



# TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN CONSERVACIÓN Y RESTURACIÓN DE BIENES CULTURALES

Autora: Inés Flores Fernández

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

CURSO 2018/19

**ESTUDIO DE ALTERACIONES EN ESCULTURA  
CONTEMPORÁNEA DE HIERRO EXPUESTA AL EXTERIOR:  
CASO DE TRES ESCULTURAS DEL JARDÍN DE LA CARTUJA DE SEVILLA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

GRADO EN CONSERVACIÓN Y RESTURACIÓN DE BIENES CULTURALES

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

CURSO 2018/19

TUTOR: Fernando Javier Poyatos Jiménez

AUTORA: Inés Flores Fernández

Vº. Bº DEL TUTOR



Fdo. Fernando Javier Poyatos Jiménez

FIRMA DE LA ALUMNA



Fdo. Inés Flores Fernández

## RESUMEN

Este trabajo pretende realizar un estudio de las alteraciones del hierro, a través de tres esculturas contemporáneas que forman parte del programa *12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea*, realizadas para la Exposición Universal de Sevilla de 1992. Se encuentran localizadas en el Jardín de la Cartuja, antiguo Pabellón de las Artes, y están expuestas a las condiciones climáticas externas propias de la ciudad de Sevilla.

A través de un estudio de los niveles de corrosión desarrollados en un estudio experimental, se ha efectuado una evaluación del comportamiento de este metal y de sus alteraciones como consecuencia de su exposición en diferentes medios acuosos. Se han observado probetas en laboratorios e in situ, reproduciendo las mismas condiciones climáticas a las que se encuentran sometidas las obras expuestas al exterior.

Para la observación de la corrosión se ha realizado un estudio de la morfología superficial de muestras tomadas de las esculturas seleccionadas y de las probetas mediante una técnica de microscopía estereoscópica. Con ello se ha pretendido conseguir un registro de las diferentes alteraciones, con el objetivo de efectuar una comparación entre las probetas y las obras de hierro contemporáneas seleccionadas expuestas al exterior.

### Palabras claves

Hierro | Corrosión | Escultura contemporánea | Condiciones climáticas externas | Estudio de alteraciones

## ABSTRACT

This Project aims to carry out a study about iron alterations through three contemporary metal sculptures from the Seville's Universal Exhibition in 1992 *12 Sculptures from Countries in the European Community*, these sculptures are located the Cartuja's gardens, the former Arts Pavilion, and are exposed to Seville's external climate conditions.

Through a study of the rust levels in an experimental study, an assessment of its alterations has been done as a consequence of its exposure to different water media. Test tubes were observed in the laboratory and in situ, reproducing the same climate conditions that the sculptures are exposed to outdoors.

To observe the rust levels a study has been completed about the superficial morphology of the selected sculptures and the test tubes using a stereoscopic microscope. These experimental and comparative study intends to achieve a register of the diverse alterations, with the aim to compare the test tubes and the selected contemporary iron sculptures exposed outdoors.

### Key words

Iron | Rust | Contemporary Sculpture | External Climate Conditions | Alterations study

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
1.1. Introducción.....	7
1.1.1. El hierro en el arte contemporáneo.....	7
1.1.2. Los factores ambientales.....	8
1.1.3. Alteraciones.....	9
1.1.4. Tratamientos.....	11
1.2. Justificación y objetivos.....	14
1.2.1. Justificación.....	14
1.2.2. Objetivos.....	14
1.3. Materiales.....	15
1.3.1. 3 Esculturas realizadas en hierro del Jardín de la Cartuja, Antiguo Pabellón de las Artes de la Exposición Universal de 1992.....	15
1.3.2. Estudio experimental con metales de referencia.....	17
1.4. Metodología.....	19
<b>2. DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>	<b>21</b>
2.1. Resultados.....	22
2.1.1. 3 Esculturas realizadas en hierro del Jardín de la Cartuja, Antiguo Pabellón de las Artes de la Exposición Universal de 1992.....	22
2.1.2. Probetas.....	26
2.2. Discusiones.....	29
2.2.1. 3 Esculturas realizadas en hierro del Jardín de la Cartuja, Antiguo Pabellón de las Artes de la Exposición Universal de 1992.....	29
2.2.2. Probetas.....	32
<b>3. CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>4. BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN ELECTRÓNICA.....</b>	<b>37</b>
4.1. Bibliografía.....	38
4.2. Webgrafía.....	39
4.3. Listado de imágenes.....	41
<b>5. ANEXO.....</b>	<b>42</b>
5.1. Glosario de alteraciones en escultura contemporánea de hierro expuesta al exterior.....	43

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. INTRODUCCIÓN

### 1.1.1. El hierro en el arte contemporáneo

La importancia de los metales en la evolución tecnológica de la humanidad se demuestra por el uso de estos desde épocas remotas, siendo el **desarrollo de los procesos metalúrgicos** de vital interés para la creación, supervivencia y evolución de las sociedades primitivas (Gómez, 2004: 19).

El hierro, por sus propiedades mecánicas, es un material que se empleó desde siempre para la creación de armas y herramientas, así como en rejas y cancelas, que además de cumplir una función práctica, ennoblecían un lugar. La escasa maleabilidad del hierro, unida a su difícil forjado al estar limitado a su tiempo de incandescencia, han condicionado la capacidad expresiva de los artistas, que emplean otros materiales metálicos como el bronce, que ofrecía una mayor precisión en la ejecución de detalles. Asimismo, el hierro fue protagonista de la era industrial, proporcionando un mayor número de obras de ingeniería que esculturas, aunque desde finales del siglo XIX en Francia, se produjeron gran cantidad de estatuas decorativas en este metal (Angelucci, 2006: 124-125).

La aparición de la soldadura como **innovación técnica** favoreció su uso en la escultura contemporánea. De esta forma, tanto la soldadura autógena como la eléctrica unen piezas de distinta apariencia y tamaño, ofreciendo nuevas oportunidades a los escultores contemporáneos (Angelucci, 2006: 126). Frente a la talla, el modelado empleó un método innovador, el de la construcción, utilizando materiales y técnicas que procedían del ámbito industrial, como la soldadura autógena, técnica desarrollada por el escultor Julio González, colaborador de obras escultóricas de Picasso (González, 1997: 304). Ambos fueron los primeros en experimentar con esta técnica sobre hierro en 1927, además, otros muchos escultores continuaron esta técnica utilizando sobrantes de la industria o de otras procedencias (Angelucci, 2006: 126). La unión de las piezas en esculturas contemporáneas se realiza mediante ensamblajes atornillados, hierro repujado y soldadura. De este modo, "la unión constructiva de elementos metálicos diferentes, integrados en el espacio, se aleja del concepto tradicional de la escultura, basado en la solidez de la masa, para llegar a un campo escultórico nuevo. El escultor, al igual que el ingeniero, construye estructura de hierro en las que valora la naturaleza de este material a través de unas soluciones vinculadas a la estética industrial" (González, 1997: 304).

En los siglos XX y XXI prevalece la búsqueda de metales más ligeros, asimismo, la tecnología avanza y se requiere encontrar metales y aleaciones que satisfagan estas demandas (Gómez, 2004: 20). Actualmente, los objetos y estructuras realizadas con metales modernos son parte significativa del patrimonio cultural. Según Virginia Costa, en su artículo *Conservación de patrimonio metálico contemporáneo* en la revista BROMEC 36, "las obras de metal y los procesos de anodización y electrodeposición, han sido utilizados frecuentemente para la creación de esculturas, ornamentos arquitectónicos u objetos presentes en museos" (Costa, 2016: 5).

Actualmente, el hierro es uno de los materiales más empleados en escultura contemporánea. Este metal ha renovado el mundo de las formas, sin embargo, ha planteando graves problemas de conservación, motivados por los agentes físicos-químicos que alteran la estética de las obras metálicas contemporáneas expuestas al exterior. También, este deterioro dependerá de las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidas, así como del comportamiento de estos metales según su proceso de elaboración (Roig et al, 2006: 1973).

En el arte contemporáneo los artistas han empleado materiales con propiedades diferentes, sin conocerse en numerosos casos sus propias decisiones. Las técnicas de ejecución han sido en muchos casos producto de casualidades, revitalizando la práctica artística del escultor. Artistas contemporáneos

como Umberto Mastroianni en su obra *Parábola Urbana* o Ettore Colla en su escultura *Gran espiral*, emplearon en 1968 y 1962 respectivamente, el hierro como material en sus instalaciones expuestas en el exterior de la Galería Nacional de Arte Moderno de Roma, siendo ejemplos de obras contemporáneas en hierro expuestas al medio exterior.

### 1.1.2. Los factores ambientales

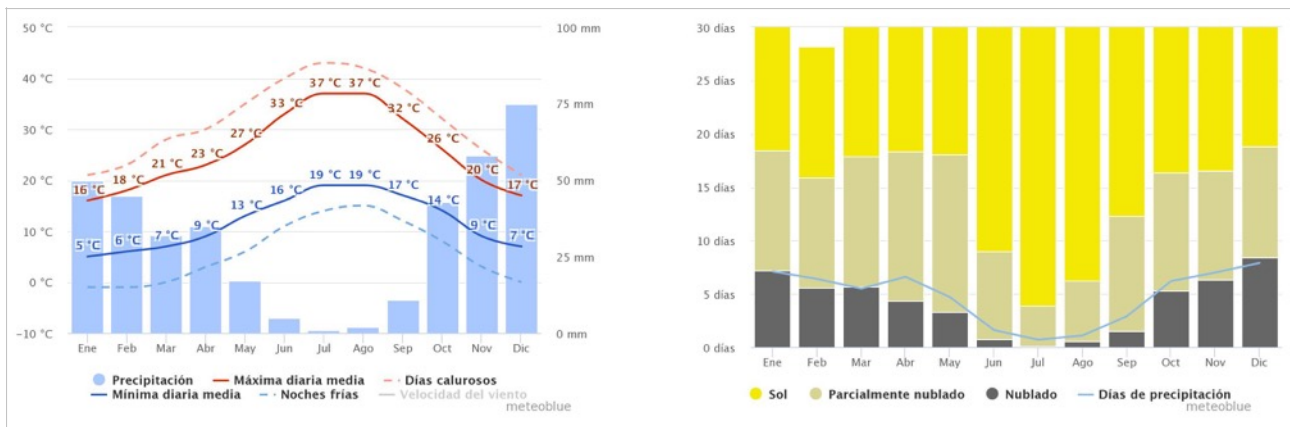
Uno de los factores de deterioro más importantes en las esculturas metálicas contemporáneas expuestas al exterior es el medio ambiente. La fuente fundamental de alteración es el nefasto efecto ocasionado por la **contaminación urbana** para los bienes culturales, ya que una pequeña gota de lluvia ácida, en zonas urbanas e industriales, contiene ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico y partículas en suspensión (Díaz y García, 2011: 12).

Los agentes contaminantes más importantes en la corrosión de metales son los compuestos de sulfuro y nitrógeno. Estos contaminantes son transportados desde la atmósfera a la superficie corroída por medio de deposiciones en seco o de forma húmeda, esta última, a través de las precipitaciones atmosféricas. Además, en muchos países europeos ha disminuido la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en las últimas décadas, mientras que las concentraciones de nitrógeno y ozono han permanecido en un alto nivel. La combinación de varios agentes contaminantes, las deyecciones de las aves, el impacto del sol en verano y las heladas de invierno provocan que los elementos metálicos en el exterior sufran inestabilidad y graves alteraciones. Esto provoca una suma de efectos que deberían ser controlados, tal y como se manifestó en Gotemburgo en el “Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia” realizada por la Comisión Económica para Europa (CEPE) de Naciones Unidas (Brimblecombe, 2003: 228).

La influencia de la **temperatura** y la **humedad** relativa es determinante en la corrosión del hierro. A una mayor temperatura, la corrosión decrecerá, al evaporar más rápidamente el agua depositada en la superficie, proveniente de la lluvia o de los procesos de condensación. Por otro lado, la corrosión se incrementará al aumentar la humedad relativa, actuando el agua sobre la superficie del metal como un electrolito (Brimblecombe, 2003: 229-230).

El valle del Guadalquivir, donde se encuentra Sevilla, tiene los rasgos más característicos del clima mediterráneo continental, es decir, altas temperaturas y precipitaciones regulares, procedentes de la zona atlántica. Posee una temperatura promedio anual entre 17°C y 18°C. En relación al mes más cálido de 2018, julio registró 36°C como el máximo promedio de temperatura alta. Por el contrario, en 2018, enero con 5°C fue el promedio de temperatura más baja. La humedad relativa osciló entre el 74% en diciembre y el 44% en julio en el año 2018, mientras que la media anual es de 59% de humedad relativa en Sevilla. La precipitación media anual oscila entre 500-700mm, estableciendo de media entre 75 y 100 días al año con precipitaciones. Asimismo, se encuentra entre 4 y 5 el número de meses de periodo seco (Figura 1 y 2).

Según la tabla de calidad del aire, en la estación meteorológica del centro de Sevilla, se establece que los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) entre los meses de marzo, abril y mayo de 2019 son buenos, mientras que los niveles de O<sub>3</sub> son admisibles. Cuantitativamente, el CO<sub>2</sub> fluctúa entre 4 y 7 ug/m<sup>3</sup>, el CO entre 3,69 y 6,37 ug/m<sup>3</sup>, el NO<sub>2</sub> fluctúa entre 18 y 82 ug/m<sup>3</sup>, por último, el ozono (O<sub>3</sub>) fluctúa entre 1 y 103 ug/m<sup>3</sup> (Junta de Andalucía, 2019). Podemos así comprobar que de los contaminantes predominantes en la ciudad, el que posee los índices más altos es el CO, mientras que el SO<sub>2</sub> es el que presenta los índices más bajos.



**Figura 1 y 2.** **Figura 1** (izquierda), Temperaturas medias y precipitaciones de 2018. **Figura 2** (derecha), Cielo nublado, sol y días de precipitación de 2018 (Meteoblue, 2018)

### 1.1.3. Alteraciones

#### Alteraciones químicas

Las características materiales de los metales genera una rápida interacción con el medio circundante, transformándose desde la superficie por un proceso de corrosión en donde actúan múltiples factores que modifican el metal atómico en metal iónico.

La mayoría de las obras que se exponen al exterior reciben un tratamiento de acabado que determina su apariencia externa, sufriendo dramáticas transformaciones debidas a los procesos corrosivos (Díaz y García, 2011: 7). Asimismo, debido a sus propiedades, el metal posee un gran potencial electroquímico, provocando su oxidación con gran facilidad por su tendencia a recuperar su estado mineral y primitivo (Barrio, 1992: 150). En la publicación sobre las *Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico*, publicado por el Ministerio de Cultura de España, se dicta que “la corrosión es un proceso cinético y sinérgico constante, o que sólo se detiene cuando la mineralización de los objetos metálicos se completa” (Díaz y García, 2011: 8).

Tipos de corrosión según la morfología	Tipos de corrosión según el mecanismo
<p>Macroscópico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión uniforme o pasiva.</li> <li>• Corrosión localizada:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión activa o generalizada (“Akaganite” y “llanto” o “sudor”).</li> <li>• Corrosión galvánica.</li> <li>• Corrosión por picadura.</li> <li>• Corrosión microbológica (MIC).</li> </ul> </li> </ul> <p>Microscópico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión dendrítica.</li> <li>• Corrosión intergranular.</li> <li>• Corrosión bajo tensión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión húmeda o de mecanismo electroquímico.</li> <li>• Corrosión seca, oxidación directa o corrosión química.</li> </ul>

**Tabla 1.** Clasificación de los tipos de corrosión según la ficha documental reflejada en el *Proyecto Coremans: Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico* (2011).



El hierro posee la capacidad de transformarse en compuestos oxidados, presentándose como óxidos, hidróxidos u oxihidróxidos, en estado ferroso o férrico, con o sin agua de hidratación. De esta forma, los **productos de corrosión** más comunes del hierro son:

- Hemátita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), conocida como óxido de hierro (III), puede variar su color de marrón rojizo a negro.
- Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), conocida como óxido ferroso férrico, es una pátina protectora de color negro.

Estos compuestos ante la presencia de agua se transforman en goethita ( $\alpha\text{FeOOH}$ ) u óxido férrico hidratado, de color marrón-amarillo a marrón-oscuro, en akaganeita ( $\text{FeOOH}$ ), óxido férrico hidratado que oscila entre el marrón pálido a blanco y en limonita ( $\text{FeO}\cdot\text{OH}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), que es un óxido de hierro hidratado de color pardo (Castaño y Arroyave, 1998: 274-278).

La escultura de hierro policromada puede verse afectada por agentes físicos que provocan una reacción química en la composición del material, debido a la iluminación, la temperatura y el agua, que pueden ocasionar una alteración cromática del estrato pictórico.

Además, hay que tener en cuenta que la electronegatividad de cada elemento que compone el material escultórico influirá en su comportamiento hacia su estabilidad, mediante la transferencia de electrones en las reacciones de oxidación-reacción que se produzcan. En algunos casos esta capa de corrosión genera una capacidad protectora, y al mismo tiempo, una función estética, aplicándose como consecuencia el término “pátina”, correspondiéndose a una corrosión uniforme o pasiva (Díaz y García, 2017: 238).

La **herrumbre** es una de las patologías más frecuentes en conservación de esculturas metálicas situadas al exterior, en ellas los elementos más electronegativos de la obra tienden a ganar electrones, reduciéndose, mientras que los de menor electronegatividad entregaran electrones, oxidándose (Vivancos-Ramón et al., 2015: 64).

Las esculturas con soldaduras presentan diferentes niveles de corrosión húmeda o de mecanismo electroquímico motivados por el agua de lluvia y la humedad al concentrarse sobre los huecos de la superficie y activando los procesos de corrosión del hierro de forma rápida. Esta corrosión comienza en la superficie con alvéolos, pudiendo desarrollar grietas y laminaciones por la estructura. El 80% de los casos presentan una corrosión húmeda o de mecanismo electroquímico. Por otra parte, los productos utilizados como protectores en este tipo de obras al envejecer pierden elasticidad y se agrietan, cuarteándose, y creando fisuras que favorecen la corrosión a través de la capilaridad (Angelucci, 2006: 126-127).

La superficie del hierro se oxida en un tiempo variable dependiendo de las condiciones del entorno, siendo más rápida en ambiente húmedo y contaminado. La corrosión crea una capa de óxido uniforme, compacta y de color variable entre negro azulado y rojizo, provocando cierta protección al objeto al considerarse un material estable. Por el contrario, puede generarse una corrosión localizada si el hierro presenta una corrosión dispareja, pulverulenta o agrietada, presentándose el material de forma inestable y facilitando la penetración de agua y oxígeno en la superficie metálica. De este modo, existen distintos tipos de corrosión activa, la primera, llamada “Akaganite” que se caracteriza por una formación cristalina de color naranja de oxi-hidróxido de hierro, produciendo agrietamiento y fractura en las distintas capas de corrosión. Por otro lado, el llamado “llanto” o “sudor”, que se manifiesta en forma de gotas de color amarillo o naranja sobre la superficie de corrosión, como resultado de la concentración de cloruros sobre el metal en un ambiente húmedo (Gómez, 2004: 98).

### *Alteraciones físicas*

Estas alteraciones pueden ser provocadas por la **dilatación** y **contracción** del material al expandirse de forma lineal o superficial, relacionándose con un aumento de la temperatura ambiental, de

manera que al mismo tiempo, el metal se contrae al enfriarse. Los principales indicadores de alteración de tipo físico son la fragmentación, la rotura y la deformación, favoreciendo una posterior alteración química.

La escultura de hierro policromada también puede verse afectada por agentes físicos como la iluminación, debido a la acción de los rayos ultravioleta, la temperatura y el agua, que pueden provocar la descamación del estrato pictórico que recubre el soporte metálico.

Las alteraciones físicas que presenta el hierro están ligadas tanto a fuerzas externas, de tipo accidental, así como internas. Muchas esculturas de metal expuestas al exterior se ven sometidas a daños mecánicos producto de acciones vandálicas, que ocasionan la rotura, fragmentación, deformación, desgastes o pérdidas de los elementos que las conforman.

### *Alteraciones biológicas*

La acción mecánica de los agentes biológicos, organismos y microorganismos, pueden provocar la disgregación o fracturaron de la superficie. Este crecimiento biológico así como las deyecciones de aves (ácidos) ocasionan una alteración del aspecto estético de la obra a través de la creación de patinas o de alteraciones cromáticas, así como una rápida corrosión. Los microorganismos ocasionan la producción de sustancias ácidas corrosivas que provocarían perforaciones y la eliminación de las capas protectoras, además, aceleraría la producción de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, altamente dañinos para las esculturas de hierro y policromadas (Valgañón, 2008: 151).

La **corrosión microbiológica** en el hierro se produce cuando determinados microorganismos intervienen favoreciendo procesos electroquímicos como los producidos por el hidrógeno catódico. El grupo microbiológico más frecuente en la corrosión del metal está representado por bacterias aeróbicas y anaeróbicas. También, las bacterias sulfoxidantes pueden liberar azufre al medio ambiente, provocando una rápida oxidación, favoreciendo la liberación de electrones, reduciendo el oxígeno y liberando sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). Esta microbiota produce la corrosión del hierro y la formación de *biopitting*. (Caneva, Nugari y Salvadori, 2007: 152-155). El *biopitting* se trata de una degradación puntiforme formada por un gran número de agujeros sobre la superficie del metal, provocado por la acción físico-química de organismos (Universitat Politècnica de Valencia: 2019).

Las esculturas metálicas en ambientes húmedos y rodeados de vegetación pueden verse afectadas por la presencia de hongos de la especie *Cladosporium*, asociados a la presencia de ácido sulfúrico. Este microorganismo favorece la corrosión microbiológica abiótica (Caneva, Nugari y Salvadori, 2007:155). También, los líquenes como microorganismos simbióticos alga-hongo pueden producir cambios estructurales en las superficies metálicas.

## **1.1.4. Tratamientos**

### *Tratamientos de consolidación*

El **proceso de consolidación** del hierro tiene como finalidad la adhesión de las posibles laminaciones de hierro que se hayan desprendido. Por otro lado, este tratamiento químico tiene una función preventiva, aplicándose sobre la superficie de la obra para evitar futuras alteraciones.

La consolidación de obra tridimensional de hierro se puede realizar con una resina acrílica, Paraloid B67® al 4% diluido en xileno. En muchas obras de arte contemporáneas, el proceso de consolidación no inhibe la corrosión pero ralentiza el proceso de degradación debido a que algunos artistas consideran que la corrosión forma parte el proceso artístico de la obra. La aplicación se realiza con ayuda de un pincel de

cerdas naturales por toda la superficie, sin desprender posibles partículas oxidadas. De este modo, el empleo de esta resina como consolidante puede oscurecer levemente la superficie de la escultura de metal, aunque el concepto de la obra no cambia (Llamas, 2011: 110).

### *Tratamientos de limpieza*

La **limpieza mecánica** tiene la función de eliminar el polvo superficial que presenta la obra, pudiéndose efectuar con una brocha de cerdas suave. Si la obra presenta originalmente un acabado brillante y pulido, una vez eliminadas las concreciones de óxido, se puede limpiar la superficie con lana de acero para devolver el acabado original (Llamas, 2011: 106).

Para la completa eliminación de la corrosión lo más eficaz es una limpieza mecánica, empleando principalmente un método de limpieza mediante la abrasión superficial empleando la proyección con chorro de arena, con el fin de alcanzar un nivel de limpieza que mejore posteriormente la eficiencia de la capa de protección (Angelucci, 2006: 131-132).

En relación a la **limpieza química**, se puede eliminar la grasa, generada por el contacto con las huellas dactilares, con hisopos de alcohol (Llamas, 2011: 265) y eliminar residuos de protectivos viejos o de otra procedencia mediante una limpieza química a través del empleo de un disolvente o reactivo (Angelucci, 2006: 131-132). Sin embargo, los tratamientos de limpieza más eficaces para paliar los efectos de la corrosión de esculturas de hierro expuestas al exterior son los tratamientos mecánicos.

### *Tratamiento de estabilización*

La corrosión es un proceso inevitable, no obstante, para reducirla o retardarla, se emplean tratamientos de recubrimiento e inhibición que ofrecen protecciones eficaces y duraderas, según el producto, la obra y las condiciones ambientales. Es necesario una conservación preventiva encargada de controlar una serie de medidas aplicadas de forma directa sobre la obra y su entorno, así como un mayor conocimiento de los materiales, técnicas, intención del artista y del ambiente que rodea la obra con el objetivo de disminuir las causas de su deterioro (Almuedo y Mas-Barberà, 2012: 189).

Este tratamiento consiste en **estabilizar** la capa de óxido presente en la superficie mediante su reacción con convertidores de óxidos, a través de una mezcla de ácidos tánicos que originan sales tánicas de hierro, caracterizadas por ser más estables. Estas frenan los procesos de corrosión del metal férreo, obteniendo una superficie casi opaca, de color negro o azulado. No obstante, las intervenciones con ácido tánico no son recomendables para obras expuestas al exterior, debido a que requiere un mantenimiento continuo (Angelucci, 2006: 131-132).

### *Tratamientos de protección*

La **capa de protección** de obra tridimensional de hierro tiene una función preventiva y aislante del medio ambiente que le rodea. La protección es un tratamiento en escultura metálica contemporánea que puede ser controvertido, debido que el uso de protectivo como la cera microcristalina Cosmoloid H80® puede añadir brillo y un color blanquecino alterando el aspecto artístico original, por lo que en muchas ocasiones se opta por el empleo de la resina acrílica Paraloid B67®, utilizado como protectivo (Llamas, 2011: 110).

Otra vía para su conservación si se encuentra a la intemperie es el uso de protectivos. Si se localiza una corrosión no es suficiente con este proceso, debido a que frena el proceso de alteración, debiendo protegerse tras el tratamiento de limpieza y estabilización (Angelucci, 2006: 131-132).

Las principales dificultades para la conservación de obras de hierro contemporáneas expuestas al exterior estriban en la controversia sobre su tratamiento de repatinado. Mientras que unos conservadores prefieren limpiar y mantener la superficie intacta, lo que favorece la corrosión de la superficie, otros prefieren el uso de tratamientos químicos o métodos reversibles como las ceras pigmentadas o las lacas (Almuedo y Mas-Barberà, 2012: 189). Este proceso de patinado es el que protegerá la pieza de la corrosión provocada por el medio ambiente.

Para una correcta elección del protector “hay que tener en cuenta la tipología, el estado de conservación y la situación expositiva de la escultura”, teniendo en cuenta que debe tener dos capas, una primera que posea una acción anticorrosiva, la cual facilite la adhesión de la segunda. “Ambas capas deben ser impermeables, elásticas y resistentes a las radiaciones solares” (Angelucci, 2006: 131-132).

## 1.2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

### 1.2.1. Justificación

Tal y como hemos expuesto las esculturas de hierro de arte contemporáneo dan lugar a situaciones conservativas muy críticas, promovidas por las características naturales del material, su estado de conservación y la situación expositiva de la obra. El hierro es un metal muy activo, combinándose fácilmente con el oxígeno del aire húmedo, optando por este metal en el estudio por ser uno de los más empleados en escultura contemporánea expuesta al exterior, existiendo una gran controversia en las intervenciones de este tipo de patrimonio, donde las alteraciones intrínsecas del hierro forman parte del aspecto estético que busca el artista. No obstante, la situación de abandono generan otro tipo de alteraciones que pueden afectar a la integridad de la obra, necesitando una serie de medidas preventivas.

El estado de abandono que presentan las tres obras del conjunto *12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea* de la Exposición Universal de 1992 de Sevilla, motiva la existencia de corrosión, realizando el estudio de las alteraciones con la finalidad de evidenciar los deterioros existentes en las esculturas de hierro expuestas al exterior.

Localizando distintas alteraciones del hierro en diferentes medios acuosos y sin limitarse a las alteraciones que son provocadas por la situación expositiva de las obras, se pretende ampliar los diferentes registros, obteniendo un conocimiento de carácter científico con la realización de estudios experimentales. También, ubicando la reproducción de muestras en el mismo emplazamiento donde se encuentran las obras originales, tiene la finalidad de estudiar el impacto ambiental de la zona sobre el hierro durante un espacio concreto de tiempo.

Visualizando las diferentes alteraciones que presenta este metal en los diferentes medios acuosos, se persigue valorar cuales son las condiciones más perjudiciales. Además, efectuando ensayos con distintos protectivos se pretende evaluar el grado de efectividad y realizar una comparación de su actuación en los diferentes medios a los que han sido sometidas las probetas.

### 1.2.2. Objetivos

Los siguientes objetivos han sido definidos para guiar el estudio:

1. Detectar las alteraciones del hierro en escultura contemporáneas férreas expuestas al exterior, así como las causas de dichas alteraciones, elaborando un glosario de las mismas.
2. Evaluar si el agua de lluvia y su ubicación son factores determinante de las alteraciones que presentan las tres esculturas de estudio.
3. Analizar las alteraciones producidas en las probetas de hierro sometidas a diferentes medios acuosos.
4. Evaluar la efectividad de los diferentes protectivos empleados.

### 1.3. MATERIALES

#### 1.3.1. 3 Esculturas realizadas en hierro del Jardín de la Cartuja, Antiguo Pabellón de las Artes de la Exposición Universal de 1992

Este proyecto escultórico, desarrollado dentro del programa cultural elaborado por los Estados miembros de la Comunidad Europea, pretende reconocer el papel que la cultura debe tener en el proceso de la construcción de Europa. Según afirmó Jean Dondelinger, comisario de la Comunidad Europea en 1992, “se debe de fomentar una cultura cuya diversidad debe ser conservada y estimulada”. Las doce esculturas actuaban como un testimonio de la creatividad de los jóvenes artistas a través de la modulación del espacio y el tratamiento de la materia. Además, eran un claro símbolo de las diferentes aportaciones realizadas para un objetivo común: la creación de una relación más estrecha entre los diferentes países constituyentes (Fernández, 1992: 7).

De este proyecto inicial se conservan en su emplazamiento original cinco obras que formaban parte de la exposición *12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea*.

La titularidad de las obras pertenece hoy al Ayuntamiento de Sevilla, de conformidad con acuerdo del 4 de junio de 1993, el cual se suscribió por dicha Corporación Municipal, la Junta de Andalucía, el Patrimonio del Estado y la Asociación Expo Sevilla (AGESA), adoptando legalmente este conjunto escultórico para la ciudad desde dicha fecha y siendo restauradas entre 2005 y 2006 aquellas piezas que no habían sido retirada (Roldán, Núñez y Soler, 2006: 128). Estas obras han sido seleccionadas debido a la falta de mantenimiento generalizado sobre el conjunto de obras relacionadas con la Exposición Universal de Sevilla en 1992 (Figura 3 y 4).



- 1 Obra de Brigitte Schwaeake
- 2 Obra de Rui Chafes
- 3 Obra de Barbara Weil



Ubicación de las esculturas de estudio

Figura 3. Ubicación de las esculturas seleccionadas (El legado de la Expo '92, 2015)

Figura 4. Ubicación de las esculturas seleccionadas (El legado de la Expo '92, 2015)

<b>OBRA N°1</b>	
<b>Título:</b>	Sin título
<b>Autor:</b>	Brigitte Schnwaeake
<b>Tipo de obra:</b>	Escultórica
<b>Cronología:</b>	1992
<b>Ubicación:</b>	C/ Américo Vespucio Jardín de la Cartuja (Sevilla)
<b>Material y técnica:</b>	Hierro y soldadura
<b>Medidas:</b>	4 x 2,20 x 2,20 m
<b>Propiedad:</b>	AGESA
<b>Intervenciones anteriores:</b>	Intervenida en 2006
<b>Estado de coservación:</b>	Estable

Tabla 2. Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, 2012.



Figura 5 y 6. Figura 5 (izquierda). Fotografía tomada en 1992. (Fernández, 1992). Figura 6 (derecha). Fotografía tomada en 2019

<b>OBRA N°2</b>	
<b>Título:</b>	Sin título
<b>Autor:</b>	Rui Chafes
<b>Tipo de obra:</b>	Escultórica
<b>Cronología:</b>	1992
<b>Ubicación:</b>	C/ Américo Vespucio Jardín de la Cartuja (Sevilla)
<b>Material y técnica:</b>	Hierro policromado y soldadura
<b>Medidas:</b>	3 x 4 m de diámetro
<b>Propiedad:</b>	AGESA
<b>Intervenciones anteriores:</b>	Intervenida en 2006
<b>Estado de coservación:</b>	Estable

Tabla 3. Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, 2012.



Figura 7 y 8. Figura 7 (izquierda). Fotografía tomada en 1992. (Fernández, 1992). Figura 8 (derecha). Fotografía tomada en 2019

<b>OBRA N°3</b>	
<b>Título:</b>	Under the moon
<b>Autor:</b>	Barbara Weil
<b>Tipo de obra:</b>	Escultórica
<b>Cronología:</b>	1992
<b>Ubicación:</b>	C/ Américo Vespucio Jardín de la Cartuja (Sevilla)
<b>Material y técnica:</b>	Hierro soldado, esmalte sintético
<b>Medidas:</b>	2 x 1,4 x 0,1 m
<b>Propiedad:</b>	AGESA
<b>Intervenciones anteriores:</b>	Intervenida en 2006
<b>Estado de coservación:</b>	Deficiente

Tabla 4. Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, 2012.



Figura 9 y 10. Figura 9 (izquierda). Fotografía tomada en 2012. (El legado de la Expo '92, 2015). Figura 10 (derecha). Fotografía tomada en 2019

Las obras de estudio son: Sin título de Brigitte Schnwaeake, Sin título de Rui Chafes y *Under the moon* de Barbara Weil. Estas pertenecen al proyecto *12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea* de la Exposición Universal de 1992 de Sevilla.

En la parte superior de la obra **Sin título de Brigitte Schnwaeake**, estructura metálica en forma de paralelogramo, se desarrolla un dibujo tridimensional por medio de alambres que reproducen engranajes y ruelas, con el que pretende incorporar el cielo como un elemento más en su composición, además, se encuentra abierta en sus cuatro laterales. Esta obra se compone de una serie de elementos forjados y ensamblados por medio de soldaduras, incorporando en la parte central una estructura de alambre unida por medio de tres perforaciones en cada uno de los ángulos del armazón (Tabla 1).

La obra **Sin título de Rui Chafes**, consistente en una jaula de planta circular y cerrada por finos barrotes creando en la parte superior una cúpula estrellada, dejando abierto el centro. Estos barrotes se encuentran unidos a la estructura por medio de soldaduras, mientras que la circunferencia que refuerza la estructura presenta soldaduras y ensamblajes a través de tornillos. Además, se encuentra policromada de color negro (Tabla 2).

La escultura **Under the moon de Barbara Weil**, obra tridimensional de hierro abstracta con una base en forma de herradura en la que se aprecia el nombre de la artista. Los diferentes elementos de este metal que constituyen la escultura están unidos por medio de soldadura, cubiertos por una capa pictórica consistente en un esmalte sintético (Tabla 3).

### 1.3.2. Estudio experimental con metales de referencia

Se prepararon **doce probetas de hierro** (Fe) con una pureza del 99,84%. El porcentaje restante está conformado por carbono en un 0,02%, manganeso en un 0,06%, fósforo a un 0,01%, azufre 0,01%, nitrógeno 0,007%, cobre 0,04% y estaño 0,01% aproximadamente (AKSteel, 2019). Las probetas tienen una dimensión de 40mm x 20mm x 4mm, con un peso de 19gr (Tablas 5 y 6). A seis de ellas se les aplicó en ambas caras y en la mitad de la superficie una capa de protección con Paraloid B72® al 10% en acetona debido a la naturaleza férrica del metal. El Paraloid B72® es una resina acrílica a base de Etil-metacrilato, caracterizado por su dureza, brillo y adhesión en diferentes soportes. Además, es soluble en cetonas, ésteres, hidrocarburos, aromáticos y clorurados (CTS, 2019).

A las otras seis probetas se le aplicó el protectivo Incral 44® al 10% en tolueno, repitiendo el mismo proceso. El Incral 44® al igual que el Paraloid B72® es un protectivo de resina acrílica con aditivos antioxidantes y cuya solución es con disolventes orgánicos (CTS, 2019).

Las resinas acrílicas son termoplásticas, solidificándose al bajar la temperatura y fundiéndose con el calor. Estas se caracterizan por su resistencia al envejecimiento y por la capacidad de formación de una capa elástica y flexible una vez polimerizado (Pascual y Patiño, 2010: 44). (Figura 11)

Metales	Protectivo	Dimensión	Peso
Hierro	Paraloid B72® al 10% en acetona	40mm x 20mm x 4mm	19gr
Hierro	Incral 44® al 10% en tolueno	40mm x 20mm x 4mm	19gr

Tabla 5. Metales de las probetas in situ.



Metales	Protectivo	Dimensión	Peso
Hierro	Paraloid B72® al 10% en acetona	40mm x 20mm x 4mm	19gr
Hierro	Incral 44® al 10% en tolueno	40mm x 20mm x 4mm	19gr

Tabla 6. Metales de las probetas en laboratorio.

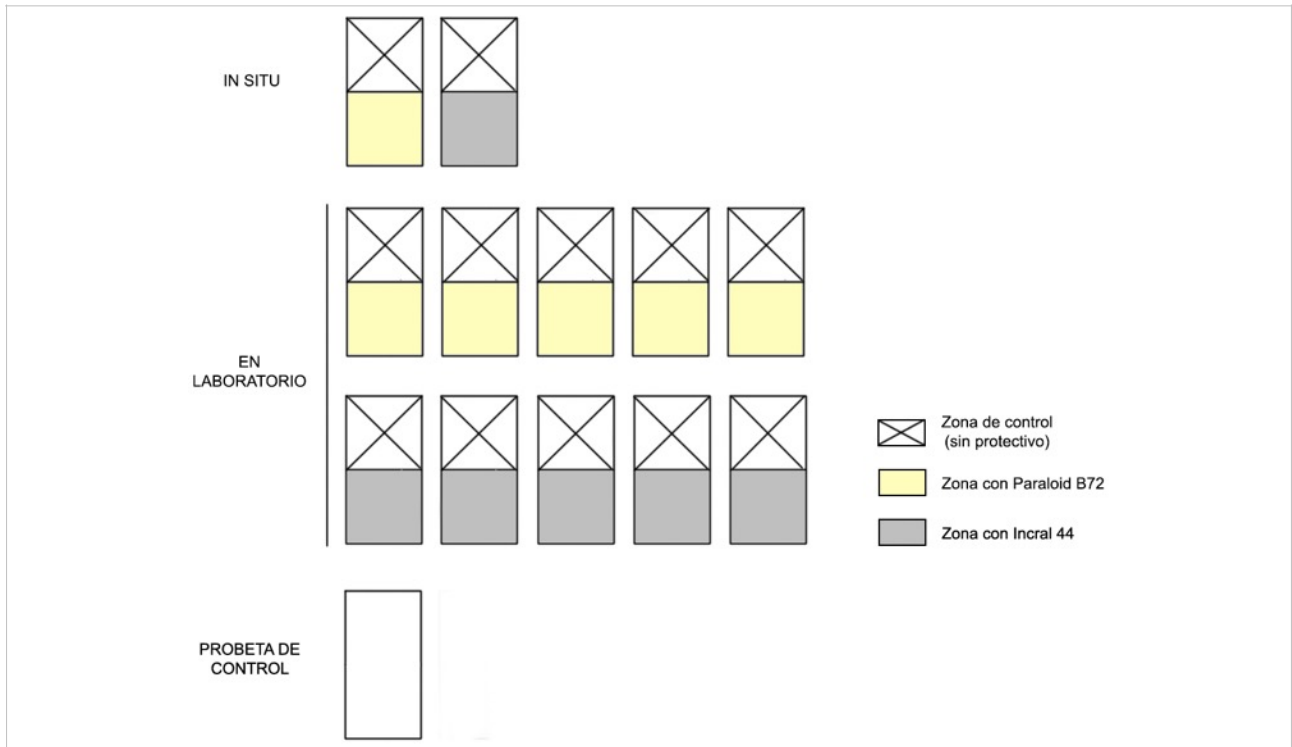


Figura 11. Probetas. Gráfico de la zona de aplicación de protectivos y de la franja que funciona como control.

## 1.4. METODOLOGÍA

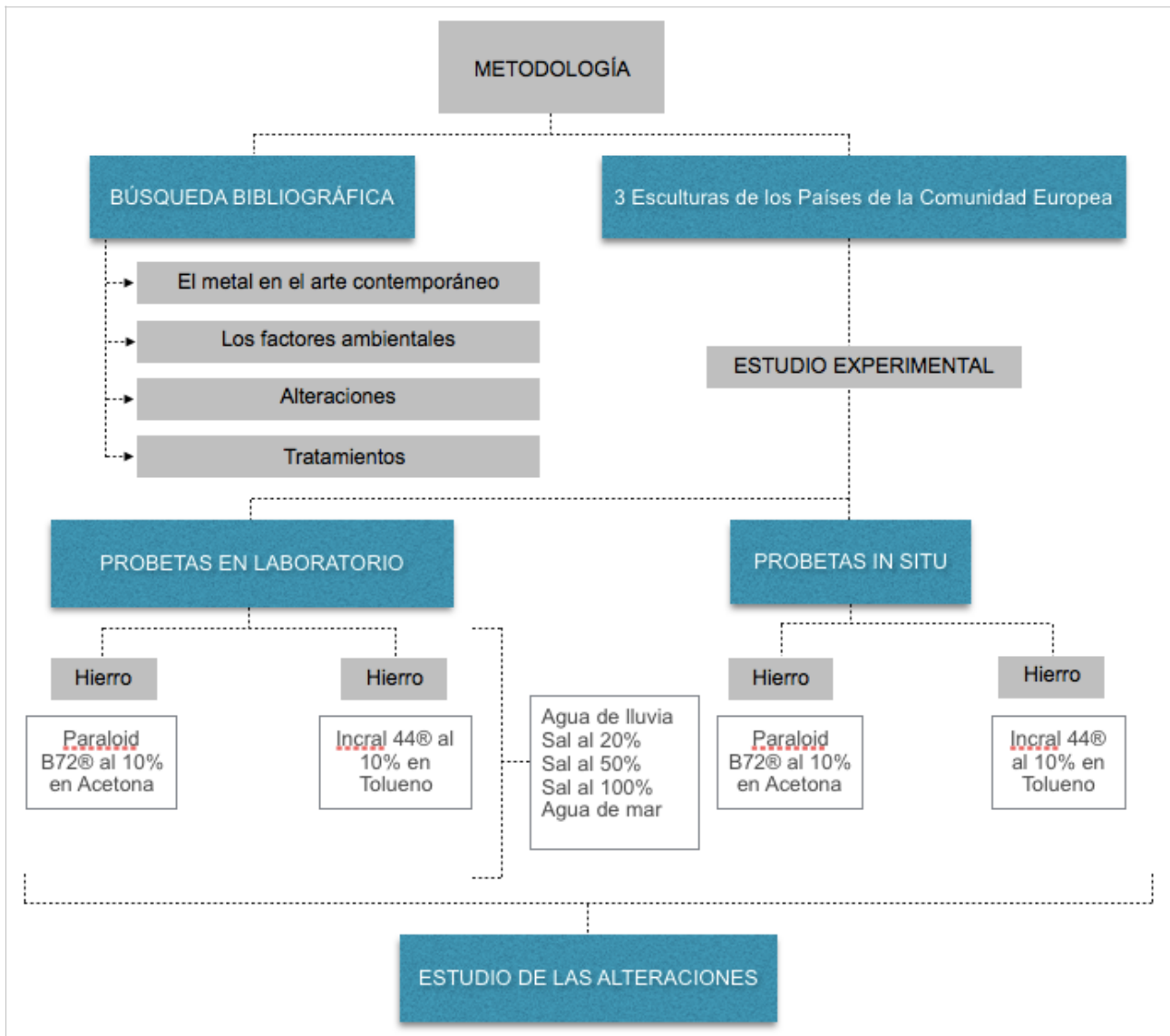


Figura 12. Metodología

En relación a las tres obras seleccionadas de la exposición **12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea**, el estudio consistió en la detección de las alteraciones físicas, químicas y biológicas que presentaban, registrándose a través de una documentación fotográfica de los perfiles y ángulos de las piezas con una cámara digital Canon modelo 700D. También, se realizaron macrofotografías con un microscopio digital USB con luz visible, con el fin de registrar los deterioros observados en el examen organoléptico. Posteriormente, se ha valorado la influencia del emplazamiento de las esculturas, caracterizado por situarse al aire libre en situación de abandono y rodeado de vegetación, con el fin de asociar estos factores con las alteraciones que deterioran las obras contemporáneas de hierro expuestas al exterior del estudio. Además, para detectar la causa de origen de las alteraciones se evaluaron las condiciones ambientales de Sevilla, temperatura, humedad relativa y partículas contaminantes del aire, observando si sus variables se mantienen dentro de un rango de nivel de daño limitado (Figura 12).

En las causas que ha provocado las distintas alteraciones se efectuó junto a una búsqueda de fuentes bibliográficas con el fin de documentar los agentes y procesos asociados a las diferentes patologías de alteración presentes en las obras de estudio.

Por otro lado, dos probetas fueron depositadas en la ubicación donde se encuentran las obras seleccionadas para el estudio, estableciendo un periodo de exposición **in situ** de 42 días. Tanto las muestras tomadas de las tres obras seleccionadas como las distintas probetas, una vez finalizado el periodo de experimentación, se observaron con un microscopio esteroscópico 40x.

En relación a las probetas de **laboratorio** fueron sometidas a distintos medios acuosos, tres de ellos salinos, obteniéndolos mediante distintas concentraciones de sal. El primero con una saturación del 20%, vertiendo 43gr de sal en 600ml de agua, el segundo tenía una saturación del 50%, obtenida con 108gr de sal en 600ml de agua, y por último, un 100% de saturación obtenido a partir de 216gr de sal en 600ml. Estas proporciones fueron realizadas tras conocer que el nivel de saturación de 100ml de agua son 36gr a 20°. Por otro lado, las muestras también se sometieron a agua de lluvia y a agua marina, dejando una probeta de control sin someterla a ningún medio acuoso para contrastar los alteraciones obtenidas tras la investigación.

Se realizó una comparación de la parte protegida con la parte sin protección de las probetas de hierro y entre los distintos protectivos (Figura 12). Posteriormente, diez de ellas fueron sumergida en cada una de las disoluciones contenidas en botes transparentes de plásticos con una capacidad de 100ml, siendo cerradas con una tapadera de rosca.

Estos supuestos han tenido un seguimiento periódico cada tres días aproximadamente, consistiendo en la documentación fotográfica, con una cámara digital Canon modelo 700D, de ambas caras de cada probeta sin extraerse de su medio, siendo factible por transparencia del recipiente. Igualmente, se registraron las diferentes alteraciones a través de un examen organoléptico, así como, la temperatura y la humedad registrada en el momento del estudio. También, se indicó la hora y tiempo de duración de la observación, comprendiendo el proceso entre 60 y 90 minutos.

Tras 21 días estando sumergidas las distintas muestras, las probetas fueron extraídas y depositadas al sol durante otros 21 días, con una temperatura y ambiente completamente diferentes a las que se encontraban anteriormente. Se continuó con el proceso de documentación fotográfica, el examen organoléptico y el registro medioambiental.

## **2. DESAROLLO DEL TRABAJO**

---

## 2.1. RESULTADOS

A través de un examen organoléptico se detallarán las alteraciones que presentan tanto las tres esculturas contemporáneas de hierro del estudio como las probetas efectuadas.

### 2.1.1. 3 Esculturas realizadas en hierro del Jardín de la Cartuja, Antiguo Pabellón de las Artes de la Exposición Universal de 1992

#### *Obra nº 1. Sin título de Brigitte Schnwaeake*

OBRA Nº 1. Sin título de Brigitte Schnwaeake	
<b>Alteraciones por causas físicas</b>	
<b>Suciedad superficial</b>	La suciedad superficial se encuentra localizada de forma generalizada, afectando aproximadamente a un 95% de la obra.
<b>Modificación de piezas</b>	Existe una variación en la estructura de alambre. Se observa una pérdida de nivel y de volumen en comparación con el espacio que ocupaba originalmente.
<b>Laminación</b>	Esta alteración se ubica en la base de la escultura, en aquellas zonas que está en contacto con el suelo. Se percibe una disgregación del material que afecta aproximadamente a un 6% de la escultura.
<b>Alteraciones por causas químicas</b>	
<b>Corrosión activa</b>	La corrosión activa, que afecta a la totalidad del armazón. La superficie presenta un color rojizo y un punteado heterogéneo, con un diámetro entre 3mm y 5mm de color pardo-marrón. Esta alteración ha provocado una discontinuidad en la superficie de la obra, manifestándose una textura granulada (Figura 13).
<b>Corrosión pasiva</b>	La corrosión pasiva afecta al 100% a la estructura de alambre. Se observa una pátina marrón que genera una superficie granulada.
<b>Alteraciones por causas biológicas</b>	
<b>Líquenes</b>	Los líquenes afectan a la base de la obra, concretamente en la zona donde se encuentra en contacto con la vegetación. Se perciben manchas con un diámetro entre 5mm y 10mm, las cuales forman una superficie heterogénea de color verde-amarillo y blanco (Figura 14).
<b>Deyecciones de aves</b>	Las deyecciones de aves se encuentran localizadas de forma puntual en las zonas horizontales de la estructura y afectando aproximadamente a un 2% de la escultura.



Figura 13 y 14. Figura 13 (izquierda), corrosión en el armazón de la escultura. Figura 14 (derecha), líquenes.

*Obra nº 2. Sin título de Rui Chafes*

OBRA Nº 2. Sin título de Rui Chafes	
<b>Alteraciones por causas físicas</b>	
<b>Suciedad superficial</b>	La suciedad superficial altera el color de la policromía original. Afecta a la totalidad de la obra.
<b>Graffiti</b>	Alteración producto de actos vandálicos por el factor antrópico. Los graffitis blancos, con un trazo de 8mm de grosor, se observan en la zona superior y transversal de la escultura, afectando aproximadamente al 4% de la obra (Figura 15).
<b>Pérdida de piezas</b>	La obra ha perdido piezas en comparación con la imagen original. Se observa que no existen los elementos curvos de hierro que sobresalían hacia el interior de la estructura. Actualmente, solo quedan los puntos de soldadura donde iban unidas la piezas faltantes al armazón de la instalación, afectando al 20%.
<b>Laminación</b>	La laminación se encuentra ubicada en las zonas de soldadura donde iban unidas las piezas faltantes a la estructura, ocasionando una disgregación del material. Esta alteración afecta aproximadamente al 15% de la escultura.
<b>Alteraciones por causas químicas</b>	
<b>Corrosión activa</b>	Esta alteración afecta aproximadamente al 20% de la pieza, localizada en las zonas de rotura. La superficie presenta un color pardo-marrón, provocando una discontinuidad en la superficie de la obra y laminación de la superficie.
<b>Corrosión pasiva</b>	La corrosión pasiva afecta a un 15% de la escultura, a través de una pátina anaranjada que genera una superficie quebradiza (Figura 16).
<b>Alteraciones por causas biológicas</b>	
<b>Insectos</b>	Se observan larvas de insectos que han ocasionado cambios cromático en la superficie de la obra, afectando aproximadamente al 2% de la pieza. Esta alteración se encuentra localizada de forma puntual en las zonas más ocultas.
<b>Deyecciones de aves</b>	Las deyecciones de aves se encuentran localizadas de forma puntual en la parte superior de la estructura y afectando aproximadamente a un 2% de la escultura.



**Figura 15 y 16. Figura 15 (izquierda), graffiti. Figura 16 (derecha), corrosión sobre una soldadura.**

### Obra nº 3. Under the moon de Barbara Weil

OBRA Nº 3. Under the moon de Barbara Weil	
<b>Alteraciones por causas físicas</b>	
<b>Suciedad superficial</b>	La suciedad superficial se encuentra localizada de forma generalizada, afectando a la totalidad de la obra. Esta alteración modifica el aspecto estético de la obra.
<b>Descamación del estrato pictórico</b>	Esta alteración se localizada de forma puntual en los bordes y cantos de la escultura, así como en la base. Esta alteración afecta aproximadamente al 6% de la escultura, percibiendo un levantamiento del estrato de esmalte sintético que conforma la pintura, e incluso llegando a su pérdida, dejando a la vista el hierro que compone la estructura de la escultura.
<b>Rayado</b>	Se localiza en la zona inferior de la escultura, afectando a un 3% de la escultura. Se percibe una incisión en la superficie.
<b>Cuarteado</b>	Se observa una rotura en el esmalte sintético formando grietas en forma de retículas. Afecta aproximadamente a un 10% de la obra, localizada en la zona superior de la escultura.
<b>Laminación</b>	Esta alteración se ubica en la zona que está en contacto con el suelo, concretamente, en la base de la escultura. Además, se percibe una disgregación del material que afecta aproximadamente a un 10% de la escultura.
<b>Alteraciones por causas químicas</b>	
<b>Corrosión activa</b>	La corrosión activa ha afectado la base de la escultura que se encuentra en contacto con el suelo, aproximadamente a un 12% de la escultura. La superficie presenta un color pardo-marrón. Esta alteración ha provocado una discontinuidad en la superficie de la obra, derivando en una alteración física: la laminación.
<b>Corrosión pasiva</b>	La corrosión pasiva afecta de forma puntual aproximadamente al 5% a la escultura. Se observa una pátina naranja-marrón en aquellas zonas donde se ha perdido el estrato de esmalte sintético. Además, ha perjudicado a la policromía adyacente, provocando un cambio cromático en las partes localizadas junto a las escorrentías (Figura 17).
<b>Alteración cromática</b>	Esta alteración se encuentra ubicada en los azules de la zona superior, los cuales han tornado a un color verde que no presentaba en origen. Esta alteración afecta aproximadamente a un 20% de la escultura.
<b>Alteraciones por causas biológicas</b>	
<b>Deyecciones de aves</b>	Se localiza de forma generalizada, aproximadamente a un 95% de la pieza. Esta alteración modifica el aspecto estético de la escultura (Figura 18).
<b>Insectos</b>	Se observan larvas de insectos en la base de la escultura, en la zona que se encuentra en contacto con el suelo. Esta alteración afecta aproximadamente al 2% de la pieza.

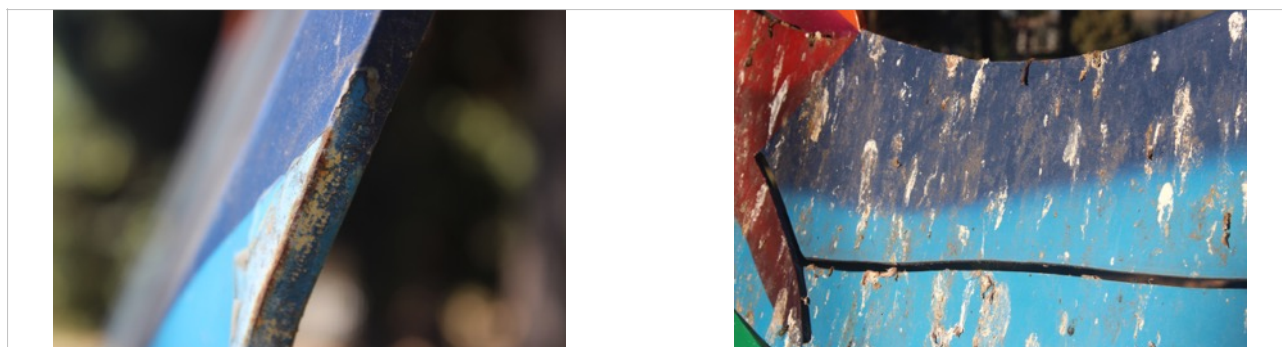


Figura 17 y 18. Figura 17 (izquierda), corrosión y alteración cromática. Figura 18 (derecha), deyecciones de aves



**Figura 19, 20 y 21.** Observación con microscópico estereoscópico de 40x. **Figura 19.** (a) Muestra de la obra *Sin título* de Brigitte Schnwaeake en la que se observa laminación. **Figura 20.** (b) Muestra de la escultura *Sin título* de Rui Chafes en la que se percibe suciedad superficial. **Figura 21.** (c) Muestra de la obra *Under the moon* de Barbara Weil en la que se observa alteración biológica, tanto de origen animal como vegetal.



## 2.1.2. Probetas

Las diferentes alteraciones que presentan las probetas se detallaran a través del examen organoléptico realizado, estableciendo un rango del nivel de corrosión de cada una de las muestras.<sup>1</sup>

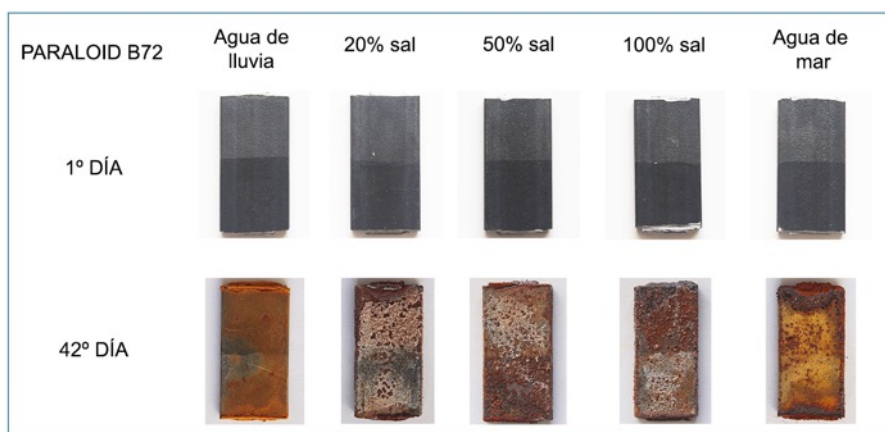
**IN SITU** (Probetas expuestas junto a las esculturas)



Nivel de corrosión de la **zona con protectivo**:

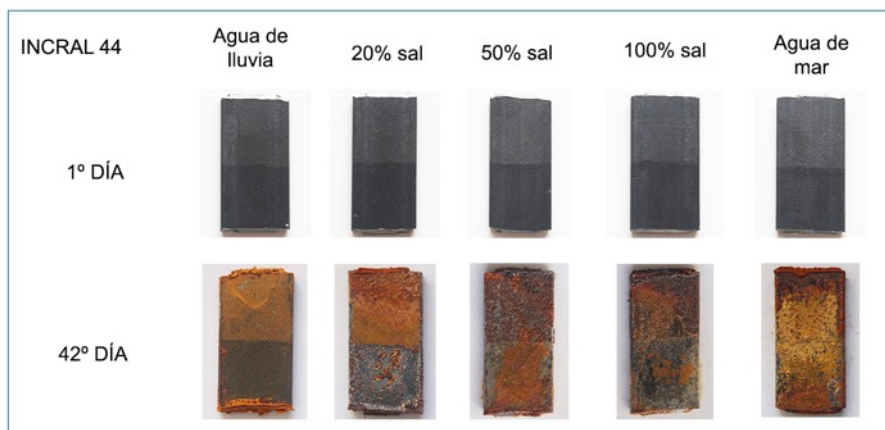
IN SITU	
En una escala del 1 al 5	
PARALOID B72	1
INCRAL 44	1

**EN LABORATORIO**



Nivel de corrosión de la **zona con protectivo**:

PARALOID B72	
En una escala del 1 al 5	
Agua de lluvia	2
20% sal	2
50% sal	3
100% sal	4
Agua de mar	5



INCRAL 44	
En una escala del 1 al 5	
Agua de lluvia	1
20% sal	2
50% sal	4
100% sal	2
Agua de mar	5

Nivel de corrosión de la **zona sin protectivo** (Probetas en laboratorio):

Disolución	Agua de lluvia	20% sal	50% sal	100% sal	Agua de mar
En una escala del 1 al 5	3	3	4	4	5

**Figura 22.** Resultados de las probetas

<sup>1</sup> Evaluación del nivel de corrosión tanto de la zona protegida como sin proteger. El número 1 corresponde al nivel menos corroído, mientras que el 5 el nivel que más corrosión y alteraciones presenta.

Las probetas realizadas **in situ** (Figura 18), en primer lugar, en la zona sin proteger presentan una corrosión naranja-marrón, pulverulenta y puntual, así como en los extremos de la superficie. La zona protegida con Paraloid B72® presenta corrosión de color marrón en el borde de la pieza, mientras que en la zona de aplicación de Inrcal 44 se percibe en el extremo una leve subida de tono. En ningún caso hay presencia de pulverulencia. Tras la observación de las muestras con microscopio estereoscópico de 40x se detecta que la zona protegida con Inrcal 44® no presenta corrosión en su superficie, sin embargo, en la parte protegida con Paraloid B72® presenta una mácula puntual y heterogénea de coloración marrón-amarillenta. (Figura 23 y 24)

Analizando las probetas que se realizaron **en laboratorio**, primeramente, las sometidas a **agua de lluvia** manifestaron en la zona no protegida una patina uniforme de color naranja, junto con la alteración física de laminación en el extremo. La parte protegida con Paraloid B72® ha creado una película blanquecina, y sobre esta, una patina homogénea de color naranja. El Inrcal 44® presenta un tono oscurecido. Tanto la parte protegida con Paraloid B72® como con Inrcal 44® presentan laminación en el extremo. (Figura 25 y 26)

La zona no protegida de las muestras sometidas a una **disolución de 20% de sal** en agua presenta una acumulación de sales y una patina homogénea de color marrón-rojiza. La parte protegida con Paraloid B72® muestra una acumulación de sales tanto en el anverso como en el reverso, además de una corrosión puntual en la pieza. Con respecto al Inrcal 44® existe una pequeña cantidad de concentración de sales en la superficie, mostrando una corrosión naranja y puntual en el extremo de la pieza, así como, en forma de *pitting* en la zona superior. (Figura 27)

En la parte sin protección de la probeta sometida a una **disolución de 50% de sal** en agua muestra una pátina heterogénea y pulverulenta de color marrón-negro, además, presenta una capa superficial de sales. En la zona donde se ha empleado Paraloid B72® exterioriza una pátina heterogénea de color naranja cubierta por sales. La parte protegida con Inrcal 44® revela una mínima cantidad de corrosión, localizada en el centro de la muestra, mientras que en los bordes se perciben sales.

La zona sin proteger sometida a una **disolución de 100%** de sal en agua presenta una pátina heterogénea, marrón en el centro y negro en los extremos, así como, una textura granulada. En la parte protegida con Paraloid B72®, existe una corrosión puntual, naranja sobre la superficie y marrón sobre los bordes, cubierta por una capa de sales. La zona protegida con Inrcal 44® presenta una corrosión puntual de color naranja, encontrándose cubierta por sales tanto en el anverso como en el reverso.

En las tres probetas protegidas con Paraloid B72® sometidas a las distintas disoluciones de agua con sal se observa mediante la técnica de microscopía estereoscópica que en aquellas partes donde presenta corrosión no existe presencia de depósitos salinos, desarrollándose sales alrededor de las máculas de corrosión. En las probetas sometidas a concentraciones más altas de sal presentan cristales salinos en su superficie así como en los extremos con acumulación de sales debido a su aspecto satinado. (Figura 28 y 29)

La parte sin protección sometida a **agua de mar**, exterioriza una pátina heterogénea de color amarillo, naranja, marrón y negra, mostrando pulverulencia en el extremo de la pieza. La parte protegida con Paraloid B72® presenta una pátina pulverulenta y heterogénea de color amarillo, naranja y marrón por toda la superficie. Igualmente, esta pátina se percibe en la parte protegida con Inrcal 44®, afectando solo al centro. Además, en ambas probetas, mediante la técnica de microscopía estereoscópica, se observa una superficie heterogénea en forma de *pitting*. (Figura 30)



**Figura 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30.** Observación con microscópico estereoscópico de 40x. **Figura 23.** (a) Superficie del hierro antes del proceso de corrosión. **Figura 24.** (b) Mácula puntual y heterogénea de coloración marrón-amarillenta en la muestra experimental in situ protegida con Paraloid B72®. **Figura 25.** (c) Pátina uniforme de la probeta sometida a agua de lluvia y protegida con Paraloid B72®. **Figura 26.** (d) Laminación de la zona de la muestra experimental sin protección y sometida a agua de lluvia. **Figura 27.** (e). Superficie pulverulenta perteneciente a la probeta protegida con Paraloid B72® sometida a la disolución de 20% de sal. **Figura 28.** (f) Cristalización de sales en la superficie de la probeta protegida con Incral 44® y sometida a una disolución de 100% de sal. **Figura 29.** (g) Depósitos de sales y concreciones en la superficie de la muestra experimental protegida con Paraloid B72® sometida a un medio acuoso con una concentración de sal al 100%. **Figura 30.** (g) *Pitting* presente en la zona sin protección de la probeta sometida a agua de mar.

## 2.2. DISCUSIÓN

### 2.2.1. 3 Esculturas realizadas en hierro del Jardín de la Cartuja, Antiguo Pabellón de las Artes de la Exposición Universal de 1992

Hemos podido comprobar como las diferentes alteraciones que presentan las obras son motivadas por factores internos, ocasionados por el envejecimiento del material, por el proceso artístico de ejecución de las obras, o bien por factores externos donde interviene la ubicación en la que se encuentran, incrementándose estas por su estado de abandono. Los factores atmosféricos como la lluvia, el viento, las oscilaciones de temperatura y la humedad relativa influyen creando situaciones propicias que generan alteraciones y deterioros en este tipo de obras expuestas al exterior.

Las obras de estudio están realizadas con hierro, que es el metal más inestable y problemático en relación a su conservación, siendo la presencia de oxígeno y humedad los agentes detonantes de los procesos de oxidación.

La insolación o asoleamiento, que es la cantidad de tiempo en el que luce el sol despejado sin interrupción de nubes en un día sobre un lugar concreto, siendo en la cuenca del Guadalquivir de 3.000 horas al año de media, mientras que la media del resto peninsular cercana a las 2.400 horas (Junta de Andalucía, 1997: 57). Estos factores ambientales que propician el clima mediterráneo continental de Sevilla, asociados a las radiaciones ultravioletas, influirán en la aceleración de los procesos de corrosión del hierro.

Por la localización de las obras, el agua procedente de la humedad por capilaridad y condensación generada por la cercanía del río Guadalquivir generan cambios en la humedad relativa que afectaran a la integridad de la obra.

Otra circunstancia a tener en cuenta es la localización de las obras cercanas a zonas urbanas en donde el tráfico rodado es constante aumentando los niveles de contaminación por la emisión de partículas sólidas y de compuestos orgánicos volátiles que acelerarán junto a la lluvia ácida las alteraciones físicas, químicas y biológicas que presentan.

Su situación en una zona con vegetación incrementará los procesos de deterioro donde intervenga factores bióticos.

El factor antrópico propiciado por su ubicación anexa al casco urbano con reducido tránsito a pie y la falta de vigilancia permanente, tanto de personal de seguridad como de cámaras, ocasiona pérdidas y daños motivado por actos vandálicos.

De esta forma, el estudio de las probetas in situ nos ha servido para contrastar las alteraciones que presentan las esculturas originales con las ocasionadas en las probetas en el periodo de tiempo al que han estado expuestas.

#### *Alteraciones físicas (Véase glosario de alteraciones en Anexo)*

Las tres obras presentan suciedad generalizada procedente del medio en que se encuentran, ocasionando la acumulación de partículas sólidas de contaminación causantes de los depósitos de suciedad y polvo sobre la superficie. Este es producto de factores ambientales y contaminantes, ocasionando un ennegrecimiento generalizado, destacando la escultura policromada nº 3 *Under the moon* de Barbara Weil, que debido a su ubicación bajo un árbol presenta una mayor cantidad de depósitos superficiales.

Por otra parte, las condiciones ambientales donde se ubican las esculturas influyen en las laminaciones localizadas tanto en la base de las esculturas como en las soldaduras, son productos de las tensiones estructurales del material, junto con la humedad por capilaridad y los cambios de humedad

relativa que han favorecido los procesos de deterioro del material. Esta alteración por **causas físicas** puede incrementar los procesos de corrosión del hierro al condensarse la humedad sobre la superficie irregular que se crea en la zona.

Concretamente, en la obra nº 3 se observa un levantamiento del esmalte sintético con el que está policromado. El levantamiento se ha producido por las fluctuaciones de temperatura junto con las oscilaciones de humedad, ocasionando cambios bruscos o valores extremos que provoca importantes alteraciones. También, es un condicionante importante el asoleamiento a la que están expuestas las obras de estudios, sobretodo aquellas que están policromadas, debido a la aparición de alteraciones, como levantamientos, causados por las radiaciones ultravioleta y por el tiempo de exposición al que se encuentran sometidas.

Otro daño ocasionado por su ubicación en una zona sin tránsito es el deterioro causado por el factor antrópico y el vandalismo, causando graffitis en la superficie de las esculturas y generando una situación más o menos de abandono en las esculturas. Esto ocasiona la modificación y la pérdida de piezas estructurales de la instalación, afectando al aspecto estético y la idea del artista.

#### *Alteraciones químicas (Véase glosario de alteraciones en Anexo)*

La estructura de la obra nº 1 *Sin título* de Schnwaeeke presenta una corrosión activa. Una de las causas desencadenantes de su estado de conservación se relaciona con las cualidades intrínsecas del material. Debido a su potencial electroquímico el hierro tiende a oxidarse con gran facilidad, persiguiendo recuperar su estado mineral anterior. La corrosión activa genera una pérdida continua de material en la obra, siendo fundamental una correcta actuación para prevenir el deterioro paralizándolo en su justa medida. Las condiciones ambientales y los contaminantes atmosféricos, junto con una humedad relativa elevada, actúan como potenciadores de este tipo de **reacción química** (Fernández, 2003: 282).

Este tipo de alteración se incrementa por los efectos de la lluvia ácida y las tensiones ocasionadas por cambios térmicos que afectan a la estructura del hierro alterando su superficie. La corrosión comienza en la superficie con pequeños alveolos y puede avanzar por la estructura con grietas y laminaciones. De esta forma, los efectos de corrosión no dan lugar a una pátina de protección, sino que forman una capa porosa que actúa de forma absorbente, potenciando la acumulación de humedad y acumulando sustancias contaminantes de la atmósfera, además, favorece los fenómenos electroquímicos de corrosión. Este fenómeno modifica el aspecto del material, cambiándolo de forma evidente y perjudicando a la obra (Angelucci, 2006: 127).

Las esculturas de hierro realizadas mediante ensamblajes por medio de soldaduras autógenas y eléctricas, como es el caso en las obras de estudio, se encuentran entre las más difíciles de conservar. Las soldaduras son focos principales de corrosión, el agua de lluvia y la humedad se asocian con agentes corrosivos que se condensan en las superficies irregulares acumulándose en los huecos con facilidad. Los procesos de corrosión del hierro se aceleran especialmente, activándose (Angelucci, 2006: 126).

La corrosión activa o herrumbre se identifica por una expansión de volumen visible al alterarse el metal, asociándose a escamas, pulverulencia y laminaciones, como las que se aprecian en la base y soldaduras de las esculturas, siendo elementos determinantes que identifican una corrosión activa. Este tipo de corrosión se localiza entre el interior metálico del objeto y su capa exterior de corrosión, siendo indicativo las depresiones en la superficie metálica acompañadas de manchas marrones-negras que presenta la estructura de hierro de la obra nº 1.

Otra forma de corrosión activa se visualiza por manchas de "sudor" o "llanto" de color anaranjado, como las que se aprecia en las soldaduras de la escultura nº 2 *Sin título* de Chafes. Estas son producidas

cuando la humedad relativa del ambiente en la que se encuentra el hierro es alta, superando el 55% (Instituto de Conservación Canadiense, 2014: 1-2).

Tanto la oxidación como la corrosión transforma el metal de forma constante en una serie de productos minerales como óxidos, hidróxidos y cloruros. Estos procesos se originan en huecos y zonas discontinuas donde se alojan los cloruros, formando pilas de aireación diferencial y creando estructuras hojaldradas extremadamente porosas como se observa en la zona en contacto con el suelo de las esculturas y en las soldaduras. Los iones de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) perdidos por el metal forman los primeros óxidos, combinados con iones de cloro ( $\text{Cl}^-$ ) presentes en el entorno, dando como resultado cloruro de hierro ( $\text{FeCl}_2$ / $\text{FeCl}_3$ ) o bien oxiclورو de hierro ( $\text{FeOCl}$ ) (Fernández, 2003: 282).

Por otro lado, la corrosión pasiva que se ha generado en la obra nº 1, y en la escultura nº 3, se percibe en forma de capas de óxidos que proporcionan un cambio de color formadas lentamente sobre los objetos metálicos protegiendo la superficie original del hierro. Estas capas de corrosión proporcionan una pátina de protección que le proporciona estabilidad. La superficie del hierro cuando es estable se muestra compacta y adherente, variando su color entre el negro azulado y el rojizo (Instituto de Conservación Canadiense, 2014: 1-2).

Por otra parte, la escultura policromada, nº 3, presenta una alteración cromática. Esta alteración ha afectado exclusivamente al azul localizado en la zona superior de la obra modificando la superficie a un tono verde. Esta alteración cromática se asocia a los niveles altos de humedad relativa junto con las altas temperaturas de Sevilla, producto del asoleamiento a la que está expuesta la obra al encontrarse en la cuenca del Guadalquivir, soportando 3.000 horas de luz aproximadamente al año.

#### *Alteraciones biológicas (Véase glosario de alteraciones en Anexo)*

La escultura nº 1 presenta líquenes en la zona que se encuentra en contacto con la vegetación adyacente a la obra. Esta **alteración biológica** se origina por las altas temperaturas, humedad elevada y por la presencia de oxígeno. Estos organismos producen sustancias ácidas que pueden provocar alteraciones en la superficie del metal.

El clima general, la insolación, la temperatura y la precipitaciones, condicionan las respuestas de los líquenes, al mismo tiempo de considerarse organismos fotólitos. Posiblemente, hayan proliferado en el hierro debido al lento desarrollo de los líquenes, sin poder sobrevivir sobre sustratos móviles o cambiantes. Además, la existencia de materia orgánica o descompuesta en la base de la escultura posibilita la proliferación de líquenes, favorecidos por factores abióticos como la luz y el pH (Barreno y Pérez-Ortega, 2003: 88).

Por otro lado, las esculturas presentan deyecciones de aves. Estas son muy ácidas y alteran la superficie de la obra, destacando la escultura nº 3 que debido a su localización debajo de un árbol presenta un estado de conservación deficiente por la degradación provocada por las deyecciones de aves. Asimismo, otra alteración biológica de origen animal es la presencia de larvas de insectos observadas en las muestras tomadas con microscopio estereoscópico de 40x. Su presencia es motivada por su ubicación donde las condiciones externas del clima de Sevilla y un espacio rodeado de vegetación favorecen su aparición.

### 2.2.2. Probetas

Las **probetas situadas in situ** han tenido tanto en las zonas protegidas como sin proteger un nivel bajo de corrosión debido al breve periodo de exposición al que han estado sometidas en condiciones análogas a las obras de estudio, no obstante, presentan una mínima corrosión, mostrando una coloración y superficie sin pulverulencia semejante a la que presentan las tres obras de estudio. Las zonas sin protector muestran una corrosión puntual en la superficie y en los extremos, motivada por una reacción electroquímica por la interacción del metal con el medio. Las probetas han sido sometidas a cambios de temperatura, diferentes niveles de humedad relativa, a efectos de la lluvia ácida motivada por los contaminantes atmosféricos que han ocasionado el proceso de corrosión. También ha influido en los niveles de corrosión el contacto de la muestra con el suelo y con la vegetación donde se ubicó la pieza, siendo estas condiciones a las que están sometidas las obras originales.

En cuanto a todas las **probetas realizadas en laboratorio** hemos podido comprobar que presentan una pátina en su superficie producto de una alteración química, transformándose desde la superficie debido al proceso de corrosión que han generado los distintos medios a los que han sido sometidas.

La pátina homogénea de color naranja de las probetas sometidas a **agua de lluvia** es producto de la humedad, la cual funciona como catalizador y en ella se encuentran disueltos los contaminantes atmosféricos y los reactivos, propios de la lluvia ácida que favorecen el proceso de corrosión (Valgañón, 2008: 86). En este caso la obra nº 2 presenta una corrosión activa, en la que se observa una pátina naranja-marrón localizada en las zonas de soldaduras, semejante a la de las probetas, sin embargo, no observamos una igualdad debido al estado avanzado de corrosión que presenta la escultura original. Las muestras experimentales de agua de lluvia también presentan laminación en sus extremos, causada por agentes físicos una vez expuestas al sol, debido a la temperatura y a las radiaciones ultravioletas, lo que provoca la liberación de tensiones superficiales. Esta alteración física se observa también en la obra nº 1.

En relación a los protectivos empleados, el Paraloid B72® al 10% en acetona no nos ha proporcionado un correcto resultado, mientras que el Incral 44® al 10% en tolueno ha protegido al 90% aproximadamente de la zona de aplicación, evitando la laminación en su extremo.

Hemos observado que las probetas sometidas a **distintas concentraciones de sal** (20%, 50% y 100%) presentan una corrosión completamente distinta a la que presenta las muestras sumergidas en agua de lluvia, producto de una reacción electroquímica que ha ocasionado la corrosión. De este modo, componentes como el hierro ha funcionando como ánodo por su tendencia a la pérdida de electrones, mientras que el agua ha actuado como cátodo al combinarse, liberando iones oxidrilos (OH) e hidrógeno (H). Entre estos polos existe una diferencia de potencial lo que provoca que circulen iones y electrones entre ambos. Este efecto se ve favorecido ante la existencia de un electrolito, en este caso, por el cloruro de sodio que ha fomentado un medio iónico conductor, sobretodo en las disoluciones con una mayor concentración salina (Fernández, 2003: 280).

Los niveles de corrosión de las probetas sometidas a distintas concentraciones salinas presentan un nivel de alteración proporcional a la concentración salina, por lo que a una menor concentración presenta un menor nivel de corrosión. Además de la pátina generada por la alteración química muestra cristales salinos depositados en la superficie, encontrando una relación entre el tamaño de los cristales de sal con la concentración salina, a una mayor concentración salina, se localiza cristales de mayor tamaño. En este caso, debido a que las obras de estudio no se encuentran expuestas a un ambiente marino, no presentan

alteraciones similares, sin embargo, observamos en las muestras experimentales in situ, localizadas junto a las esculturas originales, sobre el suelo, una mácula puntual y heterogénea de coloración marrón-amarillenta con la superficie cristalizada, así como en los extremos. Posiblemente esto sea debido a algún componente integrante de la tierra del valle del Guadalquivir, donde se ubican las esculturas de estudio. De esta forma, en los terrenos aluviales de las marismas del Guadalquivir se encuentran suelos enriquecidos en sales solubles y con un pH próximo a 8 (Junta de Andalucía, 2018), que ha podido influir en las alteraciones de las probetas in situ, situadas sobre el suelo.

Con respecto a los protectivos empleados, el Paraloid B72® presenta un resultado medio en la probeta sometida a un 20% de sal, sin embargo, no obtuvimos efectividad en las concentraciones con un porcentaje mayor. El Incral 44® ha tenido un correcto resultado al 20% de concentración salina, un resultado medio en la muestra sometida a un medio acuoso con una concentración salina al 100%, mientras que no hemos obtenido un buen resultado al 50% de concentración salina, presentando una mejor protección la resina acrílica Incral 44® en comparación con el Paraloid B72®.

Destacaríamos lo ocurrido con las probetas sometidas a **agua de mar** que presentan el mayor grado de alteración de las muestras estudiadas. Esto confirma que este medio es un factor condicionante para elevar los niveles de corrosión, influyendo la presencia de microorganismos y la concentración salina que aumenta el índice de corrosión. La temperatura del agua y el oxígeno disuelto son factores a tener en cuenta para evaluar los niveles de corrosión existentes. Ya que el secado de la probeta facilitó la solidificación de cristales de cloruros en la superficie. Además, la pulverulencia que presentan las probetas es debida al medio al que ha sido sometida, mostrándose de forma generalizada a excepción de la zona protegida con Incral 44®. En este caso, no han funcionado ninguno de los dos protectivos evaluados, teniendo un mayor nivel de protección el Incral 44®.

Por último y en relación a los protectivos, el que mejor resultado nos ha mostrado ha sido el Incral 44®, evitando la corrosión en el extremo de la probeta como se observa tanto en las zonas sin protección como la protegida con Paraloid B72®.



### **3. CONCLUSIONES**

---

## CONCLUSIONES

1. Las alteraciones del hierro más comunes en escultura férrea contemporánea expuesta al exterior son producto de una combinación de causas físicas y químicas. Por un lado, las tensiones estructurales del material, junto con la humedad por capilaridad, las fluctuaciones de humedad relativa y las partículas contaminantes del aire incrementan los procesos de corrosión del hierro. Por otro lado, las fluctuaciones de temperatura, las oscilaciones de humedad relativa y un excesivo asoleamiento, condiciones a las que están expuestas las obras de estudio, incrementan la aparición de degradaciones. Las alteraciones principales del hierro es la corrosión, presentándose de forma activa o pasiva. La más común y peligrosa que se ha desarrollado en las obras de estudio es la corrosión activa, la cual genera una pérdida continua de material en la obra, derivando en alteraciones físicas como la laminación. Asimismo, la laminación favorecerá la presencia de humedad, propiciando el avance de la corrosión. En relación a las esculturas de hierro policromadas y expuestas al exterior presentan principalmente alteración cromática y levantamientos del estrato pictórico, ocasionado por un excesivo asoleamiento y altas temperaturas. Por otra parte, las causas biológicas son las menos perjudiciales para las esculturas de hierro, sin embargo, al localizarse al exterior y asociadas a causas físicas y químicas pueden generar cambios estructurales y estéticos.
2. Otro factor determinante en las alteraciones en las esculturas de hierro expuestas al exterior es el agua de lluvia. La probeta sometida a agua de lluvia ha presentado tras su fase de experimentación una pátina semejante a la corrosión que presentan las obras de estudio. Además, la probeta presenta laminación en sus extremos, alteración física que se encuentra puntualmente en los originales, de esta forma, se puede concluir que posiblemente las laminaciones de las esculturas sean provocadas por la lluvia acida, a la que también ha sido sometida la muestra, junto por la presencia de humedad por capilaridad en zonas donde existe laminación en contacto con el suelo. En relación a las probetas in situ no presentan el mismo nivel de corrosión que las probetas de laboratorio, motivado por el poco tiempo que han tenido de exposición, junto con el escaso índice pluviométrico de los días de exposición. Las probetas in situ no presentan una pátina generalizada, sin embargo, si muestran una corrosión puntual de un color pardo, generada por la humedad por capilaridad y por las condiciones climáticas del medio, siendo esta semejante a la localizada en la escultura nº 2. De esta forma, la lluvia contiene partículas de los contaminantes atmosféricos que al entrar en contacto con las superficies metálicas incrementan los niveles de corrosión.
3. En relación a las alteraciones producidas en las probetas de hierro en laboratorio todas presentan una pátina en su superficie, no obstante, las probetas sometidas a mayor concentración salina son las que han presentado un nivel más alto de degradación. Esto es ocasionado por la presencia de cloruro de sodio que funciona como un electrolito, fomentando un medio iónico conductor. Además, la presencia de microorganismos en las concentraciones salinas del agua de mar ha incrementado los niveles de alteración, siendo la probeta más alterada.
4. Finalmente, la protección realizada con Paraloid B72® disuelto al 10% en acetona no obtuvo un resultado adecuado, generando tanto en las probeta sin situ como en laboratorio una pátina de corrosión y sales en su superficie. Posiblemente, se pueda obtener un mejor resultado con una concentración mayor, sin embargo, a una mayor concentración la capa de protección generará más brillo y un mayor grosor, aspecto a considerar en las escultura de hierro contemporánea debido a que modifica el aspecto estético de la obra. Por otro lado, la protección efectuada con la resina acrílica, Incral 44® diluido en tolueno, aportó unos mejores resultados, en la probeta in situ protegió por completo de la corrosión,

mientras que en las probetas en laboratorio, ralentizó la corrosión en un 90%, además, evitó la laminación en las probetas sometidas a agua de lluvia, aspecto que no protegió la resina acrílica Paraloid B72®. En relación a la probeta de agua de mar ninguno de los dos protectivos empleados proporcionaron buenos resultados, posiblemente por ser el medio mas corrosivo al que se han sometido las probetas. De este modo, los mejores resultados se obtuvieron con el protectivo Incral 44®, aunque no realizó una protección completa de la corrosión.

## **4. BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN ELECTRÓNICA**

---

#### 4.1. BIBLIOGRAFÍA

- ANGELUCCI, Sergio, 2006. "Reflexiones sobre la restauración de esculturas de hierro de autores contemporáneos". *Conservar el arte contemporáneo*. San Sebastián: Nerea
- ASHURST, John y ASHURST, Nicola, 1991. *Practical Building Conservation: English Heritage Technical Handbook*, Vol. 4. Inglaterra: Gower Technical Press
- BRIMBLECOMBE, Peter, 2003. *The effects of air pollution on the environment*. Londres: Imperial College Press
- CANEVA, Giulia, NUGARI, Maria Pia y SALVADORI, Ornella, 2007. *La biologia vegetale per i beni culturali*. Florencia: Nardini Editore
- COSTA, Virginia, 2016. "Conservación de patrimonio metálico contemporáneo". En: *BROMEC*, nº. 36, pp. 5
- FERNÁNDEZ, Tania, 1992. *12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea*. Sevilla: Expo 92 Sevilla, p.7
- GÓMEZ MORAL, Francisca, 2004. *Conservación de Metales de Interés Cultural*. Quito: Banco Central de Ecuador
- LLAMAS, Rosario, 2011. *Idea, materia y factores discrepantes en la conservación del arte contemporáneo*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia
- PASCUAL, Eva y PATIÑO, Mireia, 2010. *Restauración de pintura*. Barcelona: Parramón
- ROIG et al, 2006. "Diagnóstico de alteraciones y propuesta de intervención en esculturas de metal contemporáneas". En: *XVI Congreso Internacional de Conservación y Restauración de Bienes Culturales: 2, 3 y 4 de noviembre*. Valencia: UPV, vol. III, pp. 1973
- ROLDÁN, J.C., NÚÑEZ, C. y SOLER, P., 2006. "Doce esculturas. Proyecto de conservación de objetos de arte en espacio público". En: VII Reunión de Arte Contemporáneo. Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, pp. 125-130
- SELWYN, Lyndsie, 2004. *Metals and Corrosion: A Handbook for the Conservation Professional*. Ottawa: Canadian Conservation Institute
- VALGAÑÓN, Violeta, 2008. *Biología aplicada a la conservación y restauración*. Madrid: Síntesis
- VIVANCOS-RAMÓN, M<sup>a</sup>. V., et al, 2015. "Nuevas formulaciones de materiales de relleno multicomponentes empleados en intervención de escultura contemporánea de exterior". En: *ph investigación* , nº 4, pp. 63-75

## 4.2. WEBGRAFÍA

- AKSTEEL, 2019. "Hierro". En: *AKSteel* [en línea] [consulta: 29 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.aksteel.es/productos/armco-hierro-puro/#composicion-quimica>
- ALMUEDO MENA, Zuriñe y MAS-BASRBÈRÀ, Xavier, 2012. "La conservación preventiva de la escultura monumental contemporánea al aire libre. Un problema y un deber de todos". En: *Conservación de Arte Contemporáneo 13ª Jornada* [en línea]. Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, pp. 187-198 [consulta: 29 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.museoreinasofia.es/publicaciones/conservacion-arte-contemporaneo-13a-jornada>
- BARRENO, Eva y PÉREZ-ORTEGA, Sergio, 2003. *Los líquenes y el medio* [en línea]. Asturia: KRK ediciones [consulta: 11 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://www.uv.es/barreno/Medio\\_y\\_bioindicadores.pdf](https://www.uv.es/barreno/Medio_y_bioindicadores.pdf)
- BARRIO MARTÍN, Joaquín, 1992. "El proceso de restauración y conservación de un conjunto de armas de hierro. Aproximación a su estudio tecnológico y cultural". *CuPAUAM* [en línea], nº19, pp.145-177 [consulta: 26 de febrero de 2018]. Disponible en: <https://revistas.uam.es/cupauam/article/viewFile/1332/1305>
- CASTAÑO, J.G. y ARROYAVE, C., 1998. "La funcionalidad de los óxidos de hierro". En: *Revista de metalurgia* [en línea], vol. 34, nº 3, pp. 274-280 [consulta: 7 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/794/805>
- CTS, 2019. "Incral 44". En: *CTS* [en línea], [consulta: 9 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=265>
- CTS, 2019. "Paraloid B72". En: *CTS* [en línea], [consulta: 9 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=24>
- DÍAZ MARTÍNEZ, Soledad y GARCÍA ALONSO, Emma, 2017. "Conservación-restauración del patrimonio cultural metálico por técnicas electroquímicas: investigación y aplicación (CREMEL II)". En: *La Ciencia y el Arte VI* [en línea], [consulta: 29 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/la-ciencia-y-el-arte-vi-ciencias-experimentales-y-conservacion-del-patrimonio/conservacion-restauracion-patrimonio-historico-artistico/21242C>
- DÍAZ MARTÍNEZ, Soledad y GARCÍA ALONSO, Emma, 2011. *Criterios de intervención en materiales metálicos* [en línea] Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte [consulta: 26 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/proyecto-coremans-criterios-de-intervencion-en-materiales-metalicos/conservacion-restauracion/20501C>
- DÍAZ MARTÍNEZ, Soledad y GARCÍA ALONSO, Emma, 2011. *Técnicas meteorológicas aplicadas a la conservación-restauración del Patrimonio Metálico* [en línea] Madrid: Ministerio de Educación, Cultura

y Deporte [consulta: 26 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://es.calameo.com/read/000075335c184bd7c7b68>

FERNÁNDEZ Ibáñez, Carmelo, 2003. *La alteración del hierro por sales. Ayer y Hoy. Problemas y soluciones* [en línea], [consulta: 9 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=759271>

GERENCIA de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, 2012. "Sin Título". En: *Guía de Monumentos de Sevilla* [en línea], [consulta: 26 de febrero de 2019]. Disponible en: [http://sig.urbanismosevilla.org/Sevilla.art/Monumentos/Fichas/Index.aspx?id=TRC\\_023](http://sig.urbanismosevilla.org/Sevilla.art/Monumentos/Fichas/Index.aspx?id=TRC_023)

GERENCIA de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, 2012. "Sin Título". En: *Guía de Monumentos de Sevilla* [en línea], [consulta: 26 de febrero de 2019]. Disponible en: [http://sig.urbanismosevilla.org/Sevilla.art/Monumentos/Fichas/Index.aspx?id=TRC\\_022](http://sig.urbanismosevilla.org/Sevilla.art/Monumentos/Fichas/Index.aspx?id=TRC_022)

GERENCIA de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, 2012. "Under the moon". En: *Guía de Monumentos de Sevilla* [en línea], [consulta: 26 de febrero de 2019]. Disponible en: [http://sig.urbanismosevilla.org/Sevilla.art/Monumentos/Fichas/Index.aspx?id=TRC\\_020](http://sig.urbanismosevilla.org/Sevilla.art/Monumentos/Fichas/Index.aspx?id=TRC_020)

GONZÁLEZ VICARIO, M<sup>a</sup> Teresa, 1997. "La práctica artística des escultor contemporáneo y los materiales". En: *Espacio, Tiempo y Forma* [en línea], n<sup>o</sup>10, pp. 287-311 [consulta: 22 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=bibliuned:ETFSerie7-4FC11E33-3448-F0FD-B45E-9D8F3BDB2AEF&dsID=Documento.pdf>

INSTITUTO de Conservación Canadiense, 2014. *Cómo reconocer la corrosión activa* [en línea], [consulta: 9 de mayo de 2018]. Disponible en: [http://www.cncr.gob.cl/611/articles-52342\\_recurso\\_3.pdf](http://www.cncr.gob.cl/611/articles-52342_recurso_3.pdf)

JUNTA de Andalucía, 2018. "Tipologías de suelos en la comunidad andaluza". *juntadeandalucia.es* [en línea] [consulta: 4 de junio de 2019]. Disponible en: [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Estado\\_Y\\_Calidad\\_De\\_Los\\_Recursos\\_Naturales/Suelo/Criterios\\_pdf/Sevilla.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Estado_Y_Calidad_De_Los_Recursos_Naturales/Suelo/Criterios_pdf/Sevilla.pdf)

JUNTA de Andalucía, 2019. "Informes diarios de calidad del aire". *juntadeandalucia.es* [en línea]. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible [consulta: 11 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46dd59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=7e612e07c3dc4010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=798aa862d17d4310VgnVCM2000000624e50aRCRD>

JUNTA de Andalucía, 2019. "Regiones climáticas de Andalucía". *juntadeandalucia.es* [en línea] . Consejería de Agricultura, Gnadería, Pesca y Desarrollo Sostenible [consulta: 27 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46dd59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=3beae207c1935310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=871e4d0e54345310VgnVCM1000001325e50aRCRD>

JUNTA de Andalucía, 1997. *Programa de mantenimiento de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía* [en línea], [consulta: 10 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/PROGRAMA\\_DE\\_MANTENIMIENTO\\_1996\\_WEB.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/PROGRAMA_DE_MANTENIMIENTO_1996_WEB.pdf)

UNIVERSITAT Politècnica de Valencia, 2019. "Corrosión por picadura". *upv.es* [en línea] [consulta: 4 de junio de 2019]. Disponible en: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12\\_4\\_3.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_3.html)

### 4.3. LISTADO DE IMÁGENES

Figura 1. Meteoblue. 2018. *Temperaturas medias y precipitaciones* [gráfico]. [Consulta: 30 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/sevilla\\_españa\\_2510911](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/sevilla_españa_2510911)

Figura 2. Meteoblue. 2018. *Cielo nublado, sol y días de precipitación* [gráfico]. [Consulta: 30 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/sevilla\\_españa\\_2510911](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/sevilla_españa_2510911)

Figura 3. El legado de la Expo '92, 2015. *12 Esculturas de los países de la Comunidad Europea* [ilustración]. [Consulta: 24 de abril de 2019]. Disponible en: [https://htca3expo92.wordpress.com/2015/05/17/3\\_jardin-de-la-cartuja/](https://htca3expo92.wordpress.com/2015/05/17/3_jardin-de-la-cartuja/)

Figura 4. El legado de la Expo '92, 2015. *12 Esculturas de los países de la Comunidad Europea* [ilustración]. [Consulta: 24 de abril de 2019]. Disponible en: <https://htca3expo92.wordpress.com/2015/04/16/12-esculturas-de-los-paises-de-la-comunidad-europea/>

Figura 5. Tania Fernández, 1992. *12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea* [ilustración]. en: *12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea*. Sevilla: Expo 92 Sevilla, 1992, p. 14

Figura 7. Tania Fernández, 1992. *12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea* [ilustración]. en: *12 Esculturas de los Países de la Comunidad Europea*. Sevilla: Expo 92 Sevilla, 1992, p. 77

Figura 9. El legado de la Expo '92, 2015. *Under che moon* [ilustración]. [Consulta: 24 de abril de 2019]. Disponible en: <https://htca3expo92.wordpress.com/2015/04/16/12-esculturas-de-los-paises-de-la-comunidad-europea/>



## **5. ANEXO**

---

## 5.1. GLOSARIO DE ALTERACIONES EN ESCULTURA CONTEMPORÁNEA DE HIERRO EXPUESTA AL EXTERIOR

### ALTERACIONES FÍSICAS

#### SOPORTE

---

Rotura

---

Laminación

---

Modificación de piezas

---

Pérdida de piezas

---

#### CAPA PICTÓRICA

---

Desgaste

---

Descamación del estrato pictórico

---

Cuarteado

---

Rayado

---

Graffiti

---

Suciedad superficial

---

### ALTERACIONES QUÍMICAS

#### SOPORTE

---

Corrosión activa

---

Corrosión pasiva

---

#### CAPA PICTÓRICA

---

Alteración cromática

---

### ALTERACIONES BIOLÓGICAS

#### SOPORTE (NATURALEZA ANIMAL)

---

Deyecciones de aves

---

Insectos

---




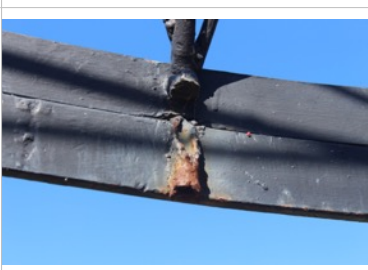
#### SOPORTE (NATURALEZA VEGETAL)

---


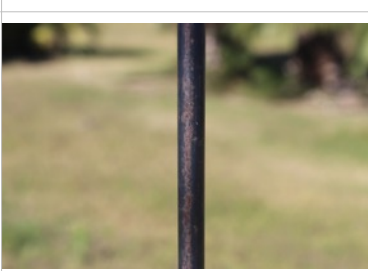
Líquenes

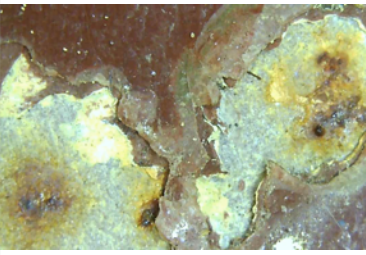

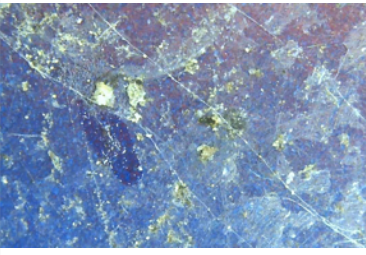

---

## ALTERACIONES FÍSICAS (SOPORTE)

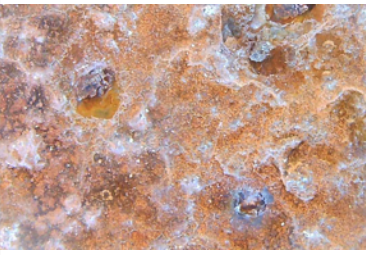

	<p><b>Rotura</b></p>	<p>Fragmentación que ocasiona la separación de un elemento de la obra, producto de una acción mecánica o tensión del soporte.</p>
	<p><b>Laminación</b></p>	<p>Producto de las tensiones estructurales del material, junto con la humedad por capilaridad y los cambios de humedad relativa que han favorecido los procesos de deterioro del material. Esta alteración por causas físicas puede incrementar los procesos de corrosión del hierro al condensarse la humedad sobre la superficie irregular que se crea en la zona.</p>
	<p><b>Modificación de piezas</b></p>	<p>Cambio de la estructura motivado por tensiones del soporte que han ocasionado un cambio estético en la obra en comparación con su estado original.</p>
	<p><b>Pérdida de piezas</b></p>	<p>Desaparición de electos estructurales o estéticos de la obra que provoca un cambio estético en la escultura en comparación con su estado original.</p>

## ALTERACIONES FÍSICAS (CAPA PICTÓRICA)


	<p><b>Suciedad superficial</b></p>	<p>Acumulación de depósitos superficiales de distinto origen y características, procedentes del entorno y motivadas por una falta de mantenimiento.</p>
	<p><b>Desgaste</b></p>	<p>Eliminación o disminución progresiva de la capa superficial motivado por una acción mecánica o por los agentes atmosféricos.</p>

	<b>Descamación del estrato pictórico</b>	Levantamiento del estrato pictórico que puede llegar a su pérdida. Esta alteración es ocasionada por su exposición a la radiación ultravioleta y a las fluctuaciones de temperatura.
	<b>Cuarteado</b>	Ruptura del conjunto pictórico a través de grietas en forma de retículas que se forman en la capa pictórica. Debido a acciones mecánicas producto de las tensiones del soporte o a la exposición de la obra a la radiación ultravioleta y a las fluctuaciones de temperatura.
	<b>Rayado</b>	Alteración provocada por una acción mecánica con un objeto punzante, debido a un acto accidental o intencionado.
	<b>Graffiti</b>	Alteración ocasionada de forma intencionada, producto de un acto vandálico. Esta consiste en una inscripción de trazos que modifica el aspecto estético de la obra.

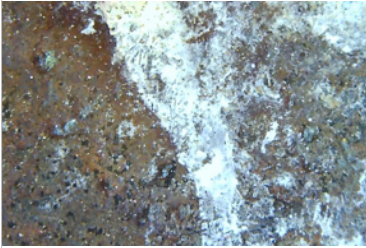

#### ALTERACIONES QUÍMICAS (SOPORTE)

	<b>Corrosión activa</b>	También llamada herrumbre, patología frecuente en esculturas de hierro expuestas al exterior, donde los elementos más electronegativos de la obra ganan electrones, reduciéndose. Mientras que los de menor electronegatividad entregan electrones, lo que provoca la corrosión activa.
	<b>Corrosión pasiva</b>	Reacción química uniforme que genera una capa con capacidad protectora, y al mismo tiempo, con una funcionalidad estética, aplicándose el término pátina.


## ALTERACIONES QUÍMICAS (CAPA PICTORICA)

	<b>Alteración cromática</b>	Alteración de los valores cromáticos de los pigmentos, motivado por agentes externos como la temperatura, la radiación ultravioleta, la contaminación atmosférica o la reacción con ácidos y bases.
---	-----------------------------	---

## ALTERACIONES BIOLÓGICAS (SOPORTE: NATURALEZA ANIMAL)

	<b>Deyecciones de aves</b>	Sustancias que contienen ácidos, produciendo efectos corrosivos sobre estructuras de metal. Sus deyecciones provocan suciedad, así como alteraciones mecánicas y estéticas.
	<b>Insectos</b>	Agente biológico que ocasiona daños físicos, mecánicos y alteraciones cromáticas. Su presencia está vinculada a obras expuestas al exterior y rodeadas de vegetación, favoreciendo su desarrollo la existencia de temperaturas elevadas, así como, las situaciones de abandono.

## ALTERACIONES BIOLÓGICAS (SOPORTE: NATURALEZA VEGETAL)

	<b>Líquenes</b>	Atacan superficies húmedas, prefiriendo superficies rugosas que retienen más la humedad, produciendo alteraciones mecánicas y químicas, al producir ácidos en su metabolismo, que corroe los materiales. Los líquenes se clasifican en: <ul style="list-style-type: none"><li>• Foliáceos</li><li>• Crustáceos</li><li>• Fruticulosos</li><li>• Compuestos</li></ul>
---	-----------------	--