente tenemos lluvia ácida, entonces la escultura comenzará a tener puntos de corrosión; por otra parte, se puede saber qué soluciones de agentes reductores debemos aplicarle a la escultura de bronce para protegerla de la corrosión.

Los procesos de deterioro, en una escultura, se pueden observar porque con frecuencia se asocian a un cambio de color superficial, la formación de grietas, cavidades y hendiduras debido a los agentes de intemperismo y antropogénicos. La corrosión se desarrolla con mayor facilidad en las zonas de tensión como lo son los cambios de sección en la escultura, es decir, puntas o ángulos agudos, en donde existen impurezas que forman parte de la aleación o en donde las cavidades sirven de recipientes de agua. De ahí que tengamos diferentes tipos de corrosión, recordando que estamos hablando de corrosión en medios acuosos.

Las imágenes 2 y 3, diagramas de Pourbaix y la serie electromotriz, empleadas de forma simultánea, son de gran ayuda en dos sentidos:

- a. Nos ayuda a entender las condiciones medioambientales que han rodeado a la estatua; en particular, los agentes químicos de deterioro y por lo cual las estatuas comienzan a deteriorarse, al establecerse las

condiciones, específicamente la humedad ambiental y las partículas en el ambiente que propician la formación de un par galvánico y dar inicio a los puntos de corrosión.

- b. Sabiendo en qué condiciones tenemos compuestos de cobre estables; en específico, los óxidos y los sulfuros, podemos establecer las condiciones por medio de las cuales vamos a proteger la estatua dentro de un rango razonable de condiciones medioambientales. Éstas pueden cambiar bruscamente por las actividades antropogénicas, es decir, el aumento de aforo vehicular que emplea combustibles fósiles, por ejemplo.

$Q_{\text{red}} \rightarrow P_{\text{ox}} + ne^- eV$	Reacción de oxidación (corrosión)	Potencial de electrodo, $E^\circ$ (voltios frente a electrodo estándar de hidrógeno)
	$Au \rightarrow Au^3 + 3e^-$	+1,498
	$2H_2 \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$	+1,229
	$Pt \rightarrow Pt^2 + 2e^-$	+1,200
	$Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$	+0,799
	$2Hg \rightarrow Hg_2^{2+} + 2e^-$	+0,788
Más catódico (menor tendencia a la corrosión)	$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$	+0,771
	$4(OH)^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$	+0,401
	$Cu \rightarrow Cu^2 + 2e^-$	+0,337
	$Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + 2e^-$	+0,150
	----- $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	+0,000
	$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^-$	-0,126
	$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^-$	-0,136
Más anódico (mayor tendencia a la corrosión)	$Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e^-$	-0,250
	$Co \rightarrow Co^{2+} + 2e^-$	-0,277
	$Cd \rightarrow Cd^{2+} + 2e^-$	-0,403
	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$	-0,440
	$Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e^-$	-0,744
	$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$	-0,763
	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$	-1,662
	$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$	-2,363
	$Na \rightarrow Na^+ + e^-$	-2,714

**IMAGEN 3.**  
Serie electroquímica  
de los metales.

\* Las reacciones se escriben como semiceldas anódicas. La reacción de semicelda más negativa, la más anódica, presenta la mayor tendencia a que aparezca la corrosión u oxidación.

## AGENTES BIOLÓGICOS DE DETERIORO

Entre los agentes de deterioro, objeto de nuestro estudio, están los biológicos, los cuales están presentes en el medioambiente asociados a la existencia de flora y fauna nocivas que secretan sustancias como piretrinas y ácidos carboxílicos, como el ácido abiético o resina de pino.

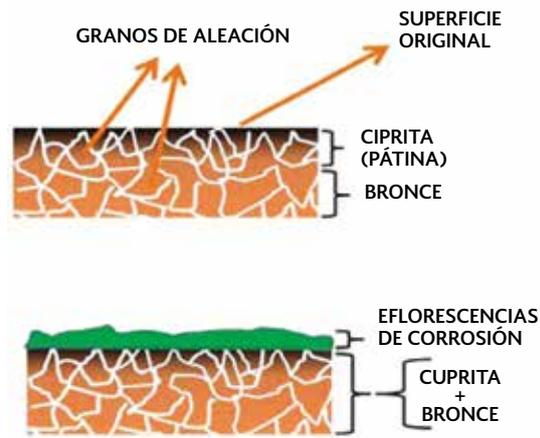
## CORROSIÓN

El proceso de corrosión tiene lugar en varias etapas: una escultura recién terminada comienza inmediatamente a deteriorarse, aun en una atmósfera normal; en la etapa inicial de la corrosión atmosférica los depósitos son leves; cuando la corrosión progresa, se infiltra por los límites de los cristales de la estructura del metal y comienzan a perder cohesión y como resultante se sigue perdiendo materia. En la medida que continúa el deterioro, mayores cantidades de aleación son convertidas a una sal (oxisales y sales anhidras), comenzando por las menos nobles, y esto causa la formación de eflorescencias de mayor volumen, dejando así la capa original de la escultura cubierta por los productos de corrosión. Estas eflorescencias pueden tener diversos colores: son de textura pulverulenta no muy compacta. Esto puede progresar hasta hacer desaparecer la superficie metálica; a pesar de ello, algo se conserva de la capa exterior que representa la superficie original de la escultura, la cual puede retener evidencias de manufactura y ser recuperada y preservada con un procedimiento adecuado de reconstrucción.

El bronce, al ser una aleación, presenta diferencias de concentraciones debido a los cristales de la estructura de cada metal. Esto propicia la existencia de pares galvánicos y ahí se produce corrosión intercrystalina que involucra la estructura cristalina por debajo de la superficie de la pieza metálica. Todo ello se observa macroscópicamente como una fragilización del objeto.

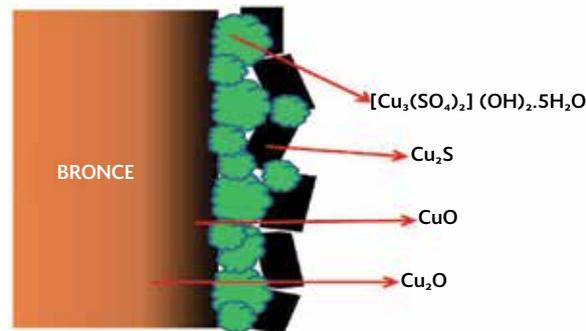
El cobre es atacado por diferentes ácidos, por lo que éstos suelen ser utilizados como abrillantadores y decapantes. Los oxiácidos fuertes como el ácido nítrico, cuando reaccionan, desprenden humos amarillentos de óxidos de nitrógeno. El ácido sulfúrico no es un oxidante tan fuerte como el ácido nítrico, forma sulfatos de cobre hidratados normalmente coloreados en variedades de verde azulado. El ácido clorhídrico disuelve los óxidos de cobre, no así al cobre puro; los ácidos carboxílicos son agentes reductores.

El cobre también produce la formación de distintas oxisales, que tienen colores, en su mayoría, verdes y azules dependiendo del agua de hidratación y de aniones como los cloruros.



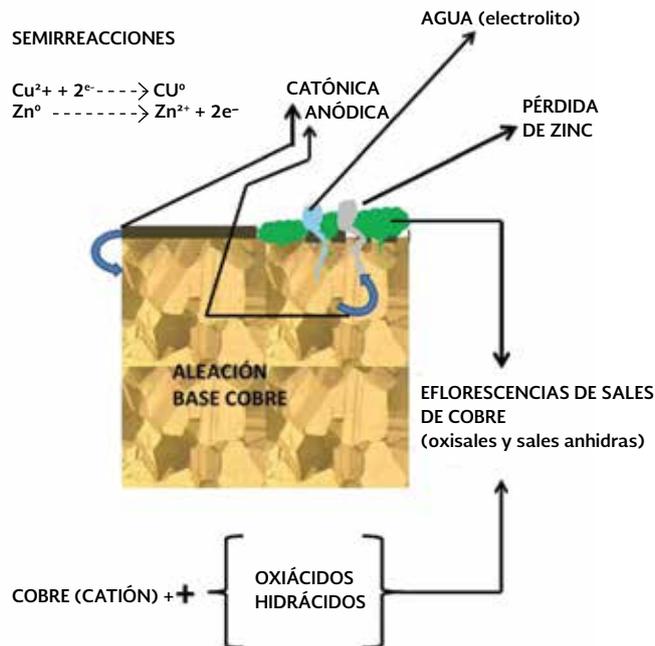
**IMAGEN 4.** En los cuadros superior e inferior, se muestra la pieza original; además, los productos de corrosión.

Al irse formando los productos de corrosión, éstos se van aglomerando, dejando una superficie pulverulenta de regular consistencia y adherencia. Por lo regular, son coloridas en diversos tonos de verde, así como también de color oscuro los sulfuros y los óxidos.



**IMAGEN 5.** Mecanismo de empuje de cristales de oxisales para formar eflorescencias.

La corrosión es un proceso activo que se revela por la formación superficial de eflorescencias, que en determinado momento son atractivas a la vista y dan buena presentación estética, pero el proceso de corrosión continúa, esto se observa en los diferentes escurrimientos, cuyas coloraciones van del verde negruzco hasta el verde amarillento pasando por el azul verdoso.



**IMAGEN 6.** Las reacciones durante el inicio de la descincificación

La corrosión se caracteriza por perder materia debido a la formación de sales coloridas que sobresalen de la superficie de la pieza; por lo general, se presenta en áreas específicas. Además se muestra también en áreas propicias de alta energía generadas por deformación, tensión o soldaduras. De esta manera, tenemos corrosión bajo tensión; también esto se observa en zonas de una pieza de metal que está conformada por cambios de espesor. La apariencia es análoga a la caries dental, donde se van formando cavidades, además de la formación de escamas; se le da esa denominación por la apariencia de escamas coloridas.

La corrosión acuosa es más común y consiste en el deterioro de los metales y en especial de las aleaciones, cuando un electrolito (agua con sales en solución) está presente. Cada metal tiene una tendencia o potencial para ionizarse (formar iones positivos) o corroerse en un medio acuoso. Los iones que forma tienden a salir a la solución y depositarse sobre su superficie en forma de sales formando manchas. Cuando un metal está en contacto o mezclado con otro, el que tiene una mayor tendencia a ionizarse es el primero, pues comienza el proceso de deterioro; así, el metal más noble será protegido de la corrosión por el menos noble. Un metal noble, como el oro, tiene una tendencia muy baja a reaccionar. Debido a que una aleación que está formada por una solución sólida de metales tenderá a separarse y cada metal a reaccionar con lo que se encuentre en el medio. Una estatua de bronce de aleación binaria de cobre con estaño o zinc tenderá a deteriorarse, y el cobre, el estaño y el zinc reaccionarán

formando sales de dichos metales, que físicamente los observamos como eflorescencias. Entonces debemos de considerar que el deterioro de una estatua es hasta cierto punto normal y lo que queda por hacer es generar condiciones para que este proceso sea muy lento.

Las estatuas de bronce, sometidas a los procesos de oxidación, pueden presentar varias coloraciones, lo mismo que diferentes espesores de la película de oxidación. Esto lo mostramos en el capítulo uno de la imagen 5, para ilustrar esas diferentes tonalidades coloridas en la superficie de la pieza.

El paisaje urbano se ha ido modificando de forma drástica, sobre todo porque el alto aforo vehicular de las ciudades influye de forma progresiva en estas modificaciones; en consecuencia, se crean islas de calor, microambientes que pueden variar de una cuadra a otra y propiciar condiciones ambientales diferentes. Todo esto en conjunto propicia que las condiciones de reacción química y biológica entre la pieza metálica y los agentes de deterioro modifiquen los mecanismos de reacción, dando como resultado productos de oxidación diferentes, los cuales visualmente se notan por los cambios de coloración de las superficies metálicas.

#### *CORROSIONES MÁS COMUNES EN LOS BRONCES*

En la siguiente tabla, se enuncian los tipos de corrosión más comunes en los bronce, sus características y una propuesta de mitigación y solución al problema de deterioro.

**TABLA 1**

TIPOS DE CORROSIÓN, SUS CARACTERÍSTICAS Y ALGUNAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

TIPO DE CORROSIÓN	CARACTERÍSTICAS	SOLUCIÓN (PROPUESTA)
Intergranular	Corrosión por los límites de grano. Se notan signos visibles de agrietamiento.	Seleccionar la aleación adecuada para las condiciones ambientales basadas en la examinación metalográfica de muestras en pruebas de corrosión.
Selectiva	Disolución preferencial de zinc o níquel, originando una capa de cobre esponjoso.	Elegir la aleación adecuada para las condiciones ambientales basadas en la examinación metalográfica de muestras en pruebas de corrosión.

Fatiga	Muchas grietas transgranulares.	Escoger la aleación adecuada basada en pruebas de fatiga en el ambiente de servicio: reducir la tensión media o la alternante.
Agrietamiento por corrosión bajo tensiones	Agrietamiento usualmente intergranular, pero algunas veces transgranular. A menudo, esto es bastante rápido.	Optar por la aleación adecuada con base en las pruebas de corrosión bajo tensiones. Reducir la tensión aplicada o las tensiones residuales. Remover los compuestos de mercurio o $NH_3$ del ambiente
Corrosión par galvánico	La corrosión, en un medio acuoso, también se puede llevar a cabo por el hecho de que una partícula metálica diferente al metal base se deposite sobre la superficie de la escultura. Con la humedad, se puede generar un par galvánico y dando lugar al proceso de corrosión. El hecho de que existan zonas con segregación, es decir, diferentes concentraciones, también puede formarse el par galvánico.	Eliminar la presencia de humedad o cualquier otro medio que sirva de electrolito. Así no se formará la pila galvánica. Aplicando algún barniz es posible lograr esto.
Selectiva por pérdida de aleación	Es la eliminación de un elemento de aleación sólida por medios corrosivos y también la temperatura. El ejemplo más común es la sustracción selectiva del zinc en el latón (descincificación). En este caso, puede observarse en la pieza un halo que va de color original del latón hacia un tono rojizo al quedar más rico en cobre. También se puede observar este proceso de pérdida por difusión interna del estaño.	Por lo general, el proceso de <i>alloy depletion</i> es irreversible; sin embargo, se puede intentar barnizar la sección dañada con una solución ligeramente ácida de la solución del metal perdido.

Picaduras  
(*Pitting  
corrosion*)

Estas condiciones provocan corrosión en forma de picaduras, lo que viene siendo una corrosión muy localizada que se identifica por las cavidades que se forman. Tienen el equivalente a caries en los dientes, lo que debilita la estructura del material.

En una mala práctica de restauración, se limpia la pieza sin verificar la consistencia y estabilidad de la película de pátina y lo que se hace es recubrirla con hidrocarburos, ya sea aceites ligeros o diésel usado, con el objeto de aislar la pieza de la humedad ambiental. Lo que no se considera que estos hidrocarburos contienen azufre que, por una parte, producen condiciones ácidas con la oxidación atmosférica y por otra parte, pueden formar colonias de hongos de cuyo metabolismo se desprenden ácidos.

Elaboración: Ricardo Victoria León.



**IMAGEN 7.** Esta escultura se encuentra en la Macroplaza de Monterrey, Nuevo León, presenta un velo blanquecino de óxido de zinc.



**IMAGEN 8.** En las imágenes, se pueden observar diferentes productos de oxidación: los de color verde azulado en el pie, los blanquecinos sobre la soldadura y manchas oscuras de pátina.



**IMAGEN 9.** En esta otra sección de la escultura, se observan puntos de corrosión, caracterizados por su forma circular, tanto verdosa como oscura y otros puntos de corrosión debido a defectos de manufactura de la pieza. Se observan, además, manchas negruzcas en el pantalón y verdosas en el empeine del pie.

## FORMACIÓN DE DEPÓSITOS Y EFLORESCENCIAS

Cuando se habla de depósitos y eflorescencias en una pieza de bronce, uno se refiere a las sustancias externas que se han generado y depositado sobre la superficie metálica como consecuencia de la interacción con el medio ambiente al que se han visto sometidas. En la imagen 10, se puede observar la formación de una sal hidratada de cobre, pudiendo ser clorhidróxido de cobre, atacamita. Se forma una superficie muy rugosa, la cual es mecánicamente frágil por lo que con el paso del tiempo se puede ir deteriorando el material, la eflorescencia es un color azul verdoso, pulverulento. En comparación, se muestra a la cuprita, que tiene color marrón y no presenta ninguna eflorescencia e incluso tiene lustre.

En la siguiente imagen, se observa parte del eslabón que corresponde al monumento a Benito Juárez, se muestra la oxisal formada en el punto donde se inserta a la piedra, que es el lugar donde se guarda más humedad. Por comparación de color y textura, se puede inducir que corresponde al mineral llamado malaquita, un carbonato de cobre hidratado.



**IMAGEN 10.** Comparación entre las eflorescencias que presenta la corrosión, azul verdosas pulverulentas y la cuprita color marrón.

En la siguiente tabla, se presentan una serie de compuestos de cobre y las coloraciones aproximadas que se pueden observar a simple vista sobre las estatuas; la determinación de cuál corresponde a cada una de ellas de forma cualitativa es mediante un estudio cristalográfico que permite correlacionar color con el tipo de sal cristalina formada.

En la mayor parte de las estatuas, las sales que se forman corresponden a la atacamita y la brocantita.

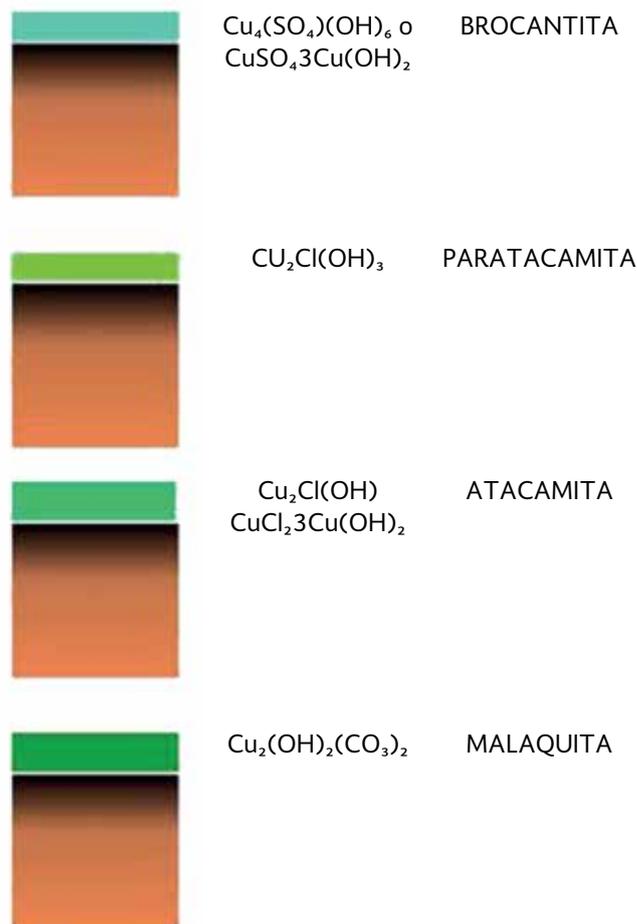
Otras sales que se crean sobre la superficie de la estatua es la debida a las sales de estaño y las sales de plomo y que a continuación, en la misma tabla, sólo se presentan dos de ellas.

**TABLA 2**

COMPUESTOS QUÍMICOS FORMADOS COMO PRODUCTOS DE LA OXIDACIÓN. ALGUNAS OXISALES FORMAN EFLORESCENCIAS. LOS COMPUESTOS ANHIDROS Y LOS ÓXIDOS NO FORMAN EFLORESCENCIAS

NOMENCLATURA	FÓRMULA	COLOR
Cuprita	$\text{Cu}_2\text{O}$	Rojo oscuro o carmín
Tenorita	$\text{CuO}$	Verde a negro
Casiterita	$\text{SnO}_2$	Blanco grisáceo

Cincita	$ZnO$	Rojo oscuro
Malaquita	$Cu_2(OH)_2(CO_3)_2$	Verde esmeralda
Azurita	$Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$	Azul claro a azul marino
Calconatronita	$Na_2Cu(CO_3)_2 \cdot 3H_2O$	Azul verdoso
Auricalcita	$(ZnCu)_5I(OH)_3CO_3I_2$	Azul celeste y verde cardenillo
Atacamita	$Cu_2Cl(OH)_3$	Verde esmeralda a verde oscuro
Nantocoita	$CuCl$	Gris pálido
Paratacamita	$Cu_2Cl(OH)_3$	Verde pálido
Botaliacita	$Cu_2Cl(OH)_3 \cdot H_2O$	Azul verdoso
Brocantita	$Cu_4(SO_4)(OH)_6$ o $CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$	Verde
Astlerita	$Cu_3(SO_4)(OH)_4$ o $CuSO_4 \cdot 2Cu(OH)_2$	Verde
Conelita	$Cu_{19}(SO_4)Cl_4(OH)_{32} \cdot 3H_2O$	Azul
Hidrocianita	$CuSO_4$	Verde pálido o azul celeste
Calcantita	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Azul ultramar
Posnjakita	$Cu_4(SO_4)(OH) \cdot 2H_2O$	Verde azulado
Linarita	$PbCu(OH)_2SO_2$	Gris oscuro
Calcosina	$Cu_2S$	Negro
Covelina	$CuS$	Azul índigo
Digenita	$Cu_8S_5$	Azul a negro
Wurtzita	$ZnS$	Gris pardo
Calcopirita	$CuFeS_2$	Amarillo oscuro o verdoso
Energita	$Cu_3AsS_4$	Gris ferruginoso a negro



**IMAGEN 11.** Depósitos o eflorescencias inestables o destructivas. Comparación aproximada de colores.

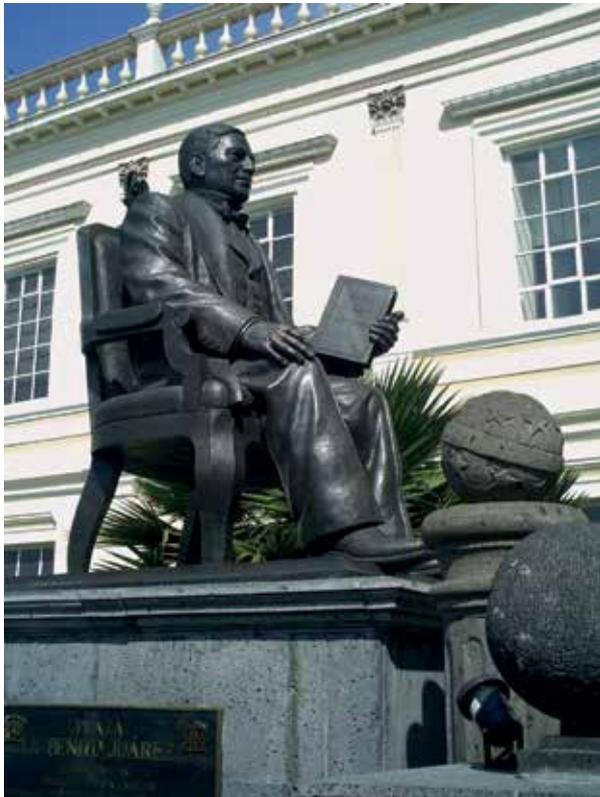
La corrosión, entonces, es un proceso de oxidación pasivo-destructivo, cuyos mecanismos de reacción y velocidad de ésta depende de muchos factores. La corrosión en condiciones normales de ambiente sólo progresa algunas micras por año, pero como va formando parte del paisaje, no es perceptible su incremento continuo.

#### PASIVACIÓN

El proceso de pasivación lo vamos a referir como la formación de óxidos superficiales, los cuales dependen del tipo de aleación diseñada para el ambiente donde va a estar la escultura; se puede adquirir coloraciones que van desde el marrón

claro hasta el oscuro, o si la aleación es amarillo latonada puede tomar coloraciones verdoso-negruczas. En este caso, el proceso de formación de productos de oxidación corresponde más a un proceso de difusión hacia los cristales de los metales que forman la aleación que hacia la formación de eflorescencias, por lo cual, la pieza se observa con cambio de color, pero sin ninguna transformación de textura ni de volumen que pueda formar algún tipo de cascarilla.

Es posible aplicar reactivos químicos en solución que aceleran el proceso de pasivación, dando esa apariencia negruzca, que sería típica de la pátina que se va formando de manera natural en el tiempo.



**IMAGEN 12.** Monumento a Benito Juárez. Plaza Juárez. Fachada sur del Edificio de Rectoría de la Universidad Autónoma del Estado de México.

En el monumento, se puede observar este color oscuro tendiendo a negro, que es representativo de este tipo de proceso antropogénico. La imagen es un ejemplo de ello.

Al principio de esta sección, cuando hablábamos de los procesos de deterioro, citando a la corrosión y al patinado, también observamos la existencia

del diagrama de Pourbaix, en donde se mencionan varias secciones: una de ellas es la pasivación, en la cual existe un proceso de oxidación en donde los productos superficiales y subsuperficiales son tan estables que la oxidación no avanza para dar lugar a la corrosión. Una de las características de este proceso es que se forman óxidos y sulfuros de color oscuro de manera uniforme en toda la pieza. Cuando se forman de manera natural durante mucho tiempo esta pasivación protege a la pieza.



IMAGEN 13. Comparación de películas de pátina

En la imagen, se presenta, en forma esquemática, la creación de esa película protectora, que se forma superficialmente, la cual puede ser continua, además es la preferida para proteger, pues la porosa puede propiciar la existencia de oxidación, ya que entre la película formada y el metal base se puede formar un par galvánico e iniciar el proceso de oxidación.

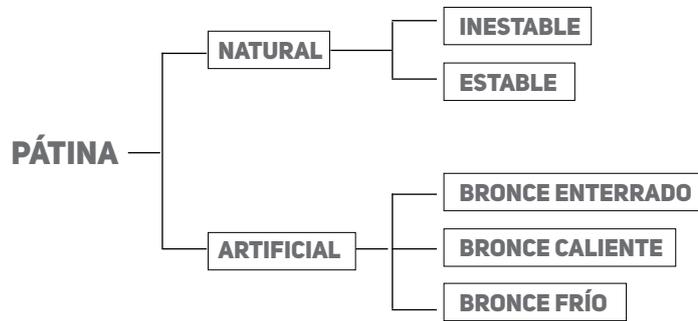
## PÁTINA

Es un proceso de oxidación, pasivo, no destructivo, que también tarda mucho tiempo en formarse algunas cuantas micras de profundidad, en condiciones ambientales normales, es decir, aire limpio, lo cual en la actualidad es muy difícil de lograr debido a la existencia de multitud de aerosoles que contienen vapores ácidos.

A diferencia de la corrosión y en condiciones normales naturales, la pátina se lleva a cabo en medio anhidro, es un equilibrio de fases sólido-gas, donde la adsorción química es la que explica la formación superficial y subsuperficial de los óxidos y también de los sulfuros si fuese el caso, en una primera etapa y posteriormente prevalece la difusión. En estas condiciones, se da la formación de los óxidos de cobre (I) y (II), lo mismo que los sulfuros. Si bien los óxidos son muy estables, no se puede decir lo mismo de los sulfuros, ya que incluso pueden reaccionar con los óxidos, se desprenden en forma de dióxido de azufre y dejan al cobre sin protección. Los óxidos de cobre son de diferentes tonalida-

des de color marrón; en cambio, los sulfuros tienden a un verde negruzco; esto se debe a un efecto óptico del tamaño de partícula porque los sulfuros de cobre y fierro, como en la calcopirita, tienen colores amarillo pálido y tornasol. Esto es en la pátina natural, pues en la artificial, las condiciones son diferentes, el equilibrio de fases es sólido-líquido.

*PÁTINA OBTENIDA EN EL BRONCE*



**IMAGEN 14.** Clasificación de la pátina

*PÁTINAS ARTIFICIALES*

La pátina artificial adquiere una coloración que tradicionalmente es el secreto de cada escultor; sin embargo, se puede encontrar una justificación química general. Los óxidos de los metales pueden formarse a diferentes temperaturas en presencia de atmósferas oxidantes o reductoras. Esto lo podemos comprobar si a una lámina de cobre le acercamos un mechero común de laboratorio químico y una flama; observaremos que se forma una mancha tornasoleada si la flama es oxidante, pero en presencia de una flama reductora. Se ha empleado un brazalete de cobre sólo para efectos demostrativos de la pigmentación que se puede lograr con la pátina y luego una capa de barniz.



**IMAGEN 15.** Brazalete pigmentado a la flama.

**TABLA 3**  
COLORES DE LA PELÍCULA DE DIFERENTES ÓXIDOS DE COBRE QUE SE FORMAN  
SOBRE LA SUPERFICIE DE LA PIEZA

COLOR	ESPESOR DE LA PELÍCULA $\mu\text{m}$
Café oscuro	37-38
Púrpura	45-46
Violeta	46-50
Azul oscuro	50-32
Amarillo	94-98
Naranja	112-120
Rojo	124-128

Elaboración: Ricardo Victoria León.

Las pátinas artificiales se aplican al cobre o al bronce, se utilizan soluciones químicas que reaccionan con la superficie para formar una capa delgada de oxidación de color. La pátina puede ser transparente u opaca y a veces se aplica en cierto número de capas para producir efectos muy variados. La patinación se ha utilizado como una técnica de decoración sobre metales.



**IMAGEN 16.** A los obreros de Nuevo León. Macroplaza en Monterrey, Nuevo León. Patinado artificial y barniz negro.

Otras técnicas para patinar artificialmente pueden ser tan variadas como el escultor decida dar una apariencia superficial a la escultura, como las que implican enterrar la pieza en presencia de estiércol y orina de ganado vacuno, enterrarlo en suelos ácidos donde el ácido fúlvico y sílvico sean los que reaccionen o aquellas en las que el escultor realiza un proceso análogo al esmaltado a fuego, empleando diferentes pigmentos inorgánicos. No debemos olvidar que también existen métodos de carácter electroquímico, en donde la pátina se logra en un proceso similar al del anodizado del aluminio.

#### *PÁTINA NATURAL*

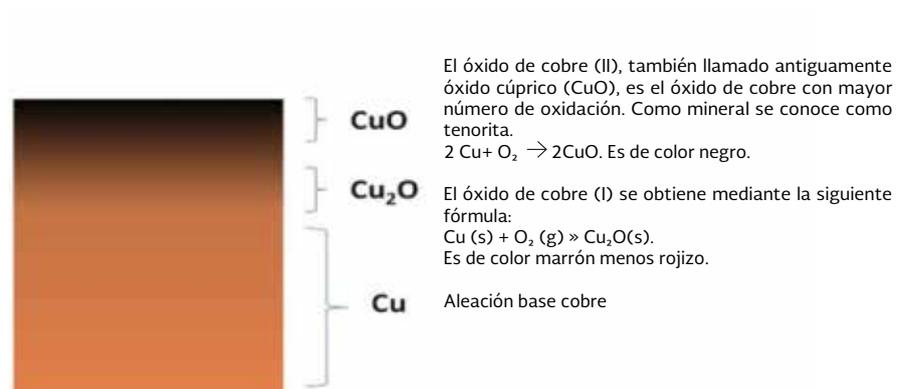
Proceso natural que se lleva a cabo por medio del contacto de la escultura con el aire. La oxidación es muy lenta; por ello, el proceso se vuelve homogéneo y muy estable. Esta película puede comenzar a perderse por efectos de la calidad ambiental actual o por el empleo de oxidantes más fuertes o por el uso de abrasivos, lo cual contradice las buenas prácticas de la restauración.



**IMAGEN 17.** Brazaletes de cobre que se ha ido patinando naturalmente.

La pátina natural es un mecanismo efectivo de protección externa sólo superficial. Como se muestra en la imagen, se ha empleado un brazalete de cobre sólo para efectos demostrativos de la pigmentación que se puede lograr con la pátina.

Cuando la pieza de bronce se deja oxidar por actores ambientales, la pátina natural se da. Este proceso de pátina depende enteramente del entorno del bronce, sea aire, tierra o mar. La pátina natural no es controlada por los humanos y las condiciones climáticas e incluso la calidad del aire en la locación física de la pieza de bronce determinan el color de la pátina.



**IMAGEN 18.** Capa de óxidos superficiales.

Las pátinas naturales varían el color si el bronce está cubierto con tierra o agua, y según la cantidad de tiempo que ha pasado, ya que los químicos que se dan naturalmente no pueden ser controlados durante el proceso de pátina. El color final de ésta puede variar. Los colores se limitan generalmente a azules, verdes, blancos y a veces tonos rojizos. El color del óxido que la forma puede variar en función del grosor de la capa.

## DEPÓSITOS O EFLORESCENCIAS INESTABLES O DESTRUCTIVAS

La llamada enfermedad o cáncer del bronce es la presencia de sales de cloro, atacamita y paratacamita, sobre la superficie de monedas, esculturas y otros objetos realizados en aleaciones de cobre y es muy destructiva.

El cloruro cuproso y el cloruro cúprico, combinados con el oxígeno y el agua del aire, producen ácido clorhídrico. Esta reacción ocasiona unas manchas de color verde pálido a azul verdoso, suaves y polvorientas sobre la superficie del objeto, corroyéndolo y produciendo más cloruros de cobre, iniciando de nuevo la reacción para producir más ácido clorhídrico, y así sucesivamente hasta hacer desaparecer el objeto.

Obsérvese el rostro de la imagen perteneciente a la escultura de don Miguel Hidalgo y Costilla, localizada en la Plaza de los Mártires en Toluca. Se pueden distinguir varios tipos de manchas coloridas, que corresponden a la descripción anterior.



**IMAGEN 19.** Miguel Hidalgo y Costilla. Se puede observar manchas verdosas y otras manchas blanquecinas.

## ÓXIDOS BLANQUECINOS-VERDOSOS

Estos depósitos están formados principalmente por las siguientes familias de compuestos.<sup>1</sup>

### *Sulfatos de cobre*

Se han identificado brochantita o brocantita de fórmula  $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$  y la antlerita  $\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$ . Los sulfatos de cobre están asociados fundamentalmente a compuestos formados en el exterior en atmósferas urbanas y contaminadas por dióxido de azufre, ozono y óxido nitroso.

### *Cloruros de cobre*

Se han identificado la atacamita  $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$  y la paratacamita  $(\text{Cu}^{2+})_3(\text{Cu}, \text{Zn})(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ . Estos compuestos son los responsables de la conocida como enfermedad del bronce, que se debe a la presencia de sales de cloro, atacamita y paratacamita.

<sup>1</sup> La descripción de estos compuestos se han tomado de la siguiente dirección: [www.metisrestaura.com/elciddesevilla/los-colores-del-cid-analisis-quimico-elemental-del-bronce-de-la-estatua-del-cid-de-sevilla/](http://www.metisrestaura.com/elciddesevilla/los-colores-del-cid-analisis-quimico-elemental-del-bronce-de-la-estatua-del-cid-de-sevilla/) Esta página se consultó el 3 de febrero de 2017.

#### *Óxidos de cobre*

La cuprita  $\text{Cu}_2\text{O}$  aparece por la exposición al aire húmedo del bronce (formado por cobre mayoritariamente), tanto en atmósferas exteriores como en suelos, aunque en ambientes ligeramente ácidos.

Otros compuestos. Finalmente se ha identificado la presencia de cuarzo, calcita y dolomita, que son minerales que probablemente tienen su origen en las partículas de polvo en suspensión y que se han depositado sobre la estatua por acción de la gravedad y del agua de lluvia.

#### *Depósitos amarillentos*

Tiene la misma composición que la blanquecina-verdosa, pero además se ha identificado la presencia de goethita, la cual es un oxihidróxido de hierro  $\text{FeO}(\text{OH})$ , que es el responsable de la coloración amarillenta.

#### *Depósitos marrón oscuro*

Tiene la misma composición que la blanquecina-verdosa, pero es más abundante la presencia de cloruros de cobre (atacamita y paratacamita) que la de sulfatos de cobre (brocantita).



**IMAGEN 20.** José Vicente Villada en la ciudad de Toluca.

El monumento al general José Vicente Villada se encuentra al final de la avenida Villada y el principio de Paseo Colón. Se presenta como ejemplo de las eflorescencias antes mencionadas, en la imagen 19, en la mano derecha, se observa una mancha marrón y en el resto del saco se observan manchas blanquecinas.



**IMAGEN 21.** Detalle del monumento al general *José Vicente Villada*. Obsérvese el color marrón de óxidos de cobre en la mano derecha.



**IMAGEN 22.** *Monumento a la Autonomía Universitaria*, localizado en el Jardín de la Autonomía en la fachada oriente del Edificio de la Rectoría, UAEM. Muestra de la pérdida de la pátina artificial dejando al descubierto al metal base.

En las imágenes anteriores, se puede observar cómo la pátina artificial, que se hubo dado en la inauguración de la escultura, con el tiempo se fue desgastando y decolorando hasta ir dejando al descubierto el color verdadero del metal base como se puede observar en el pie de una de las estatuas, en donde se encuentra el color marrón de la aleación.

## CORROSIÓN VS. PÁTINA

Para concluir este capítulo haremos énfasis en los mecanismos de oxidación: corrosión y pátina. El primero es un proceso destructivo irreversible con pérdida de masa, ya que al formarse los productos de corrosión se está perdiendo metal y en el caso de la pasivación, que corresponde al área de inhibición. En la zona de inmunidad, recordemos que el metal prácticamente está inerte, es decir, es una zona de pH  $-e V^0$ , en donde el metal tiene muy baja inercia química.

Hemos empleado monedas de cobre de diferente fechas de acuñación para observar qué sucede en los casos de corrosión y pasivación; en este mecanismo, podemos observar en la imagen 23, cómo las monedas de cobre de la misma denominación pueden presentar tanto la corrosión como la pátina en ambientes naturales de uso, comenzando por el color dorado rojizo que corresponde al cobre casi puro, empleado en la acuñación de la moneda, la cual se oscurece y puede tomar dos rutas diferentes: la de corrosión que comienza a cubrir áreas pequeñas y después seguir al deterioro superficial de la pieza (esto se conoce como el cáncer del bronce); en cambio, se puede optar por la trayectoria alterna en donde el oscurecimiento marrón continúa y se estabiliza y en ausencia de humedad, como se muestra en la siguiente imagen, hasta adquiere algo de brillo.



**IMAGEN 23.** Comparativo de apariencia superficial de corrosión y pátina.

En la imagen 24, se muestran tres monedas: dos de cobre del Reino Unido y una de los Estados Unidos. La moneda de inicio dice que fue acuñada en 2002; en ella, se muestra las características de la acuñación actual en frío, para obtener este tipo de acabado brillante color marrón rojizo claro correspondiente al cobre. En el lado derecho se encuentra la norteamericana que presenta eflorescencias verdosas correspondiente a las primeras etapas de la corrosión, se acuñó en 1980; contrastantemente la moneda inglesa se troqueló en 1975 y sólo está oscurecida con un color marrón claro.

Se han empleado monedas por estar fabricadas con una aleación muy alta en cobre; además, se comportan de manera similar a las estatuas de bronce, ya que la composición química es muy similar.



**IMAGEN 24.** Comparativo entre monedas con diferente fecha de acuñación.

Desde nuestro punto de vista de la Química en el arte y la restauración, es preferible una pátina natural, porque puede acelerarse un poco, que permitir la corrosión a la cual se tiene que detener, pues en el mecanismo de deterioro existe pérdida de masa y por lo tanto se expone a perder la escultura de forma irreversible.

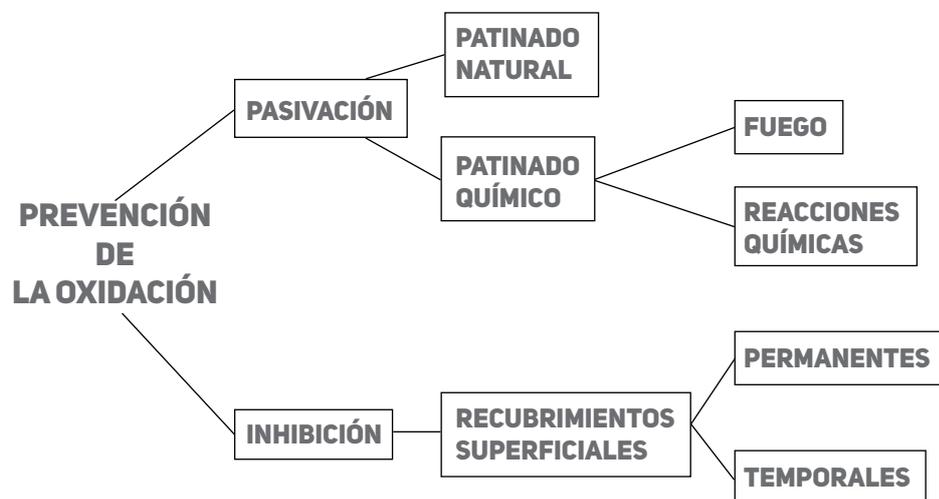


## CAPÍTULO 6

## PREVENCIÓN DE LA OXIDACIÓN

Los escultores conciben sus obras para que sean eternas; sin considerar, por razones obvias, que el medioambiente a lo largo del tiempo se ha ido convirtiendo en un conjunto agresivo de agentes de deterioro que pueden afectar la belleza estética de la escultura. Para ello, hay que protegerla desde un inicio y permitir que los restauradores puedan realizar de manera eficiente su actividad, para que la escultura pueda trascender en el tiempo y ser observada por las futuras generaciones. La prevención es la mejor acción que se puede efectuar.

La mejor opción para prevenir la acción de los agentes químicos de deterioro superficial de las esculturas de bronce consiste en interponer una capa lo suficientemente resistente entre la superficie de la pieza y el medioambiente circundante, y para ello se tiene:



**IMAGEN 1.** Clasificación de procesos de prevención de la oxidación.

La prevención de la oxidación principia desde el momento en que se concibe la escultura, es decir, se tiene que escoger la aleación apropiada para el ambiente en donde va a estar expuesta.

No debemos de perder de vista lo expuesto en el capítulo cinco al respecto del diagrama Pourbaix, sólo que es necesario interpretarla y adaptarla de acuerdo con lo siguiente: tenemos que considerar el ambiente como un sistema acuoso muy diluido, ya que la humedad relativa hace las veces de electrolito y el entorno adquiere una acidez en función de los aerosoles contaminantes. Como ejemplo tenemos a los latones marinos que resisten la salinidad en el ambiente.

### PASIVACIÓN (PATINADO)

Para nuestros fines de conservación y restauración, la pasivación consiste en obtener una capa lo suficientemente protectora y estable, hecha a partir de la aleación base. Se lleva a cabo una reacción química de oxidación, cuyos productos de la reacción son muy estables, de tal forma que reacciones de oxidación posteriores no sean posibles, a menos que se agregue un oxidante muy fuerte que llegue a remover dicha película. Es importante considerar que, si la pátina es estable, debe conservarse. Si ésta se remueve sin considerar cómo se formó y durante cuánto tiempo, entonces se deja desprotegida a la escultura de esa piel protectora y es totalmente vulnerable al ataque de los agentes de deterioro.

Esa pequeña capa protectora (de algunos cientos de micrómetros) es una piel muy delgada y a la vez muy resistente; se puede hacer una analogía con la piel del ser humano, estamos hablando de un tatuaje; en este sentido, la pátina llega a formar parte de la apariencia estética de la escultura, además, adquirida naturalmente la pátina es el mejor sello de garantía de la originalidad y antigüedad de la pieza; removerla irresponsablemente es eliminar ese certificado de ser una antigüedad real y convertirla en una escultura recién envejecida.

### PATINADO NATURAL

Las aleaciones color amarillo latonado, por lo común, van a exteriores, y el patinado natural es el más recomendable, pues la escultura poco a poco va a adquirir un velo blanquecino de oxicloruro de zinc y después se va ir oscureciendo. Ésta es una técnica para esculturas de grandes dimensiones. En esa analogía con la piel humana, estamos en presencia del bronceado de las

personas que habitan en las costas en zonas de mucha insolación, esto es una cuestión genética.

## PATINADO QUÍMICO

Es un proceso con el cual se obtiene una película protectora lo más homogénea posible; haciendo analogía con el tratamiento de otros metales para prevenir la oxidación, por ejemplo el aluminio, el anodizado es un proceso electroquímico, el cual puede impartir incluso diferentes colores a las esculturas decorativas que en la actualidad se están haciendo y por lo tanto se les da un alto valor comercial.

El patinado químico es para piezas de menores dimensiones. Por lo general, se encuentran en interiores:

- a) El patinado con fuego normalmente se logra haciendo un uso apropiado de la flama con la cual se va a flamear toda la pieza; desde luego, el control de temperatura es muy delicado, ya que de lo contrario puede sobrevenir una pérdida de elementos aleantes, como el zinc y entonces tenemos una decincificación superficial quedando la pieza de color marrón. Esto indica lo siguiente: el cobre es el que está expuesto.
- b) El patinado químico que involucra reacciones químicas es el que se aplica a piezas de dimensiones regulares y prácticamente se van pintando secciones de la pieza para que se tome algún color en particular. Los colores y tonalidades que se obtienen son los que en la naturaleza presentan los diferentes minerales de cobre, como es nuestro caso. Así los compuestos denominados oxisales como carbonatos, sulfatos, fosfatos dan compuestos con colores verdes y azules, pero con los cianuros y sales de hierro dan tonalidades blancas y negras. También es importante el estado de oxidación del metal porque éste combinado con el azufre puede dar sulfuros cúpricos y cuprosos en tonos amarillento dorado con brillos negruzcos.
- c) El patinado que se realiza con un oxidante fuerte como el ácido crómico es el tropicalizado, el cual da un terminado color latonado tornasolado.

## INHIBICIÓN

Es el proceso de prevención de la oxidación. Consiste en crear una capa protectora a partir de materiales externos a la aleación base, los cuales se adhieren a la escultura y cubren la superficie en su totalidad. Estos recubrimientos totales no difunden hacia el interior de la estructura metálica, son sólo superficiales de

espesor y homogeneidad variable; por lo tanto, vulnerables hacia los agentes de deterioro, incluyendo la radiación solar. En esa analogía con la piel del ser humano, equivale al uso de bloqueadores solares y si observamos a estos productos, se tienen diferentes valores de grado de protección, así las sustancias empleadas como inhibidores tienen distintos grados.

Las sustancias empleadas como inhibidores pueden ser temporales o permanentes; esto depende de su calidad, tipo y características químicas, además de su durabilidad. Son vulnerables a los agentes de deterioro incluyendo la biocolonización de hongos y líquenes.

#### A) INHIBIDORES TEMPORALES

Este tipo de productos son baratos y —como se diría coloquialmente— para salir del paso; además si se aplican sin seguir las instrucciones de un profesional de la conservación y restauración pueden resultar muy perjudiciales.

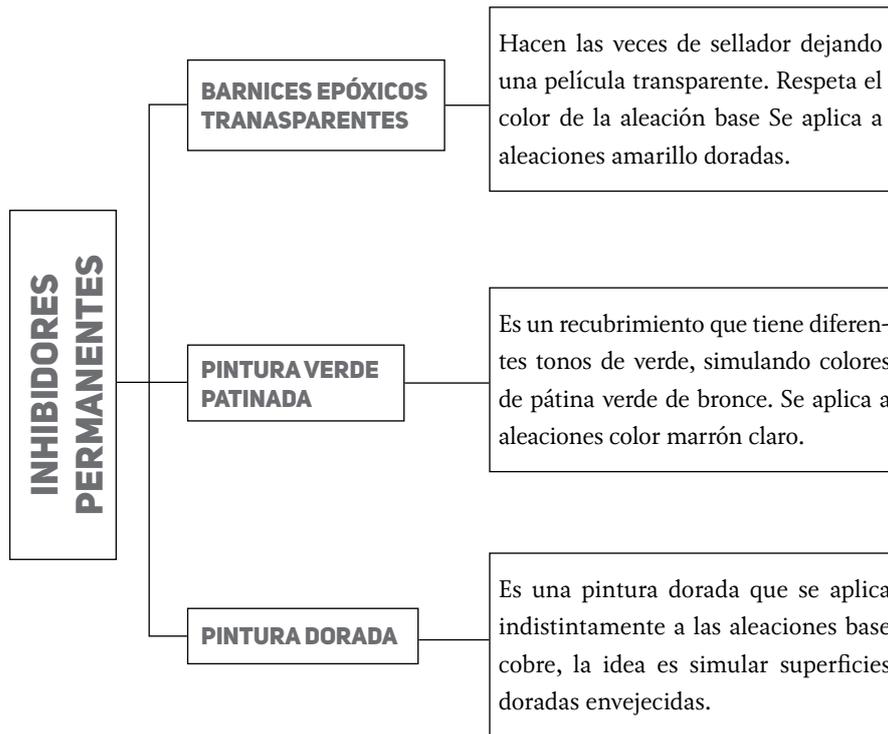
Aquí encontramos a los productos derivados del petróleo: aceites de uso automotriz, usados y mezclados con diésel; éstos son baratos y se aplican directamente sobre la escultura; la protección que realizan es con respecto al agua meteórica, humedad ambiental y ambientes corrosivos; sin embargo, tienen otros inconvenientes como el de servir de impactadores de todo tipo y tamaño de sólidos viables y no viables. Otro inconveniente del uso de estos productos es su grado de acidez por el contenido de azufre que contienen los productos de petróleo de uso automotriz en México.

También se encuentran en el mercado otros productos químicos orgánicos, las ceras y los silicones, los cuales se emplean para encerar a las esculturas. El éxito de su durabilidad depende del tipo de producto y de quién la aplica, aunque —como hemos dicho— son productos de corta caducidad.

Los productos químicos denominados triazoles se emplean con antifúngicos, ya que la biocolonización de las superficies metálicas es muy común.

#### B) INHIBIDORES PERMANENTES

Este grupo de productos químicos se aplican con la intención de que el lapso entre procesos de conservación y restauración sea lo más espaciado posible. Tomando como base nuestra experiencia y la observación de muchas esculturas, proponemos lo siguiente:



**IMAGEN 2.** Clasificación y usos de inhibidores permanentes.

Se deben considerar las operaciones de prevención de la oxidación, pues éstas tendrán éxito si se toma una buena decisión profesional del restaurador, la calidad de los productos aplicados y el conocimiento del medioambiente que rodea a la escultura; por una parte, es importante señalar que ningún producto químico empleado como inhibidor de los agentes agresivos es capaz de resistir el vandalismo.

Por otra parte, debemos de recordar que la dinámica de los aerosoles ambientales nos indica que las esculturas expuestas en exteriores hacen las veces de elementos captadores de los sólidos que andan volando en el ambiente y que se adhieren a las superficies metálicas, lo cual da una apariencia visual de una superficie polvosa y desde luego la apariencia de la falta de mantenimiento.

Para ejemplificar lo anterior, presentamos una serie de esculturas que tienen diferentes tipos de tratamientos tanto de pasivación como de inhibición.



**IMAGEN 3.** Centro escultórico en exteriores. Parque Woldenberg en la ribera del río Mississippi en Nueva Orleans.

Al observar con cuidado este centro escultórico, se podrá observar lustre diferente sobre la superficie de las estatuas. Las áreas que no están al alcance del contacto antropogénico tienen distinto brillo; en la parte inferior, se observan los productos verdosos de la oxidación. La aleación es un bronce color marrón.



**IMAGEN 4.**  
Escultura surrealista  
en exteriores.  
Localizada en el  
Centro Cultural de la  
Universidad de  
Guadalajara, Jalisco.



**IMAGEN 5.** Detalles de escultura surrealista.

En esta escultura, se representa un ave con la cabeza invertida, la cual también sirve de asiento, pero ya está prohibido sentarse en ella. En esta pieza, puede observarse que el metal base era el amarillento claro, que fue recubierto con algún tipo de pintura color marrón oscuro, la cual con el uso se fue eliminando; en las patas del ave, se aprecian unas eflorescencias verdosas, señal del principio de corrosión, incluso hay algunas muestras de una pintura rojiza.



**IMAGEN 5.** Don Quijote y Sancho Panza. Plaza España. Centro Histórico de Toluca, Estado de México.

En estas esculturas, se puede observar que las estatuas inicialmente estaban pintadas con alguna pintura negra para protección, pero con el paso del tiempo se ha ido perdiendo, y el polvo se ha ido acumulando.



**IMAGEN 7.** Mario Colín y Carmen Serdán. Primer cuadro de la ciudad de Toluca, Estado de México.

Estos dos bustos fueron recubiertos con un barniz negro para protegerlos. El de la imagen superior se encuentra en una zona con mucho tránsito vehicular, la de la parte inferior está en un jardín; ambas están muy bien conservadas.

A continuación, presentamos las fotografías de otras obras, que hemos clasificado como murales tridimensionales de bronce.



**IMAGEN 8.** Murales tridimensionales. Se encuentran en el interior del Museo Pancho Villa en el Palacio de Zambrano en la ciudad de Victoria, Durango, Centro Histórico.

Estos tres murales tridimensionales expuestos en el interior de un inmueble están muy bien conservados. El recubrimiento que se les dio fue un patinado que incluso resaltó algunos detalles de las imágenes presentadas.



**IMAGEN 9.** Estatua en exteriores. *Horacio Zuñiga*. Se ubica enfrente de la Biblioteca Central, Cerro de Coatepec, Ciudad Universtaria, UAEM.

Esta pieza se pintó de color verde pátina, la aleación base es de color marrón. La pintura verde ya está un poco descolorida por el paso del tiempo y los agentes agresivos que en realidad son pocos no le causan muchos problemas. En esta

zona, es probable que exista mucha condensación de la humedad y por ello en la base se observan algunos escurrimientos. La estatua está muy bien conservada.



**IMAGEN 10.** *Fray Andrés de Castro.* Se encuentra en la Plaza del mismo nombre en el Centro Histórico de Toluca, Estado de México.

En estas imágenes, se observa que la escultura se hizo en la aleación amarillenta que ya fue pintada para resaltar detalles con briznas de pintura negra, pero lo importante es que ese brillo se le dio a la escultura aplicándole aceite quemado y fue en exceso, porque en las siguientes fotografías se podrá observar la apariencia posterior de la escultura.

Estas imágenes se obtuvieron tiempo después; se observa que el brillo, después de aplicar el aceite, se convirtió en un sumidero de polvo y el aceite residual levantó la pintura roja del pedestal.

Los trabajos rápidos no profesionales dan estos resultados y la prevención de nada sirve porque tiempo después se revierten las condiciones y se hace vulnerable a la pieza.



**IMAGEN 11.** *Fray Andrés de Castro* en la Plaza del mismo nombre en el Centro Histórico de la ciudad de Toluca, Estado de México.



**IMAGEN 11.** Detalles de la escultura *Fray Andrés de Castro*.

## PROCESOS QUÍMICOS Y ELECTROQUÍMICOS QUE MODIFICAN SUPERFICIALMENTE A LOS METALES Y SUS ALEACIONES

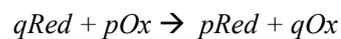
Estos procesos se refieren a la oxidación superficial inducida química o electroquímicamente, con el objeto de prevenir el deterioro por oxidación, en donde se puede llevar a cabo la inhibición de la pieza; de esta manera, se evita la corrosión.

### RECUBRIMIENTOS QUÍMICOS

#### Anodizado

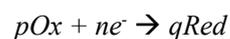
q: aleación base bronce p: sal de metal activo

1. Electropulido
2. Galvanizado
3. Iridizado
4. Pasivación
5. Pavonado
6. Tropicalizado



#### Recubrimientos electroquímicos

1. Cromado
2. Niquelado
3. Plateado



## OTROS RECUBRIMIENTOS

1. Anodizado de distintas clases y para materiales disímiles
2. Pinturas y esmaltes
3. Plastisol
4. Porcelanizado

En la actualidad, todos estos procesos son muy comunes, de los cuales se pueden obtener esculturas muy atractivas, tanto en la forma como en el acabado superficial, donde prácticamente se puede lograr cualquier color, además de adquirir una muy buena resistencia a la oxidación.



## CAPÍTULO 7

# ACTIVIDADES INAPROPIADAS DE RESTAURACIÓN

**E**n este capítulo, ejemplificaremos dos casos, pues consideramos que no corresponden a las buenas prácticas de conservación y restauración, por lo general, aceptadas. Como resultado de dicha actividad, las esculturas fueron modificadas irreversiblemente y su estado actual, si bien se preserva la escultura original; la pátina natural, adquirida a lo largo de muchos años, desde que se hizo la pieza, desapareció.

Nos referimos a dos esculturas ecuestres, las cuales están localizadas hoy en día en puntos de referencia histórica y cultural.

El primer caso es la *Estatua ecuestre de Carlos IV*, hecha por Manuel Tolsá; dicha escultura se encuentra en la Plaza Tolsá en el Centro Histórico de la Ciudad de México. Los procesos de mantenimiento realizados no corresponden a una buena práctica de restauración, y ello ocasionó que se tuviera que entrar al campo de la reconstrucción; además, se adicionaron elementos que no pertenecen al objeto.

Si bien en principio el proyecto de restauración era bueno, en la práctica demostró todo lo contrario por muy diversas causas: la principal fue la falta de profesionalismo de la empresa contratada. Las imágenes que se presentan a continuación fueron obtenidas, casi en su totalidad, de la página El Caballito. Proyecto de restauración, en la cual participaron muchos expertos en dicha área. Esta página electrónica la inició don Guillermo Tovar y de Teresa y doña Lucía Ruanova Abedrop. Las imágenes que ahí aparecen son las noticias publicadas por los principales periódicos de circulación nacional: *Reforma*, *El Universal*, *Excélsior* y *El Sol de México*. Fueron mostradas en la mencionada página de internet durante todo el proceso desde que salieron a la luz pública los problemas de la restauración y denunciada por los expertos de dicha página. Otra fuente de información es la publicada en la revista electrónica *Imágenes* del Instituto de Investigaciones Estéticas de la Universidad Nacional Autónoma de México que presentamos más adelante.

Este problema reveló otros casos similares de restauración que se realizan en todo el país.

Esta estatua ecuestre ha tenido operaciones de restauración debido a los cambios de localización que ha tenido, comenzando su traslado inicial del taller del maestro Tolsá hasta la Plaza Mayor de México en lo que hoy es el Zócalo, posteriormente al edificio de lo que fue la Escuela de Medicina en la Plaza de Santo Domingo en el Centro Histórico de la Ciudad de México, luego fue movida a lo que se conocía como la Glorieta del Caballito en las confluencias de avenida Juárez y Paseo de la Reforma. En el siglo xx resistió dos sismos de magnitud considerable en 1957 y en 1985; por último, se cambió de localización a su ubicación actual en avenida Tacuba en el Centro Histórico.



**IMAGEN 1.** Antes de la restauración. *El Caballito* en su ubicación actual: Plaza Manuel Tolsá del Centro Histórico de la Ciudad de México.

La escultura de Carlos IV, una de las pocas piezas contadas en el mundo, es una estatua ecuestre, sólida y fundida en una sola pieza, de ahí su gran valor, pues también se considera un logro del taller de fundición y del maestro Tolsá. Considerando el avance tecnológico de su época, fue una obra extraordinaria y que lamentablemente quedó vulnerable ante el ataque intencional de quienes decían querer restaurarla.

Ahora mostramos la escultura antes de ser sometida a la restauración:



**IMAGEN 2.** *El Caballito* antes de ser sometido a la restauración en la Plaza Manuel Tolsá.

La primera etapa de todo el proceso la hemos denominado la *restauración fallida*, en la cual simplemente se eliminó todo vestigio de la pátina existente; si bien estudios posteriores revelaron que había, por lo menos, tres diferentes etapas previas de restauración, con esta acción de aplicar solución acuosa de ácido nítrico sobre la superficie metálica, pues se borró, por decirlo así, todo antecedente de alguna actividad de restauración anterior y prácticamente se comenzaría desde un nivel elemental los nuevos procedimientos.



**IMAGEN 3.** *El Caballito* después de la *restauración fallida*.

Al aplicar la solución acuosa de ácido nítrico, principalmente, se dejó al descubierto la superficie color marrón típica de un bronce con alto contenido de estaño y plomo por su coloración oscura. Esto era el inicio de toda una cadena de errores porque al no poderse controlar los escurrimientos de la solución ácida, se comenzaron a formar los compuestos de cobre, las eflorescencias de color verde azulado, verde amarillento y verde atornasolado que son el indicativo de la corrosión. Estos compuestos son por ejemplo la atacamita.

Otro error: al momento de aplicar la solución ácida, parte de esos escurrimientos penetraron en grietas y fisuras preexistentes en la escultura, causando lo que se denomina corrosión intergranular, afectando no sólo a la superficie de la pieza, sino además creando defectos subsuperficiales, que de no detenerse a tiempo seguirían penetrando a la escultura.

Lo recomendable hubiese sido agregar un gel polimerizable, en cuya composición estuviese tanto el ácido como alguna otra sustancia tensoactiva para que sólo se formara una costra que fácilmente se pueda remover sin haber penetrado a las grietas y fisuras.

La siguiente imagen desagregada muestra las partes de *El Caballito*. No significa que la escultura esté compuesta por varias piezas; sin embargo, esta imagen es muy ilustrativa, para efectos de un conocimiento y entendimiento práctico y accesible.



**IMAGEN 4.** Las partes constituyentes de la escultura *El Caballito*.

A continuación, presentamos la serie de fotografías en la que se presenta el proceso inadecuado de restauración. Dichas imágenes se mostraron en el grupo El Caballito. Proyecto de restauración:



**IMAGEN 5.** Diferentes grados de corrosión creados en la restauración fallida.

Siguiendo con la *restauración fallida*, continúa una serie de errores como el que se muestra en la siguiente imagen:



**IMAGEN 6.** En esta fotografía, se observa el decapado mecánico sobre la superficie de la escultura.

Se quiso enmendar un error con otro. Una vez eliminada la pátina protectora, se procedió a realizar un decapado mecánico para dejar supuestamente brillante a la pieza, operación que no debe efectuarse a menos que sea imprescindible, ya que se le resta originalidad a la escultura.

La siguiente etapa la hemos llamado *restauración profesional*. Esta fase fue encabezada por expertos de la UNAM y el INAH. Estos profesionales en restauración le regresaron esa apariencia que caracterizó la elegancia estética de una escultura antigua y con ello salvaguardaron la integridad de la pieza.

El segundo caso es la *Estatua ecuestre de don José María Morelos y Pavón* en la explanada del Teatro Morelos en el Centro Histórico de la ciudad de Toluca, Estado de México.

Durante estos trabajos no hubo un apego adecuado a la Carta del Restau-ro, firmada por México ante la UNESCO, así como las buenas costumbres, normas y procedimientos de restauración. Esta operación es equivalente, guardando las debidas dimensiones, a lo descrito que ocurrió con la estatua de *El Caballito* en la Ciudad de México. En la ciudad de Toluca, lamentablemente, esto no fue significativo para la comunidad, ya que se dio una nueva y brillante apariencia para el habitante no conocedor.

En la imagen 7, se puede comparar la textura y acabado original de la pieza con una pátina verde mate típica de un metal bien estabilizado y la que se le dejó después de esta remodelación con un lustre dorado. En esta serie de fotografías, se presenta la estatua ecuestre de Morelos con una superficie tersa de la piel del equino y un acabado normal de la textura de la ropa del Siervo de la Nación.

Obsérvese en esa misma imagen la nueva superficie: mientras la anterior era lisa y tersa, en ésta aparece un cincelado en toda la superficie de la pieza, tanto en la piel del animal, como en la tela del general, siguiendo un patrón que no era el original de la obra cuando se hizo. Se eliminó por completo la pátina y se le dejó como nueva, con un aspecto brillante; se le quitó toda la protección natural que el bronce había generado con el paso del tiempo.

Hasta donde se tiene información, no se hicieron estudios de integridad estructural de la pieza y estabilidad de la pátina. Sólo en casos muy particulares se debe de remover mecánicamente la pátina desarrollada durante el paso del tiempo (más de 20 años en esta estatua); sobre todo, el mayor cambio fue la alteración de la superficie con el cincelado que se le dio.

Un principio básico de conservación y de restauración es la de una intervención mínima; si esto no se realiza, esta operación se convierte en mantenimiento común. Lo realizado en esta estatua ecuestre contraviene ese principio. Hoy en día, la *Estatua ecuestre de don José María Morelos y Pavón* luce un acabado latonado brillante con un velo blanquecino; esto nos indica que la pieza metálica ha comenzado el proceso de autoprotección, en donde la gran cantidad de insolación está promoviendo la formación de productos de pasivación; sin embargo, por la localización de la escultura, es probable que pronto existan puntos de corrosión.



**IMAGEN 7.** Se observa la localización de la *Estatua ecuestre de don José María Morelos y Pavón*, y las demás imágenes indican cómo estaba la pieza antes de las operaciones de restauración.

En la imagen 8, se puede observar el detalle del probable tipo de amartillado que se dio posteriormente a un decapado mecánico, ya que el brillo que presenta sólo se puede lograr en el metal cuando se realiza un tipo de pulido mecánico.



**IMAGEN 8.** Conjunto de fotografías que muestran el nuevo acabado superficial.

Como se puede observar, la pieza luce un acabado aparentemente atractivo, tal vez para compatibilizar con el abrillantado que se le dio a la marquesina del Teatro Morelos, dejando el color cobre brillante. Sólo se procedió a abrillantar.

Continuando esta segunda instancia, expondremos como ejemplo algunas reparaciones realizadas en la estatua del general *José Vicente Villada*, localizada en el cruce donde se une la avenida Villada y Paseo Colón en el primer cuadro de la ciudad de Toluca, Estado de México.

La imagen 9 muestra las obras de reparación de la estatua del general *José Vicente Villada*, realizadas por personal del H. Ayuntamiento de Toluca. Se puede observar que los trabajadores están violando la normativa del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo y la norma correspondiente a trabajos en altura, lo mismo sucede con el personal que está haciendo jardinería al basamento y limpiando las cadenas exponiéndose sin precaución al tránsito vehicular de la zona.



**IMAGEN 9.** *José Vicente Villada*. Se observa la manera tan informal de los trabajos de mantenimiento que se realizaron por parte del municipio de Toluca, Estado de México.

Las buenas prácticas de conservación y restauración sugieren que debe de cumplirse con la normativa laboral, para salvaguardar la integridad de los trabajadores. Cabe señalar que dichos empleados corresponden al área de mantenimiento de parques y jardines del propio ayuntamiento.

Ahora señalaremos lo realizado al centro escultórico *Madre Teresa de Calcuta*, localizado en avenida Villada en el atrio de la iglesia de Santa María de Guadalupe, en el Centro Histórico de la ciudad de Toluca. Tal parece que la estatua de la *Madre Teresa de Calcuta* está señalando lo que no le gusta. Si observamos la mano derecha parece indicar la herrería que circunda al basamento; en particular, la flor de lis, que está pintada en dorado, pero es el único elemento que se le dio tratamiento de renovación. El centro escultórico está formado por dos estatuas, además de su basamento con la reja perimetral que le da algo de protección a la pieza, y como tal debe de darse la operación de conservación y restauración. Ésta no se dio de manera integral y sólo se trató de renovar una sola parte de la herrería.



**IMAGEN 10.** *Madre Teresa de Calcuta*. Toluca, Estado de México. Se ubica en el atrio de la iglesia de Santa María de Guadalupe. Centro Histórico de Toluca.

Estas actividades denominadas malas prácticas de restauración, por lo común, pasan desapercibidas; sin embargo, hemos considerado mencionar algunos ejemplos para tomar conciencia de que el patrimonio cultural debe de ser tratado, conservado y restaurado dentro de lo que se consideran las buenas prácticas de restauración, en donde se respeta la integridad física de la escultura.

## CAPÍTULO 8

# EVIDENCIAS DE CORROSIÓN Y PÁTINA EN LAS ESCULTURAS DE BRONCE

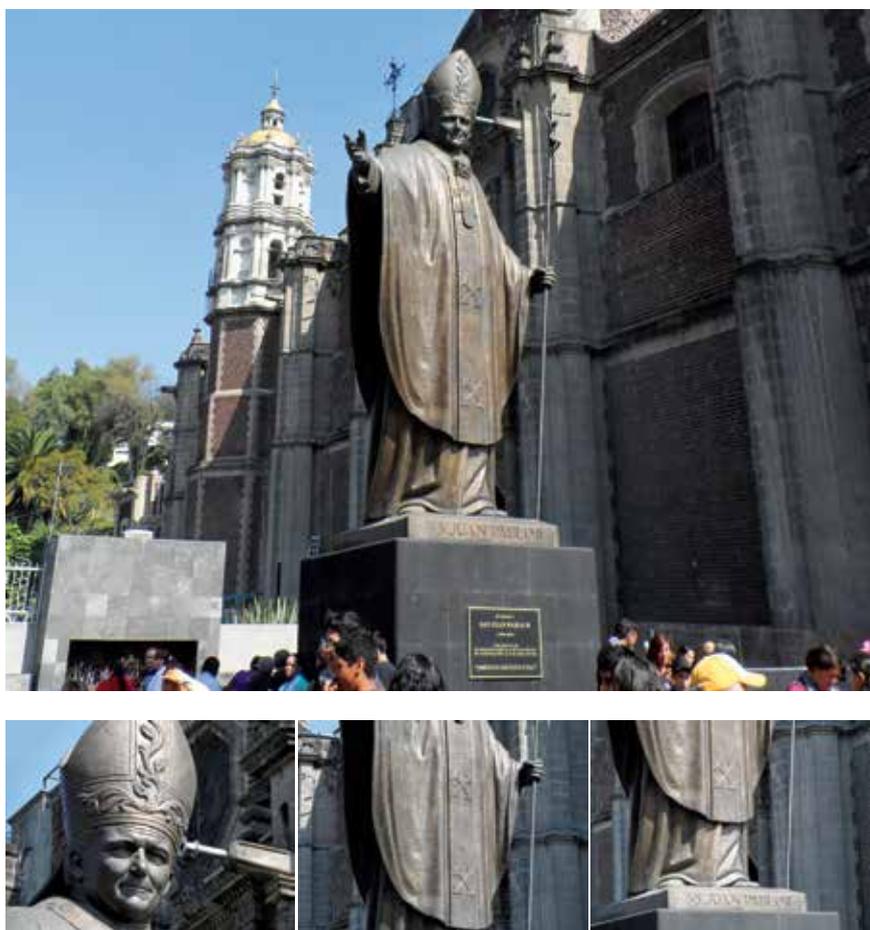
**E**n este capítulo, mostramos evidencias de lo que es la corrosión y la pátina. Fotografiamos distintas esculturas para ejemplificar estos daños.



**IMAGEN 1.** *Leona Vicario.* Plaza González Arratia. Centro Histórico de Toluca.

Esta fotografía, con sobreexposición de color, sirve para revelar los puntos de pátina natural, en color marrón y azul violáceo; y las áreas, que se encuentran con corrosión superficial, tienen color azul turquesa, causada por agentes de intemperismo. Observando con detalle la imagen del lado izquierdo, entre el pómulo y la oreja, se observa algo similar a una forma dendrítica, que corresponde a una estructura de solidificación cuando se fundió inicialmente la aleación para realizar la estatua.

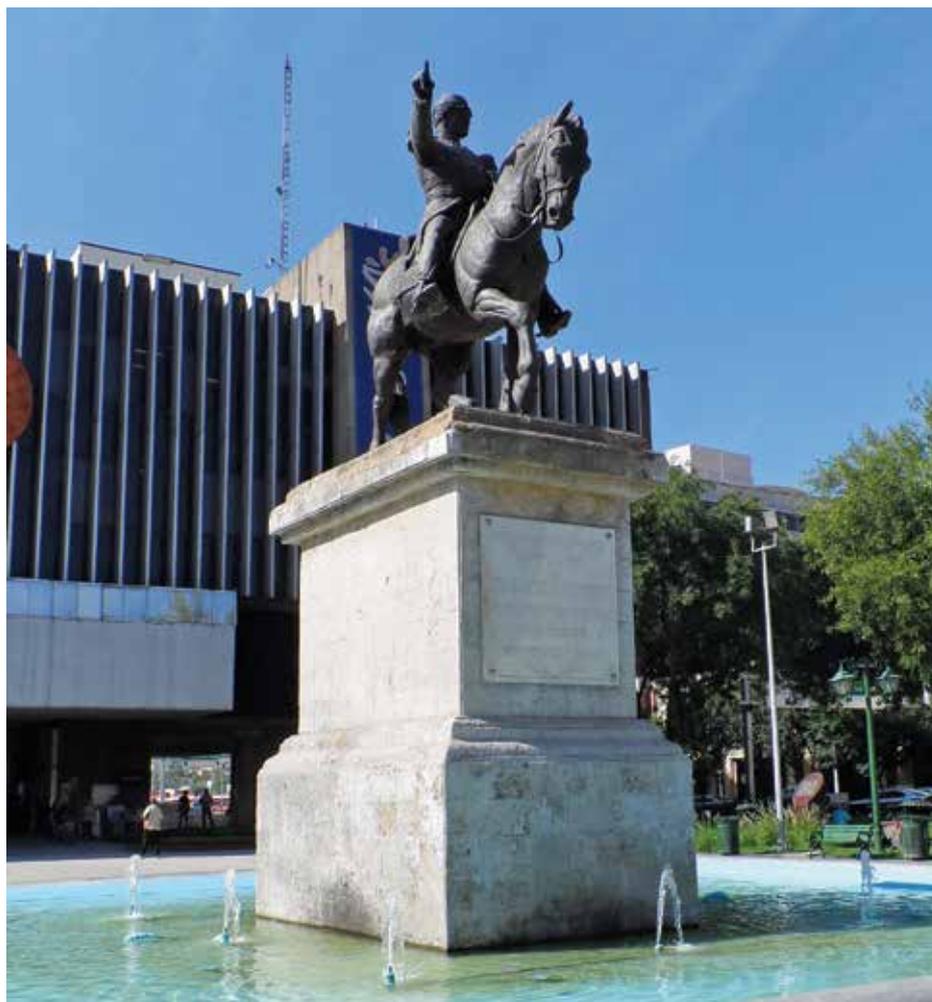
Este tipo de fotografías es una excelente ayuda para comenzar a detectar las áreas con las que se debe tener mayor cuidado al momento de que se realice las operaciones de restauración.



**IMAGEN 2.** *San Juan Pablo II.* Basílica de Guadalupe, teniendo como marco el templo antiguo de la Basílica de Guadalupe, en la delegación Gustavo A. Madero en la Ciudad de México. Es un bronce color marrón que se está patinando y oscureciendo, es un lugar de mucha insolación. No presenta aún puntos coloridos que indiquen corrosión.



**IMAGEN 3.** *Fray Rafael José Verger y Suau.* Estatua dedicada a este benemérito obispo de Nuevo León. Se encuentra en una elevación cercana al obispado en la ciudad de Monterrey, Nuevo León. Sobresalen los detalles casi de filigrana de la estatua, tiene bastante insolación y su estado de conservación es bueno.



**IMAGEN 4.** Estatua ecuestre al general Ignacio Zaragoza, héroe de la batalla del 5 de mayo en Puebla. Se encuentra en buen estado de conservación, en un lugar de máxima insolación, totalmente en exteriores. Obsérvese el detalle de las patas del caballo indicando que el general murió por aspectos diferentes en la batalla.



**IMAGEN 5.** Estatua ecuestre del general José María Morelos y Pavón, localizada enfrente del antiguo Palacio de Gobierno del estado de Nuevo León, en lo que ahora se conoce como la Macroplaza. La estatua es marrón oscuro, ha ido adquiriendo la pátina de manera natural, tiene una alta insolación. Obsérvese las patas hacia arriba, esto indica que el general Morelos murió por efectos de la guerra.



a



b



c



d

**IMAGEN 6.** a) *Walt Disney* (Orlando Florida, EE. UU.); b) *Ignacio Zaragoza* (Toluca, Estado de México), c) *Jorge Jiménez Cantú* (Toluca, Estado de México) y d) *Agustín Millán* (Toluca, Estado de México). Se muestran los bustos de diversos personajes y épocas, así como estilos escultóricos y estados de conservación.



**IMAGEN 7.** Monumento a Benito Juárez (Toluca, Estado de México); Plaza IV Centenario (Durango de Victoria). Se muestran, en este par de imágenes, dos monumentos escultóricos de dos regiones diferentes del país. Ambas estatuas están pintadas con algún barniz de color negro.



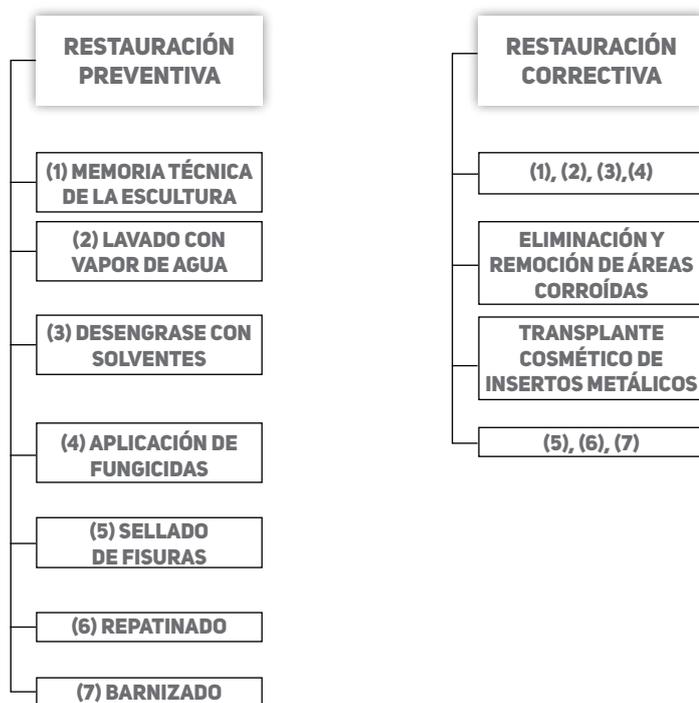


## CAPÍTULO 9

# PRINCIPIOS BÁSICOS DE RESTAURACIÓN

La restauración de una escultura es una actividad que requiere sensibilidad artística, además del conocimiento en Metalurgia y en Química para obtener resultados plausibles en términos de apreciación estética y respeto a la obra original, se deben cumplir las buenas prácticas de restauración y observancia de normas y procedimientos internacionales.

Todas las operaciones de las actividades de restauración tienen una justificación química, además de seguir un orden en la realización de dichas operaciones.



**IMAGEN 1.** Secuencia de operaciones de restauración.

Esta secuencia es el resultado de la observación de las operaciones de restauración acertadas y fallidas, efectuadas en diferentes esculturas, además de la lectura de artículos de divulgación especializados tanto en grupos de las redes sociales, como en sitios específicos de restauración del patrimonio cultural.



**IMAGEN. 2** Actividades que debe realizar el restaurador.

Existen otras series de actividades que debe efectuar el restaurador; si bien no representan una intervención directa en la escultura, son necesarias para que ésta sea exitosa; dichas actividades ayudan a prevenir y, sobre todo, anticipan tareas que pueden ser causa de contratiempos y gastos innecesarios.

Para concluir, debemos subrayar que la integridad física del restaurador y de la escultura no deben de perderse de vista, por lo que todo tipo de riesgos debe reconocerse y controlarse.

El trabajo de restauración debe ser profesional; las improvisaciones, además de ser costosas, ponen en riesgo las esculturas.



## CONCLUSIÓN

**E**l patrimonio cultural artístico debe protegerse y perpetuarse para que futuras generaciones lo disfruten y lo admiren. Estas obras de arte dan idea del grado de culturización y gusto por las bellas artes de nuestros antepasados y nuestra sociedad.

Conocer los mecanismos de reacción química de oxidación de las estatuas y esculturas de bronce expuestas a los agentes de deterioro, ya sea como corrosión o pátina, nos permite tener elementos de juicio para determinar los mejores procedimientos posibles de conservación y restauración, manteniendo el precepto general de la mínima intervención.

Como sociedad del siglo XXI, debemos estar dispuestos a preservar y a exigir a las autoridades que realicen mantenimientos y cumplir su compromiso de atender a la comunidad de manera integral, incluyendo la preservación del patrimonio cultural, con los protocolos y procedimientos que permitan la buena conservación de estos monumentos y obras de arte. Las acciones de conservación y restauración deben ser realizadas por gente capacitada y con la supervisión de autoridades responsables de ello, es decir, la Secretaría de Cultura (INAH e INBA), con el equipo de trabajo apropiado y con la seguridad para el personal que realiza el trabajo de mantenimiento. Limpiar sólo el polvo de la superficie con trapo húmedo elimina el polvo pero no las adherencias carbonáceas ni tampoco hongos y líquenes, lo cual a la larga promueve el inicio de la corrosión.

Si bien la mayor parte de este texto se basa en monumentos de la ciudad de Toluca, también se puede generalizar a cualquier ciudad del país y del mundo; donde se requiere hacer conciencia sobre los adecuados procesos de preservación y restauración para no repetir errores de manejo como el que se presentó en la estatua de José María Morelos y Pavón.

Nuestro trabajo se basa en una aplicación de Química en el arte y en la restauración; en particular, nos enfocamos en los agentes de deterioro

debidos a la oxidación del bronce, creemos necesario mencionar que ha sido difícil detectar la información *in situ* tanto del escultor como la técnica de fabricación empleada.

La pátina en las estatuas de color oscuro le da profundidad y textura a las piezas; nos comunica al respecto de la historicidad de la pieza, nos atestigua el paso del tiempo y con ello, nos certifica su autenticidad. La corrosión produce interesantes combinaciones de sales de color, cuyo arcoíris de colores nos indica la peligrosidad del ambiente que rodea la pieza y la velocidad a la que se está destruyendo.

En realidad, y como comentario final a estas conclusiones, debemos decir que no existe un criterio único sobre la apariencia de las estatuas, esculturas y centros escultóricos en el sentido de mantener la pátina original o acabados sintéticos que dan la apariencia de bronce; en lo que sí creemos es en que se deben unificar los criterios de protección contra la corrosión, ya que este proceso de deterioro es irreversible y puede propiciar la pérdida definitiva de las piezas.



## GLOSARIO<sup>1</sup>

**ALEACIONES:** sustancias con propiedades metálicas, compuestas por dos o más elementos químicos, de los cuales por lo menos uno es un metal elemental.

**ALEACIÓN** (*alloy*): mezcla de uno o más metales fundidos que forman un cuerpo aparentemente homogéneo. Las aleaciones se clasifican en aleaciones férricas y no férricas, donde las de cobre corresponden a las del segundo tipo. Las aleaciones tienen propiedades particulares de resistencia mecánica y resistencia ante la corrosión, en contacto con el aire y el agua.

**BRILLO:** grado en el que un revestimiento puede reflejar una imagen.

**BRONCES** (*bronze*): aleaciones de cobre y estaño u otro elemento que no supere 12% del total.

**CERA:** es una sustancia cuyo uso milenario ha sido aprovechado en el modelado de efigies y en el proceso de vaciado de metales, siendo el más conocido el denominado “a cera perdida”. La cera de abeja ha ido cediendo su lugar a las micro cristalinas, subproducto de la industria del petróleo.

**CERA PERDIDA:** procedimiento para realizar esculturas en metal fundido. Se modela la figura en cera y se cubre con material refractario (arcilla) ajustándola al molde en cera, una vez seco se hace un agujero en la parte superior e inferior, se vierte la colada de metal y una vez frío se rompe el molde.

**COLADA O VACIADO:** vaciar metal fundido en un molde para producir un objeto según una forma deseada.

**COLADA** (*casting*): es la etapa central en la fabricación de piezas de aleaciones metálicas. Consiste en verter el material fundido a la caja de moldeo, donde se encuentra el molde de la pieza que se está fabricando.

---

<sup>1</sup> Para estas definiciones, nos hemos basado en diferentes textos: *Diccionario minero y Glosario de escultura* (ambos se encuentran en línea).

**CORROSIÓN INTERGRANULAR:** corrosión que ocurre de preferencia en las fronteras de los granos.

**CRECIMIENTO DE CRISTALES** (*crystal growth*): relacionado al desarrollo de la estructura cristalina propia de cada mineral, condicionada a presiones y temperatura.

**CRISTALES** (*crystals*): se producen cuando un líquido forma lentamente un sólido; esta formación puede resultar de la congelación de un líquido, el depósito de materia disuelta o la condensación directa de un gas en un sólido.

**DENSIDAD** (*density*): magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

**DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO** (*density or specific weight*): se entiende por peso específico el peso de la muestra sobre el peso del agua a 4 Celsius, cuando de ambas sustancias se contrastan volúmenes iguales. Dicho valor depende de dos parámetros: la clase de átomos y la estructura cristalina.

**DECAPADO:** proceso de limpieza de la capa superficial de corrosión

**DENDRITAS:** cristal que tiene una configuración de tipo arborescente, más evidente en metales fundidos y lentamente enfriados a través del intervalo de solidificación.

**ESTRUCTURA DENDRÍTICA:** estructura de un vaciado cuyos granos se solidificaron mediante la formación de dendritas.

**EUTÉCTICO:** aleación que contiene la composición indicada por el punto eutéctico en un diagrama de equilibrio.

**FAMILIAS DE ALEACIONES DE COBRE** (*copper alloys families*): las aleaciones de cobre se dividen en familias: Latones: aleaciones de cobre y zinc. Bronces: aleaciones de cobre con estaño u otro elemento que no supere el 12%. Por ejemplo, bronce fosforoso, bronce al silicio, bronce al aluminio, bronce al berilio.

**CUPRONÍQUELES:** Aleaciones de cobre y níquel que contienen hasta un 30% de níquel.

**FRAGILIDAD:** calidad de un material que da lugar a la propagación de fisuras sin deformación plástica apreciable.

**GRANO COLUMNAR:** microestructura mecánica en la que los granos de metal tienen forma prismática, con caras de igual dimensión que las bases del prisma.

**GRANO EQUIAXIAL:** microestructura mecánica en la que los granos de metal tienen aproximadamente las mismas dimensiones desde el eje hacia todos los bordes.

**GRANO POLIGONAL:** microestructura mecánica en la que los granos de metal están conformados por sólidos geométricos de muchas caras.

**LATÓN:** una aleación del cobre y del zinc. Cuanto más alto es el contenido de cobre, más costoso el latón será. El latón con un contenido de cobre más alto tenderá para ser más rojo en color que latón con un contenido de cobre más bajo.

**LATÓN (brass):** aleación de cobre y zinc, de color amarillo pálido y susceptible de gran brillo y pulimento. Su composición puede variar mucho, pero generalmente se trata de 66 a 73 % de cobre y 34 a 27 % de zinc. Las aleaciones que contienen más de 45 % de zinc no tienen relevancia industrial, porque son muy frágiles.

**LÍMITE DE GRANO:** superficie que separa los granos adyacentes de un metal policristalino.

**METAL (metal):** tiene un lustre específico y es buen conductor del calor y de la electricidad, se puede golpear y moldear en varias formas.

**METALURGIA:** ciencia y tecnología de los metales. La Metalurgia como proceso químico tiene por objeto la extracción de metales de los minerales y la refinación de los metales; mientras que la Metalurgia Física se ocupa de las propiedades físicas y mecánicas de los metales: cómo son afectados por la composición, el trabajo mecánico y el tratamiento térmico.

**MEZCLA (mix):** dos o más compuestos que están unidos físicamente, pero que no químicamente, por eso los componentes de la mezcla pueden ser separados mediante métodos físicos.

**MEZCLA HETEROGÉNEA (heterogeneous mix):** mezcla en la que se distinguen sus componentes a simple vista.

**MEZCLA HOMOGÉNEA (homogeneous mix):** en este tipo de mezclas los componentes no pueden distinguirse a simple vista, es decir, se observa una sola fase física.

**MOLDE:** pieza de fundición elaborada a partir de arena silíceo, de arcillas refractarias o de metal que se emplea para recibir al metal fundido, esperando su solidificación y adquiriendo forma definida.

**MODELADO:** creación de una forma tridimensional en un material maleable.

**MODELO:** ejemplar o muestra que se copia o imita al ejecutar una obra. En escultura, es aquella figura realizada en pequeño formato en barro, yeso o cera para su posterior reproducción escultórica en otro formato y material (mármol o metal), que permite tener una idea del resultado final.

**MOLDE:** objeto que reproduce en negativo la forma que quiere darse a la figura que se trata de reproducir. El molde presenta una cavidad en la que se introduce el material en el que haya de hacerse la reproducción, el cual, al solidificarse, adopta la forma de dicha cavidad. El molde consta de varias piezas móviles que encajan unas con otras, permite obtener cuantos vaciados se deseen, mientras que el molde perdido da un solo ejemplar del objeto vaciado y para obtenerlo

hay que romperlo. Cuando se trata de moldear metal fundido, se recurre a moldes hechos a base de materias refractarias.

**OXIDARSE** (*oxidize*): una sustancia se oxida cuando en una reacción química entrega electrones a otra sustancia.

**PRODUCTOS DE CORROSIÓN**: los minerales que se forman cuando los metales se corroen como consecuencia de una reacción por el ambiente; los agentes corrosivos comunes son el oxígeno, azufre, cloro y agua.

**PUNTO DE FUSIÓN** (*fusion point*): es la temperatura a la cual una sustancia pasa de estado sólido a estado líquido. El punto de fusión es una propiedad específica de cada sustancia. El punto de fusión del cobre es 1 083°C.

**RECHUPE**: hueco o depresión de un vaciado producido por la contracción del metal líquido mientras se enfría y solidifica en el molde.



# ÍNDICE DE IMÁGENES

## 1. CONCEPTOS BÁSICOS

**Imagen 1.** Localización de las esculturas de bronce en la clasificación de patrimonio cultural. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 18.**

**Imagen 2.** *José Vicente Villada*. Monumento escultórico e histórico, con basamento emplazado, plataforma jardineada y pedestal; cadenas protectoras, todo ello en armonía. La estatua es de bronce al estaño plomo, presenta superficialmente un color marrón. Se ubica al inicio de Paseo Colón y se orienta hacia el norte con su placa de identificación del personaje de referencia. El general José Vicente Villada fue el último gobernador porfiriano, se distinguió por promover los ambientes laborales sanos para los trabajadores y fue un buen gobernante. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 22.**

**Imagen 3.** *Ignacio Manuel Altamirano*, estatua hecha en bronce con acabado patinado. Se puede observar el nombre del autor en la base, Olaguíbel, además en los accesorios se nota el reflector que ilumina de forma ascendente. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 23.**

**Imagen 4.** Operaciones que se efectúan en la Química en el arte y la restauración. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 24.**

## 2. METALURGIA DE LA FUNDICIÓN DE BRONCES Y LATONES

**Imagen 1.** Árbol de las aleaciones del cobre. Este diagrama presenta las aleaciones principales para la manufactura de piezas fundidas y vaciadas en

un molde, además de otro tipo de piezas de aplicación industrial. Fuente: <http://www.copperalliance.es/el-cobre/aleaciones>. **Página: 32.**

**Imagen 2.** Diagrama de fases Sn/Cu. Del lado izquierdo del diagrama desde los 1 000 °C hasta los 200 °C y en un porcentaje hasta 15 % de estaño se encuentran los bronce alfa. Fuente: Charles S. Barret (1957). *Estructura de los metales. Métodos cristalográficos. Fundamentos y datos*, p. 162. **Página: 34.**

**Imagen 3.** Diagrama de fases Zn/Cu. En este diagrama el campo de los latones alfa alcanza a llegar hasta 35% de contenido de zinc. Éste, en estatuas, se enmarca en rojo. Fuente: Charles S. Barret (1957). *Estructura de los metales. Métodos cristalográficos. Fundamentos y datos*, p. 164. **Página: 35.**

**Imagen 4.** Diagrama de fases Pb/Cu. Sólo se presenta una fase a diferencia de bronce y latones. Fuente: Charles S. Barret (1957). *Estructura de los metales. Métodos cristalográficos. Fundamentos y datos*, p. 168. **Página: 35.**

**Imagen 5.** Tonalidades del bronce. Esta escala se presenta sólo como referencia ilustrativa de comparación. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 38.**

### 3. FABRICACIÓN DE ESCULTURAS

**Imagen 1.** *Estatua ecuestre de Carlos IV o El Caballito*, antes de someterse a la restauración en la Plaza Manuel Tolsá. Fuente: <http://www.revistaimagenes.esteticas.unam.mx/> **Página: 41.**

**Imagen 2.** Flujograma de operaciones de fundición de piezas. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 42.**

**Imagen 3.** Horno de crisol extraíble, calentado a gas. Se indican los metales de carga y las aleaciones producidas. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 43.**

**Imagen 4.** Lingotes de bronce que se agregarán al crisol del horno. Fuente: cortesía de ET Pybus Sculpture. Wenatchee, estado de Washington, EE.UU. **Página: 44.**

**Imagen 5.** Horno de crisol basculante, donde se observa el color rojo amarillo en la periferia del crisol de grafito correspondiente a la flama, el color rojo naranja correspondiente al crisol y el color rojo típico de las aleaciones de cobre. Fuente: cortesía de A. P. Art Gallery in Israel-Lost Wax Bronze Casting of Sculptures. **Página: 44.**

**Imagen 6.** Vaciando la aleación fundida desde el horno de crisol a la cuchara de vaciado. Obsérvese el maneral de los vaciadores: un lado es

- para dirigir y el otro sirve de apoyo para la carga. Fuente: cortesía de A. P. Art Gallery in Israel-Lost Wax Bronze Casting of Sculptures. **Página: 45.**
- Imagen 7.** Fundidores sacando el crisol del horno. En esta fotografía, el horno de crisol está enterrado para facilitar sacar el crisol con la aleación fundida. Fuente: cortesía de Arte en Bronce. Fundición de Campanas de Bronce en Tlaxcala. **Página: 45.**
- Imagen 8.** Vaciado de metal en un molde de arena. Se ha indicado lo correspondiente al sistema de llenado de metal y evolución de gases. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 46.**
- Imagen 9.** Partes que intervienen en una pieza que va a vaciarse en un molde. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 47.**
- Imagen 10.** Colocación de accesorios de alimentación y venteo de una pieza sólida. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 48.**
- Imagen 11.** Clasificación de las esculturas por su solidez y por el número de partes. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 48.**
- Imagen 12.** Vaciando con cuchara para piezas pequeñas. Fuente: cortesía de Arte en Bronce. Fundición de Campanas de Bronce en Tlaxcala. **Página: 49.**
- Imagen 13.** Esquema del molde. Fuente: José Luis Cabrelles Martínez (1990). Página oficial del Campaners de la catedral de València. Disponible en <http://campaners.com/php/textos.php?text=1318>). **Página: 50.**
- Imagen 14.** Campana fundida artesanalmente. Fuente: cortesía arte en bronce. Fundición de campanas de bronce en Tlaxcala. **Página: 50.**
- Imagen 15.** Clasificación propuesta del moldeo de precisión. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 51.**
- Imagen 16.** Arcillas empleadas en moldeo de precisión. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 51.**
- Imagen 17.** Ceras empleadas en moldeo de precisión. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 52.**
- Imagen 18.** El escultor Tuck Langland trabaja la arcilla para crear la escultura *Kenyan dancer*. Fuente: <http://www.gobronze.org/artists/langland/langland.html>. **Página: 52.**
- Imagen 19.** Secuencia de elaboración del molde maestro. Se considera que lo que se tiene al unir las mitades de molde es una cavidad que tiene todos los detalles de la pieza, pero en negativo. Escultor Tuck Langland. Fuente: <http://www.gobronze.org/artists/langland/langland.html>. **Página: 53.**
- Imagen 20.** Una trabajadora vacía la cera en el molde maestro para obtener una réplica en cera. Fuente: <http://www.gobronze.org/artists/langland/langland.html>. **Página: 53.**

- Imagen 21.** Réplica en cera donde se observan los sistemas de alimentación. Toda esta pieza se va a recubrir con refractario y se dejará endurecer, luego se secará. Fuente: <http://www.gobronze.org/artists/langland/langland.html>. **Página: 54.**
- Imagen 22.** El metal fundido se vacía en el molde, el cual posteriormente se rompe para obtener la pieza. Escultor Tuck Langland. Schaefer Foundry in Arlington, TX. Fuente: <http://www.gobronze.org/artists/langland/langland.html>. **Página: 54.**
- Imagen 23.** *La Sagrada Familia*. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 55.**
- Imagen 24.** Moldeo tipo cáscara. Fuente: *From Clay to Bronze: A Studio Guide to Figurative Sculpture*, Tuck Langland. Fuente: <http://www.gobronze.org/from.html>. **Página: 56.**
- Imagen 25.** Escultura hueca de bronce. La pieza está patinada artificialmente. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 56.**
- Imagen 26.** El escultor Lance Dooley moldea la estatua en arcilla a partir de un dibujo en escala 1:1. Fuente: The ET Pybus Sculpture. **Página: 57.**
- Imagen 27.** Éstas son las piezas que se van a ensamblar. Fuente: The ET Pybus Sculpture. Wenatchee, estado de Washington, EE UU. **Página: 58.**
- Imagen 28.** Aquí se presenta el sistema hidráulico de alimentación para asegurar que toda la sección de la pieza se llene apropiadamente. Fuente: The ET Pybus Sculpture. Wenatchee, estado de Washington, EE UU. **Página: 58.**
- Imagen 29.** Se ensambla la estatua para observar que no falte alguna pieza. Fuente: The ET Pybus Sculpture. Wenatchee, estado de Washington, EE UU. **Página: 59.**
- Imagen 30.** Molde de uno de los brazos. También se pesa la pieza. Fuente: The ET Pybus Sculpture. Wenatchee, estado de Washington, EE UU. **Página: 59.**
- Imagen 31.** *Man of steel*. La estatua tiene una altura aproximada de 2.50 m y ya con todo y pedestal 3.00 m. Escultura hecha en bronce. Fuente: The ET Pybus Sculpture. Wenatchee, estado de Washington, EE UU. **Página: 60.**
- Imagen 32.** *Cuauhtémoc*. Parque Jardín Alameda, Centro Histórico de la ciudad de Toluca. Detalles de la estatua de *Cuauhtémoc*, donde se observan las placas que forman la pieza y corrosión selectiva en las uniones soldadas. El monumento es obra del artista Ernesto Tamariz en 1968. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 61.**

#### 4. HISTORIA NATURAL DE LA PATOLOGÍA

**Imagen 1.** Diagrama de causalidad de la historia natural de la patología y sus diferentes manifestaciones. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 63.**

**Imagen 2.** Agentes de deterioro de una escultura de bronce. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 65.**

**Imagen 3.** *Bernardo de Gálvez*. Cuarto real gobernador español de Louisiana, 1771-1782. Esta escultura se localiza en la ribera del río Mississippi en Nueva Orleans. EE. UU. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 69.**

**Imagen 4.** Vista lateral. *Bernardo de Gálvez*. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 70.**

**Imagen 5.** Detalle. *Bernardo de Gálvez*. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 70.**

**Imagen 6.** *Robert E. Lee*. Este general perteneció al Ejército Confederado. La estatua ecuestre pertenece al Jardín del City Hall en Nueva Orleans, Louisiana, EE. UU. Ribera del río Mississippi. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 71.**

**Imagen 7.** Estatuas decorativas que ilustran personajes de la comunidad, se encuentran en el French Market, en la ribera del río Mississippi en Nueva Orleans, Louisiana, EE.UU. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 72.**

**Imagen 8.** Escultura de *Kevin Costner*. Paseo de las Estrellas en la ciudad de Victoria de Durango, Durango. México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 72.**

**Imagen 9.** Escultura de *Dolores del Río*. Paseo de las Estrellas en la ciudad de Victoria de Durango, Durango. México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Páginas: 73.**

**Imagen 10.** *Leona Vicario*. Esta estatua se localiza en la parte norte de la Plaza González Arratia, Centro Histórico de la ciudad de Toluca, Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Páginas: 73.**

**Imagen 11.** Detalle de la escultura *Leona Vicario*. Se localiza en la parte norte de la Plaza González Arratia, Centro Histórico de la ciudad de Toluca, Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Páginas: 74.**

**Imagen 12.** *Monumento a la Autonomía*, se encuentra en la Plaza de la Autonomía en la fachada oriente del Edificio Central de Rectoría de la Universidad Autónoma del Estado de México, en Toluca. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Páginas: 74.**

**Imagen 13.** Detalles del *Monumento a la Autonomía*. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Páginas: 75.**

**Imagen 14.** *Simón Bolívar*, localizado en el jardín del mismo nombre sobre la avenida Rayón, en la ciudad de Toluca, Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 76.**

**Imagen 15.** *Monumento del Centenario de la Independencia o Fuente del Águila*, en Paseo Colón y avenida Venustiano Carranza, en Toluca, Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 77.**

**Imagen 16.** *Fuente de Neptuno o de la Vida*, localizada en la Macroplaza de Monterrey, Nuevo León. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 78.**

**Imagen 17.** Otros elementos del centro escultórico, donde se observan diferentes tipos de corrosión en las patas de los caballos: el verde esmeralda, el color marrón y el velo blanquecino. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 79.**

## 5. PROCESOS DE OXIDACIÓN EN LAS ESCULTURAS DE BRONCE

**Imagen 1.** Diagrama de Pourbaix y las diferentes zonas. Fuente: <http://www.drdiagram.com/pourbaix-diagram-copper/>. **Página: 82.**

**Imagen 2.** El diagrama de Pourbaix señala las zonas estables de las diferentes oxisales de cobre. Fuente: <http://www.drdiagram.com/pourbaix-diagram-copper/>. **Página: 84.**

**Imagen 3.** Serie electroquímica de los metales. Fuente: <http://www.drdiagram.com/pourbaix-diagram-copper/>. **Página: 86.**

**Imagen 4.** En los cuadros superior e inferior, se muestra la pieza original; además los productos de corrosión. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 88.**

**Imagen 5.** Mecanismo de empuje de cristales de oxisales para formar eflorescencias. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 88.**

**Imagen 6.** Las reacciones durante el inicio de la descincificación. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 89.**

**Imagen 7.** Esta escultura, localizada en la Macroplaza de Monterrey, Nuevo León, presenta un velo blanquecino de óxido de zinc. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 92.**

**Imagen 8.** En las imágenes, se pueden observar diferentes productos de oxidación: los de color verde azulado en el pie, los blanquecinos sobre la soldadura y manchas oscuras de pátina. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 93.**

**Imagen 9.** En esta otra sección de la escultura, se observan puntos de corrosión, caracterizados por su forma circular, tanto verdosa como oscura y otros puntos de corrosión debido a defectos de manufactura de la pieza.

Se observan, además, manchas negruzcas en el pantalón y verdosas en el empeine del pie. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 93.**

**Imagen 10.** Comparación entre las eflorescencias que presenta la corrosión, azul verdosas pulverulentas y la cuprita color marrón. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 94.**

**Imagen 11.** Depósitos o eflorescencias inestables o destructivas. Comparación aproximada de colores. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 96.**

**Imagen 12.** *Monumento a Benito Juárez.* Plaza Juárez. Fachada sur del Edificio de Rectoría de la Universidad Autónoma del Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 97.**

**Imagen 13.** Comparación de películas de pátina. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 98.**

**Imagen 14.** Clasificación de la pátina. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 99.**

**Imagen 15.** Brazaletes pigmentado a la flama. Fuente: Flame painting on copper, jewelry, wall decor and decorative objects, Canadá. **Página: 99.**

**Imagen 16.** *A los obreros de Nuevo León.* Macroplaza en Monterrey, Nuevo León. Patinado artificial y barniz negro. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 100.**

**Imagen 17.** Brazaletes de cobre que se ha ido patinando naturalmente. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 101.**

**Imagen 18.** Capa de óxidos superficiales. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 102.**

**Imagen 19.** *Miguel Hidalgo y Costilla.* Se puede observar manchas verdosas y otras manchas blanquecinas. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 103.**

**Imagen 20.** *José Vicente Villada* en la ciudad de Toluca. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 104.**

**Imagen 21.** Detalle del monumento del general José Vicente Villada. Obsérvese el color marrón de óxidos de cobre en la mano derecha. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 105.**

**Imagen 22.** *Monumento a la Autonomía Universitaria*, localizado en el Jardín de la Autonomía en la fachada oriente del edificio de la Rectoría, UAEM. Muestra de la pérdida de la pátina artificial dejando al descubierto al metal base. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 105.**

**Imagen 23.** Comparativo de apariencia superficial de corrosión y pátina. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 106.**

**Imagen 24.** Comparativo entre monedas con diferente fecha de acuñación. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 107.**

## 6. PREVENCIÓN DE LA OXIDACIÓN

**Imagen 1.** Clasificación de procesos de prevención de la oxidación. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 109.**

**Imagen 2.** Clasificación y usos de inhibidores permanentes. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 113.**

**Imagen 3.** Centro escultórico en exteriores. Parque Woldenberg en la ribera del río Mississippi en Nueva Orleans. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 114.**

**Imagen 4.** Escultura surrealista en exteriores. Localizada en un Centro Cultural de la Universidad de Guadalajara, Jalisco. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Páginas: 114.**

**Imagen 5.** Detalles de escultura surrealista. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Páginas: 115.**

**Imagen 6.** *Don Quijote y Sancho Panza*. Plaza España. Centro Histórico de Toluca, Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 115.**

**Imagen 7.** *Mario Colín y Carmen Serdán*. Primer cuadro de la ciudad de Toluca, Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 116.**

**Imagen 8.** Murales tridimensionales. Se encuentran en el interior del Museo Pancho Villa en el Palacio de Zambrano en la ciudad de Victoria, Durango, Centro Histórico. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 117.**

**Imagen 9.** Estatua en exteriores. *Horacio Zuñiga*. Se ubica enfrente de la Biblioteca Central, Cerro de Coatepec, Ciudad Universitaria, UAEM. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 118.**

**Imagen 10.** *Fray Andrés de Castro*. Se encuentra en la Plaza del mismo nombre en el Centro Histórico de Toluca, Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 119.**

**Imagen 11.** *Fray Andrés de Castro* en la Plaza del mismo nombre en el Centro Histórico de la ciudad de Toluca, Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Páginas: 120.**

**Imagen 12.** Detalles de la escultura *Fray Andrés de Castro*. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Páginas: 121.**

## 7. ACTIVIDADES INAPROPIADAS DE RESTAURACIÓN

**Imagen 1.** Antes de la restauración. *El Caballito* en su ubicación actual: Plaza Manuel Tolsá del Centro Histórico de la Ciudad de México. Fuente:

Archivo Fotográfico IIE-UNAM. [revistaimagenes.esteticas.unam.mx/el\\_caballito\\_de\\_la\\_gloria\\_al\\_infortunio](http://revistaimagenes.esteticas.unam.mx/el_caballito_de_la_gloria_al_infortunio). **Página: 124.**

**Imagen 2.** *El Caballito* antes de ser sometido a la restauración en la Plaza Manuel Tolsá. Fuente: Archivo Fotográfico IIE-UNAM. [revistaimagenes.esteticas.unam.mx/el\\_caballito\\_de\\_la\\_gloria\\_al\\_infortunio](http://revistaimagenes.esteticas.unam.mx/el_caballito_de_la_gloria_al_infortunio). **Página: 125.**

**Imagen 3.** *El Caballito* después de la *restauración fallida*. Fotografía: Cecilia Haupt. **Página: 125.**

**Imagen 4.** Las partes constituyentes de la escultura *El Caballito*. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 126.**

**Imagen 5.** Diferentes grados de corrosión creados en la *restauración fallida*. Fotografía: Cecilia Haupt. **Página: 127.**

**Imagen 6.** En esta fotografía, se observa el decapado mecánico sobre la superficie de la escultura. Fotografía: Cecilia Haupt. **Página: 128.**

**Imagen 7.** Se observa la localización de la *Estatua ecuestre de don José María Morelos y Pavón*, y las demás imágenes indican cómo estaba la pieza antes de las operaciones de restauración. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 130.**

**Imagen 8.** Conjunto de fotografías que muestran el nuevo acabado superficial. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 131.**

**Imagen 9.** *José Vicente Villada*. Se observa la manera tan informal de los trabajos de mantenimiento que se realizaron por parte del municipio de Toluca, Estado de México. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 132.**

**Imagen 10.** *Madre Teresa de Calcuta*. Toluca, Estado de México. Se ubica en el atrio de la iglesia de Santa María de Guadalupe. Centro Histórico de Toluca. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 133.**

## 8. EVIDENCIAS DE CORROSIÓN Y PÁTINA EN LAS ESCULTURAS DE BRONCE

**Imagen 1.** *Leona Vicario*. Plaza González Arratia. Centro Histórico de Toluca. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 135.**

**Imagen 2.** *San Juan Pablo II*. Basílica de Guadalupe, teniendo como marco el templo antiguo de la Basílica de Guadalupe, en la delegación Gustavo A. Madero en la Ciudad de México. Es un bronce color marrón que se está patinando y oscureciendo, es un lugar de mucha insolación. No presentan aún puntos coloridos que indiquen corrosión. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 136.**

**Imagen 3.** *Fray Rafael José Verger y Suau*. Estatua dedicada a este benemérito obispo de Nuevo León. Se encuentra en una elevación cercana al Obis-

pado en la ciudad de Monterrey, Nuevo León. Sobresalen los detalles casi de filigrana de la estatua, tiene bastante insolación y su estado de conservación es bueno. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 137.**

**Imagen 4.** *Estatua ecuestre al general Ignacio Zaragoza*, héroe de la batalla del 5 de mayo en Puebla. Se encuentra en buen estado de conservación, en un lugar de máxima insolación, totalmente en exteriores. Obsérvese el detalle de las patas del caballo indicando que el general murió por aspectos diferentes en la batalla. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 138.**

**Imagen 5.** *Estatua ecuestre del general José María Morelos y Pavón*, localizada enfrente del antiguo Palacio de Gobierno del estado de Nuevo León, en lo que ahora se conoce como la Macroplaza. La estatua es marrón oscuro, ha ido adquiriendo la pátina de manera natural, tiene una alta insolación. Obsérvese las patas hacia arriba, esto indica que el general Morelos murió por efectos de la guerra. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 139.**

**Imagen 6.** a) *Walt Disney* (Orlando Florida, EE. UU.); b) *Ignacio Zaragoza* (Toluca, Estado de México), c) *Jorge Jiménez Cantú* (Toluca, Estado de México) y d) *Agustín Millán* (Toluca, Estado de México). Se muestran los bustos de diversos personajes y épocas, así como estilos escultóricos y estados de conservación. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 140.**

**Imagen 7.** *Monumento a Benito Juárez* (Toluca, Estado de México); *Plaza IV Centenario* (Durango de Victoria). Se muestran, en este par de imágenes, dos monumentos escultóricos de dos regiones diferentes del país. Ambas estatuas están pintadas con algún barniz de color negro. Fotografía: Ricardo Victoria León. **Página: 141.**

## 9. PRINCIPIOS BÁSICOS DE RESTAURACIÓN

**Imagen 1.** Secuencia de operaciones de restauración. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 143.**

**Imagen 2.** Actividades que debe realizar el restaurador. Elaboración: Ricardo Victoria León. **Página: 144.**



## FUENTES DE CONSULTA

### BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Metals (1991). *Handbook. Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials*, vol. 2, 10 ed.
- Askeland, Donald R. (2011). *Ciencia e ingeniería de materiales*, trad. Jorge Hernández Lanto, 7ª ed., Ciudad México, Cengage Learning, 921 p.
- Avner, Sidney H. (1988). *Introducción a la metalurgia física*, trad. José Luis Estrada, McGraw-Hill, 695 p.
- Barret, Charles S. (1957). *Estructura de los metales. Métodos cristalográficos. Fundamentos y datos*, trad. española de la segunda edición americana y prólogo por el doctor Francisco Muñoz del Corral, Aguilar, Madrid.
- Real Academia Española (2001). *Diccionario de la lengua española*, 22 ed., Madrid, Espasa (2 t.).

### MESOGRAFÍA

- Comisión Federal de Comercio (2018). “Información para consumidores” Disponible en <https://www.consumidor.ftc.gov/articulos/s0092-comprando-antiguedades>, consultado el 23 de marzo de 2018.
- Corporación Nacional del Cobre (Chile) (2018). “Glosario”. Diponible en [https://www.codelco.com/glosario/prontus\\_codelco/2016-06-22/175933.html](https://www.codelco.com/glosario/prontus_codelco/2016-06-22/175933.html), consultado el 23 de marzo de 2018.
- Instituto Europeo del Cobre (2017). “El árbol de las aleaciones del cobre”. Disponible en <http://www.copperalliance.es/el-cobre/aleaciones>, consultado el 22 de junio de 2017.

- Instituto del Patrimonio Cultural de España (2017). “Carta del restauro de 1972”. Disponible en <http://ipce.mecd.gob.es/dam/jcr:76a04348-7ea7-48ae-89a4-5b52c7f6f330/1972-carta-restauro-roma.pdf>, consultado el 2 de febrero de 2018.
- Levenberg, Lewis (2018). “La diferencia entre los colores bronce y cobre”. Disponible en <https://www.geniolandia.com/13104017/la-diferencia-entre-los-colores-bronce-y-cobre>, consultado el 2 de febrero de 2018.
- Mint, Hoffman (2008). “Glosario”. Disponible en <http://www.hoffman-mint.com/espanol/glossary.html>, consultado el 23 de marzo de 2018.
- Museo Colombiano (2006). “Glosario/Escultura”. Disponible en [http://www.museoscolombianos.gov.co/glosario/Documents/glosario\\_escultura.pdf](http://www.museoscolombianos.gov.co/glosario/Documents/glosario_escultura.pdf), consultado el 23 de marzo de 2018.
- Nielsen, William D. (2017). “Metallurgy of Copper-Base Alloys”. Disponible en [https://www.copper.org/resources/properties/703\\_5/](https://www.copper.org/resources/properties/703_5/), consultado el 20 de julio de 2017.
- Noguez Alcántara, Benito, Martín Valencia Moreno, Jaime Roldán Quintana y Thierry Calmus (2007). “Enriquecimiento supergénico y análisis de balance de masa en el yacimiento de pórfido cuprífero Milpillas, Distrito Cananea, Sonora, México”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24(3), 368-388 pp. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742007000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742007000300007&lng=es&tlng=es), consultado el 23 de marzo de 2018.
- Tipos de... (2017). “Tipos de esculturas”. Disponible en <http://www.tiposde.org/construccion/670-esculturas/>, consultado el 20 de julio de 2017.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (1969). “La conservación de los bienes culturales”. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001355/135545so.pdf>, consultado el 5 de mayo de 2017.
- Vetter Parodi, Luisa María (2007). *Plateros indígenas en el Virreynato del Perú: siglos XVI y XVII*, UNMSM-Fondo Editorial, Lima. Disponible en [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/2011/vetter\\_plateros/glosario.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/2011/vetter_plateros/glosario.pdf), consultado el 23 de marzo de 2018.





---

# ESCULTURAS *de* BRONCE

**CORROSIÓN Y PÁTINA**

de la autoría de Ricardo Victoria León, Carlos Eduardo Barrera Díaz y Bernardo Frontana Uribe se terminó de imprimir el 7 de septiembre de 2018 en los talleres de Editorial CIGOME, s. a. de c. v., vialidad Alfredo del Mazo, núm. 1524, ex Hacienda La Magdalena c. p. 50010, Toluca, Estado de México. Su edición consta de 300 ejemplares. Corrección de estilo: Iván Pérez González. Revisión de prueba: Liliana Rivera Cuevas. La edición estuvo a cargo de Ediciones Nahualito y la Dirección de Difusión y Promoción de la Investigación y los Estudios Avanzados, a través del Departamento de Producción y Difusión Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México.

---

# ESCULTURAS *de* BRONCE

— CORROSIÓN Y PÁTINA —

El libro que el lector tiene en sus manos analiza una temática novedosa y poco atendida. Hay dos aspectos que éste nos ofrece y vale la pena reflexionar en ellos: en primer término, las relaciones entre la ciencia y la vida cotidiana de la ciudad y, en segundo, subraya la necesidad de investigar los tipos de materiales que utilizan los creadores de obras de arte porque ellos también son protagonistas en el desarrollo de la cultura.

La presencia de la Química en los campos de la investigación cultural resulta impulsora de nuevos conocimientos y permite valiosas aportaciones como aquella que se muestra en las páginas del presente libro. Sin duda, el trabajo de los autores de *Esculturas de bronce. Corrosión y pátina* inquietará a quienes lo lean porque es un tema que invita al debate.



ISBN: 978-607-422-970-7



9 786074 229707