

# TFG

---

## ESTUDIO HISTÓRICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DE UNA PESA PERTENECIENTE A UN RELOJ DE LA EDAD MODERNA

Presentado por María Estevan Ortín  
Tutor: Montserrat Lastrás Perez

Facultat de Belles Arts de Sant Carles  
Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales  
Curso 2019-2020



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio técnico y una propuesta de intervención a una pesa de hierro perteneciente a un reloj *foliot* de la Edad Moderna procedente del Museo Arqueológico de Villena. La pieza fue extraída del Paseo Chapi de Villena (Alicante) durante la realización de las obras de remodelación en 2009, en el lugar donde se encontraba en el pasado un Convento de la orden “Franciscanos Descalzos”.

Se estima que la pesa perteneció a un reloj fabricado por alguna de las escuelas relojeras villenenses vigentes y con gran renombre en el siglo XVIII. Se sabe bien poco de estos talleres, y no se tiene constancia de muchos ejemplares pertenecientes a la escuela, por lo que posee un auténtico valor significativo.

Por consiguiente, se procede a un estudio bibliográfico en diversas fuentes primarias, secundarias y terciarias, contextualizando históricamente la pieza. Así como un análisis técnico, para comprender la funcionalidad y la vida pasada de la pieza. Posteriormente, se presenta una propuesta de intervención analizando las patologías presentes y determinando cual es la intervención adecuada según su estado de conservación y el diagnóstico previamente elaborado.

Por último, se presenta una serie de medidas de conservación preventiva para asegurar la longevidad de la obra y difundir la importancia de los objetos arqueológicos en la sociedad.

## PALABRAS CLAVE

Pesa, *foliot*, hierro, Edad Moderna, escuela relojera villenense, Villena, corrosión, conservación y restauración.

## RESUM

En el present treball es realitza un estudi i proposta d'intervenció a un pes de ferro pertanyent a un rellotge foliot de l'Edat Moderna procedent del Museu Arqueològic de Villena. La peça va ser extreta del Passeig Chapi de Villena (Alacant) durant la realització de les obres de remodelació en 2009, en el lloc on es trobava en el passat un Convent de l'orde “Franciscans Descalços”.

S'estima que la pes va pertànyer a un rellotge fabricat per alguna de les escoles rellotgeres villenenses vigents i amb gran renom en el segle XVIII. Se sap ben poc d'estos tallers, i no es té constància de molts exemplars pertanyents per la qual cosa posseïx un autèntic valor significatiu.

Per consegüent, es procedeix a un estudi bibliogràfic y tècnic en diverses fonts primàries, secundàries i terciàries, contextualitzant històricament y per a comprendre la funcionalitat i la vida passada de la peça. Posteriorment, es

presenta una proposta d'intervenció analitzant les patologies presents i determinant la intervenció adequada segons el seu estat de conservació.

Finalment, es presenta una sèrie de mesures de conservació preventiva per a assegurar la longevitat de l'obra, i difondre la importància dels objectes arqueològics en la societat.

## PARAULES CLAU

Pes, foliot, ferro, Edat Moderna, escola de rajoleria villenense, Villena, corrosió, conservació i restauració.

## ABSTRACT

The present project develops a technical study and intervention proposal of an iron clock weight belonging to a foliot clock of Modern Edge coming from the Archaeological Museum of Villena. The piece was discovered in "Paseo Chapi" Villena, Alicante (Spain) during the remodelling job in 2009, where in the past there was a convent of "Discalced Franciscans".

It is estimated that the weight belonged to a clock made by villena's clockmaking schools which had a great reputation in the eighteenth century. Just a bit is known about these clockmaking, and there are only a few specimens, so it has a truly significant value.

Therefore, the bibliographic study is researched in primary, secondary and tertiary sources, situating the piece in a historical context. As well as a technical analysis, to understand the piece's functionality and past. Then, the intervention proposal is presented, analysing the present pathologies and select which is the most appropriate intervention.

Finally, is develop a project of preventive conservation to assure the piece is stable over time and to spread how much is important to conserve archaeological objects for the society.

## KEY WORDS

Weight, *foliot*, iron, Modern Age, villena's clockmaking school, Villena, corrosion, conservation and restoration.

## AGRADECIMIENTOS

En esta etapa que nos ha tocado vivir (covid-19), toca agradecer a toda esa gente que ha estado a mi lado dando ánimos para este proyecto, y me han ayudado tanto a seguir adelante en esta situación.

Agradecer a mis compañeros de clase de los que he aprendido mucho y que se han convertido en grandes amigos para mí, este trabajo no hubiera sido posible sin ellos.

A mi madre por ese gran apoyo y darme la confianza suficiente para alcanzar mis metas y proyectos. Y como no, a mi familia que me ha tenido que soportar durante todo este proceso.

Por supuesto, a mi tutora Montse por ayudarme y darme la oportunidad de realizar este proyecto con una profesional como ella.

Por último, agradecer a Laura Hernández Alcaraz y al Museo Arqueológico Municipal de Villena, por toda la información y ayuda que he recibido, y por supuesto por permitirme desarrollar este trabajo sobre esta pieza.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	7
2.	OBJETIVOS.....	8
3.	METODOLOGÍA .....	8
4.	CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA.....	9
4.1.	RELOJ TIPO FOLIOT .....	9
4.2.	ESCUELA RELOJERA VILLENENSE .....	10
4.3.	CONVENTO SAN FRANCISCO .....	10
5.	PESA DE RELOJ FOLIOT.....	12
5.1.	DOCUMENTACION FOTOGRÁFICA.....	12
5.2.	ESTUDIOS TÉCNICOS .....	13
5.3.	PESA .....	15
5.4.	RELOJES VILLENENSES.....	16
6.	EL HIERRO .....	17
6.1.	HISTORIA Y USOS .....	17
6.1.1.	SIDERURGIA EN LA EDAD MODERNA.....	18
6.2.	ESTRUCTURA FÍSICO-QUÍMICA .....	19
6.2.1.	HIERRO .....	20
7.	ESTADO DE CONSERVACIÓN .....	21
7.1.	CORROSIÓN DEL METAL .....	21
7.2.	MAPAS DE DAÑOS .....	27
7.3.	PATOLOGÍAS Y DIAGNÓSTICO.....	29
8.	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	32
8.1.	ANÁLISIS PREVIOS.....	32
8.2.	PROCESO DE INTERVENCIÓN .....	34
8.2.1.	CONSOLIDACIÓN PREVIA .....	34
8.2.2.	LIMPIEZA.....	34
8.2.3.	NEUTRALIZACIÓN DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS Y SECADO .....	37
8.2.4.	INHIBICIÓN.....	38
8.2.5.	PROTECCIÓN .....	38
9.	MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN PREVENTIVA.....	40
10.	CONCLUSIÓN .....	42
	BIBLIOGRAFÍA .....	43

ÍNDICE DE IMÁGENES .....	45
ÍNDICE DE TABLAS.....	47

## 1. INTRODUCCIÓN

La medida del tiempo hoy en día es un factor importante para la sociedad y determina la forma en que se vive y se convive. Así como, una ciencia para comprender el mundo y su funcionamiento. Desde las primeras manifestaciones a lo que se conoce actualmente, se ha evolucionado para lograr medir el tiempo con completa exactitud.

Del mismo modo, los materiales y piezas que constituían los primeros relojes fueron evolucionando conforme la sociedad avanzaba en tecnología a lo largo del tiempo. Influida por los grandes logros y etapas de la evolución.

La pieza objeto de estudio, una pesa reloj *foliot* (Fig. 1 y 2), ha sido participe de esa evolución en la maquinaria de relojería, así como de los procesos de siderurgia. Tomando parte también en la historia del pueblo de Villena y la escuela de relojería villenese, donde se estima que fue fabricada.

Con este trabajo final de grado, se pretende dar importancia a estas manifestaciones históricas mediante su preservación y conservación, realizando un estudio histórico y planteando una propuesta de intervención.

En este caso la pieza formada de hierro fue encontrada bajo tierra, por lo que su naturaleza como metal arqueológico ha repercutido en su estado de conservación, siendo muy susceptible a ambientes exteriores y a la manipulación.

Para el desarrollo de este proyecto se han establecido diferentes estudios, histórico y técnico, expuestos en los primeros puntos, en los que la pieza se ha situado en un contexto histórico y morfológico, gracias a la investigación mediante documentación bibliográfica y en línea. A partir de los estudios, se elaboró un diagnóstico del estado de conservación en el que la pieza se encontraba, identificando las patologías y los daños presentes.

En base al diagnóstico se planteó una propuesta de intervención, basada en una consolidación previa, dos tipos de limpieza, una inhibición y finalmente, su protección.

En el último punto de conservación preventiva se establece una serie de criterios para asegurar su mantenimiento y protección posteriores, basados en un sistema de almacenaje, manipulación y exposición.



Figura 1. Vista frontal I de un lado de la pesa.



Figura 2. Vista frontal III de un lado de la pesa.

## 2. OBJETIVOS

A continuación, se exponen los objetivos establecidos a seguir en el presente proyecto para ejecutar un estudio histórico y propuesta de intervención de una pesa de hierro.

Los objetivos principales:

- Contextualizar la pieza y conocer su funcionamiento.
- Determinar la correcta intervención en base al estado de conservación.

Por otro lado, los objetivos secundarios:

- Hacer uso de recursos primarios, secundarios y terciarios, con el fin del estudio del objeto tanto histórico como técnico.
- Conocer el proceso de obtención del hierro, así como su naturaleza química.
- Entender los procesos y patologías que afectan al hierro arqueológico terrestre.
- Elaborar una propuesta de conservación preventiva.

## 3. METODOLOGÍA

La metodología a seguir para alcanzar los objetivos expuestos previamente ha sido la siguiente:

- Búsqueda y recopilación de fuentes tanto escritas como fuentes online.
- Elaboración de un estudio descriptivo de los aspectos técnicos que conforman la obra.
- Estudio fotográfico y técnico de la obra a través de fotografías generales y de detalle.
- Estudio de la naturaleza del hierro y sus patologías.
- Estado de conservación de la pieza y elaboración de un diagrama de patologías.
- Exposición e importancia de los análisis previos.
- Propuesta del proceso de intervención partiendo de una hipótesis, ya que no ha sido posible realizar la toma y análisis de muestras que sustenten los procesos planteados.
- Propuesta de conservación preventiva.

## 4. CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA

Desde tiempos atrás, los seres humanos han tenido la necesidad de medir el tiempo, resultando en un estudio constante y evolutivo en todos los pueblos y etapas de la historia<sup>1</sup>. Contribuyendo al desarrollo del conocimiento de la propia vida y la evolución del mundo que les rodeaba.

La necesidad de medir el tiempo comenzó con el asentamiento de los pueblos en un territorio, donde su principal fuente eran las cosechas y el ganado, por lo que surgió una preocupación por conservar y regular los recursos. Para ello contemplaban el Sol, la Luna, las migraciones de las aves y los acontecimientos naturales cíclicos para cuantificar el paso del tiempo<sup>2</sup>.

Los primeros relojes se inventaron en el Antiguo Egipto, llamados relojes de sol. Siglos más tarde, se concebían los relojes de agua o Clepsidras, con lo que podían medir el tiempo entrada la noche<sup>3</sup>. Por otro lado, los relojes de arena y los de aceite no datan de una fecha o época exacta, lo que conlleva a que pudieran ser creados posteriormente a los anteriores.

En la Baja Edad Media, surgieron en el siglo XIV los primeros relojes mecánicos de la historia, estos relojes estaban accionados por pesas<sup>4</sup>. A medida que avanzaban los siglos, se introducían nuevos avances científicos que les concebían de una mayor precisión, así como surgían distintos tipos de reloj usados como relojes de salón o relojes en torres y campanarios.

La aparición de los relojes electrónicos en el siglo XX, revoluciona la forma de medir el tiempo de un modo más preciso al que nunca antes se había logrado, evolucionando hasta lo que se conoce en el presente.

### 4.1. RELOJ TIPO FOLIOT

Procedente del francés, *faire le fou* (hacer el loco), conforma el regulador de marcha de los primeros relojes mecánicos. Fue creado hacia el siglo XIII, y su funcionamiento se basaba en la energía potencial que los contrapesos ejercían. Da el nombre a los primeros relojes mecánicos, que también están compuestos por una pieza anteriormente conocida, la rueda catalina con forma de corona de diente de sierra que recordaba al martirio de Santa Catalina y un escape (eje horizontal del reloj), como se observa en la *figura 1*. Es el escape más antiguo que se conoce, y su descubrimiento supuso un antes y después en la mecánica del tiempo<sup>5</sup>.

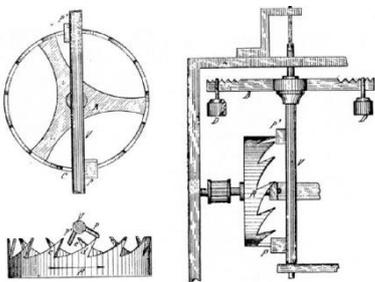


Figura 1. Dibujo de las partes que conforman un reloj foliot.

<sup>1</sup> BASTÚS, F. (1864) *Manual del relojero*. p. 1.

<sup>2</sup> MERINO DE LA FUENTE, J. y MERINO DE LA FUENTE, R. (2020) *La medida del tiempo I: Relojes clásicos*. p. 11.

<sup>3</sup> *Ibid.*

<sup>4</sup> *Ibid.*

<sup>5</sup> *Ibid.*, p. 13.

La precisión de estos relojes no era muy buena, variaba una media hora al día, pero su fabricación permaneció varios siglos vigente. En el siglo XVII, nacieron los primeros péndulos, sustituyendo al oscilador foilot, pero con la misma mecánica mediante la rueda, lo que permitía sustituir el sistema fácilmente, este fenómeno aumento la precisión de los relojes, pero supuso una desaparición de los relojes foliot originales.

## 4.2. ESCUELA RELOJERA VILLENENSE

En el 1981, José María Soler dio a conocer la existencia de dos talleres de relojería en el siglo XVIII, por medio de una publicación (Soler, 1981). El descubrimiento de estos talleres sacó a la luz algunos ejemplares de relojes de torre y de sala, acreditados a otros movimientos y talleres de la época.

Se estima que los talleres de relojería llegaron a tener un gran reconocimiento, dado su excelente factura y precisión de maquinaria utilizada, adornado las casas de grandes burgueses e importantes torres por los territorios de España, llegando a aparecer en otros países algunos ejemplares muy parecidos a la fabricación característica de los talleres villenenses.

En el primer tercio del siglo XIX, estos talleres desaparecieron, dejando atrás una gran maestría, hasta tiempo después, desconocida en la historia de Villena<sup>6</sup>.

## 4.3. CONVENTO SAN FRANCISCO

En 2006 en Villena, se descubrieron los restos de un antiguo convento, en el que se encontraron varios objetos arqueológicos pertenecientes al pasado del convento. Uno de los objetos, fue la pieza de estudio que se encontró oculta junto a varios objetos. Rápidamente la relacionaron con un reloj doméstico perteneciente y fabricado lo más posiblemente por la escuela de artesanos relojeros villenenses<sup>7</sup>.

La historia comenzó en 1563 cuando los monjes provenientes de la orden religiosa “Los Franciscanos Descalzos Alcantarinos” de la provincia de San Juan Bautista de Valencia llegan a Villena, instalándose en una ermita llamada Santa Ana<sup>8</sup>.

Años más tarde, en 1589, se ven obligados a trasladarse a un nuevo Convento dedicado a San Francisco, construido en la calle de entonces llamada El Hospital, cuyo banal había sido adquirido por los Franciscanos. La ubicación del Convento a San Francisco se puede observar en un grabado de la ciudad de Villena en 1778 (fig. 2).

---

<sup>6</sup> HERNANDEZ, L. GARCÍA, J. Y ROSILLO, V. (2017) *Recuperación de un reloj de la escuela relojera de Villena para el Museo Arqueológico José María Soler*. p. 62.

<sup>7</sup> GALINDO MATEO, I. (2011) *Sancho García de Medina y el arcedianato de Villena*, p. 372.

<sup>8</sup> *Ibíd.*, p. 208.



Figura 2. Grabado de la ciudad de Villena (1778) realizado por Juan Fernando Palomino.

En el siglo XVIII, donde se sitúa la pieza, el Convento se convierte en la sede de nueve conventos repartidos por las diferentes provincias, lo que da una bonanza económica para realizar ciertos cambios influidos por el movimiento Barroco.

La situación cambia en 1836, pues debido a la ley de desamortización de Mendizábal varios cleros pertenecientes a la orden son desamortizados. Hasta que, dado a la ley y varios conflictos anteriores, el Convento es cedido al Ayuntamiento en 1865. Posteriormente, se utilizó para varios proyectos que no se llevaron a cabo, a causa del mal estado en el que se encontraba.

En la década de 1870 es derruido y el Ayuntamiento saca a subasta pública los escombros provenientes del Convento en 1881. Finalmente, las autoridades deciden transformar todo el solar en un paseo público con jardines<sup>9</sup>.

Así pues, no es hasta 2009, en el que se realiza un proyecto de urbanización y ordenación del Paseo Chapí, que se hallan unos restos óseos humanos en el sur de jardín. Poco más tarde, se determinó que los restos hallados provenían del Convento de San Francisco.

<sup>9</sup> *Ibíd.*, p.352.

## 5. PESA DE RELOJ FOLIOT

### 5.1. DOCUMENTACION FOTOGRAFICA



Figura 5. Vista frontal I de un lado de la pesa.



Figura 6. Vista frontal II de un lado de la pesa.



Figura 7. Vista frontal III de un lado de la pesa.



Figura 8. Vista frontal IV de un lado de la pesa.

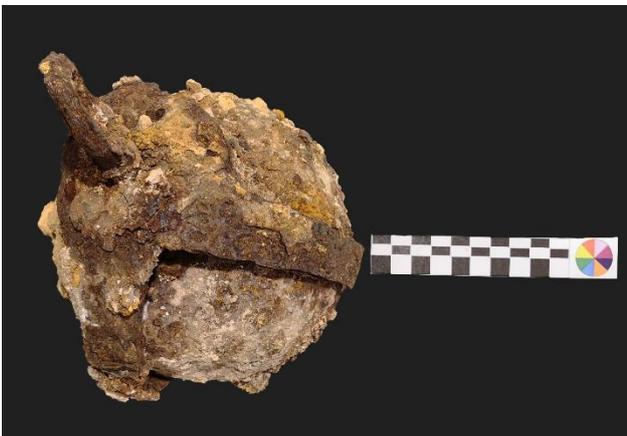


Figura 9. Vista cenital de la parte superior de la pesa.



Figura 10. Vista frontal de la base de la pesa.

## 5.2. ESTUDIOS TÉCNICOS

### FICHA TÉCNICA

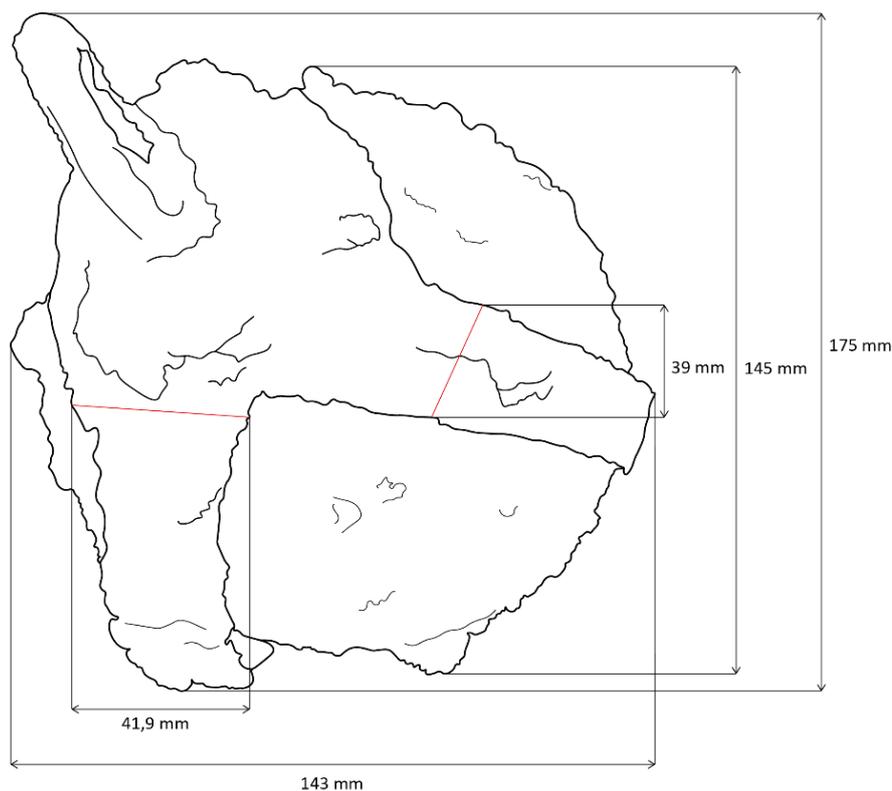
#### PROCEDENCIA DE LA PIEZA

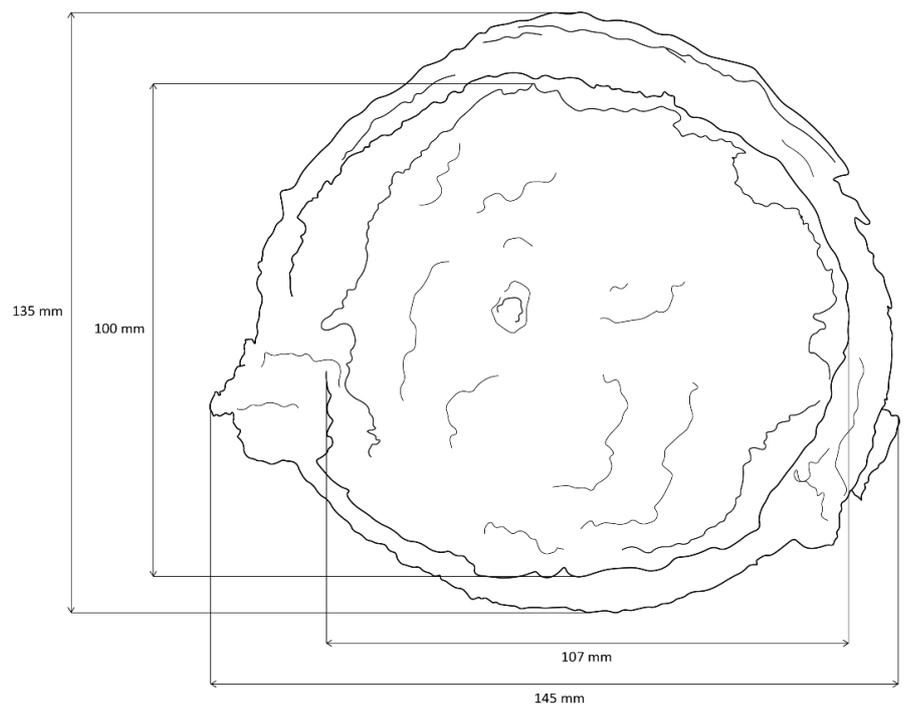
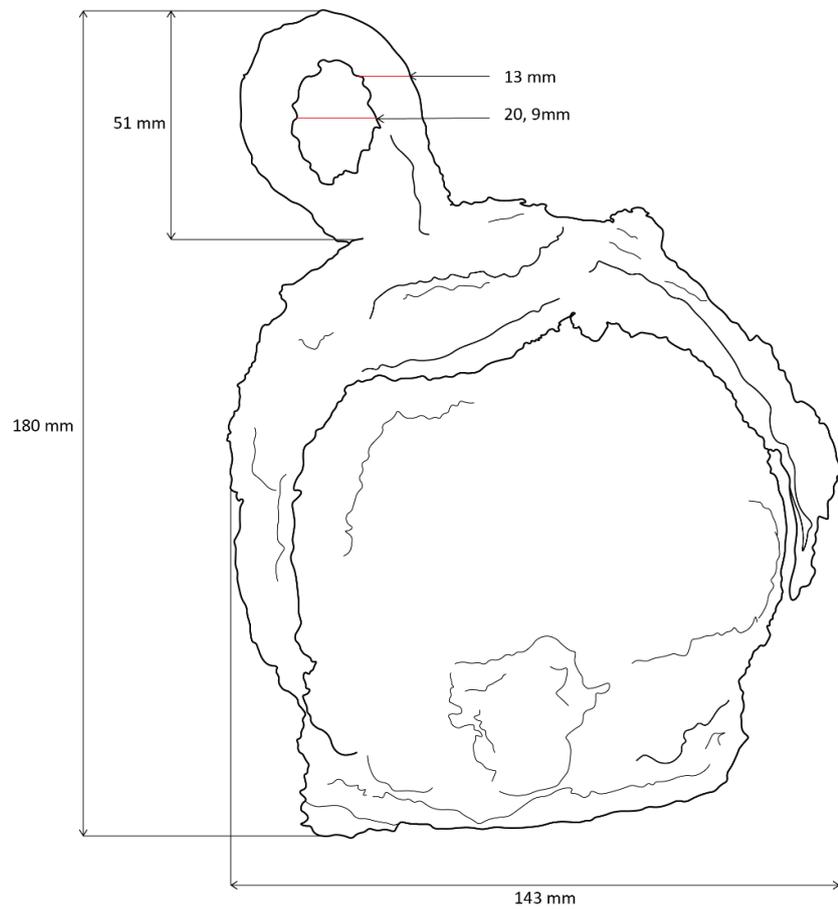
<b>Objeto</b>	Pesa de hierro arqueológica
<b>Procedencia</b>	Yacimiento en las obras del Paseo Chapí (Villena) en 2009
<b>Localización</b>	Museo Arqueológico de Villena
<b>Cronología</b>	Siglo XVIII (Edad moderna)

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PIEZA

<b>Tipología</b>	Pesa perteneciente a un reloj <i>foliot</i>	
<b>Dimensiones</b>	Alto	180 mm
	Ancho	143 mm
<b>Peso</b>	12 Kg	
<b>Material</b>	Hierro	
<b>Técnica</b>	Forjado	
<b>Color</b>	Rojizo oscuro, gris y ocre	
<b>Intervenciones anteriores</b>	No	

### DIBUJO TÉCNICO DE LA PIEZA





### 5.3. PESA

La pieza de estudio ha sido utilizada como motor de impulso desde la invención de los primeros relojes mecánicos. Dando nombre al conocido sistema de pesas, el cual se basaba en un peso amarrado a una cuerda que se enrollaba por el otro extremo a una pieza giratoria; el peso descendía, desenrollando la cuerda y haciendo girar la pieza giratoria<sup>10</sup>.

En el reloj *foliot*, la pesa accionaba la rueda Catalina, cuyos dientes estaban dispuestos en forma perpendicular al diámetro de esta. Un eje horizontal (escape) era engranado a los dientes de la rueda regulando su movimiento mediante dos láminas llamadas “paletas” dispuestas sobre el mismo. Esta palanqueta tenía la función de oscilación, a merced del impulso de los dientes de la rueda Catalina. La duración de la oscilación, es decir, del escape, se regulaba mediante una pesa deslizante fija en cada paleta de la palanqueta. En la siguiente imagen (fig. 11), se observa el funcionamiento de las diferentes partes que conforman el reloj *foliot*, denominando en el esquema al escape balancín.

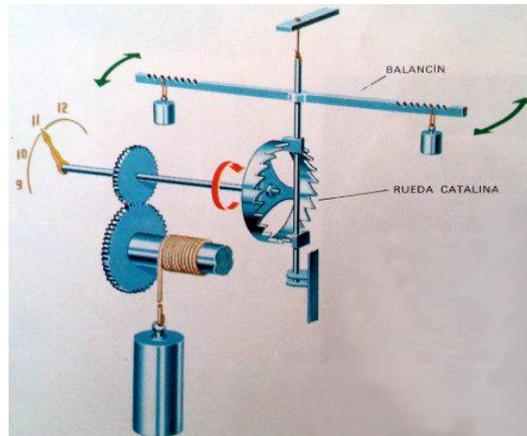


Figura 11. Dibujo de las partes que conforman el mecanismo interno de un reloj foliot con sistema de escape.

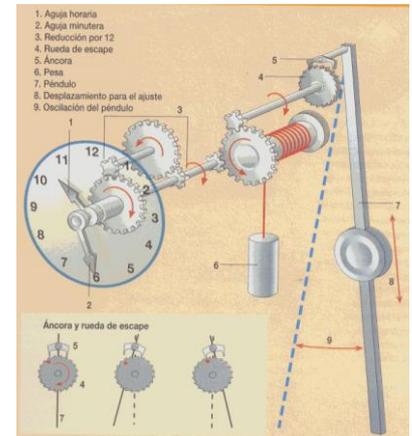


Figura 12. Dibujo de las partes que conforman el mecanismo de un reloj foliot con sistema de péndulo.

Más tarde, aparecieron otros mecanismos sustituyendo al sistema de escape, por otros que generarán una mayor exactitud como el péndulo (fig. 12). Pero la pesa seguía como principal elemento de energía y empuje en el sistema del péndulo, basado en el descenso de la pesa que movía la rueda, por lo que una vez la cuerda llegaba a su límite se debía a volver a dar cuerda. Poco después del siglo XVI apareció el resorte espiral sustituyendo el sistema anterior, lo que dio un nuevo impulso a la relojería<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> MERINO DE LA FUENTE, J. y MERINO DE LA FUENTE, R. (2020) *op.cit.* p. 11.

<sup>11</sup> RESTAURANTE BELTRANE. (2012) *El invento del reloj*. [en línea] [Consulta: 30-05-2020]

Disponibile en: <https://restaurantebeltane.wordpress.com/2012/11/03/el-invento-del-reloj/>

#### 5.4. RELOJES VILLENENSES

No se sabe con certeza el autor o autores de esta pieza, pero se cree que fue fabricada en una de las dos escuelas villenenses de relojería que se encontraban presentes en Villena en el S.XVIII. Las escuelas estaban al mando de López Osorio y Pedro Navarro, quienes previamente habían trabajado juntos.

En 1711, Francisco López Osorio fue el artífice del reloj de la torre Orejón (fig. 13), famosa en la ciudad de Villena hasta el derribo de la torre y la desaparición del reloj. Posteriormente, la tipología de la torre del Orejón influyó en la fabricación y diseño de los futuros relojes de sala<sup>12</sup>.

En algunos relojes o sitios importantes de la época, se han encontrado la marca en forma de firma de Pedro Navarro (fig. 14), quien rigió grandes proyectos de relojería en la ciudad de Villena y alrededores.

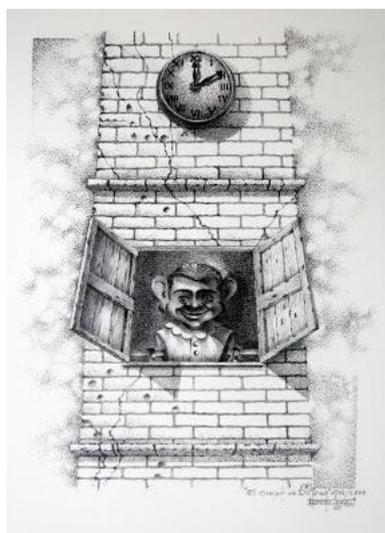


Figura 13. Documento gráfico de la torre del Orejón.

M. Pedro Navarro,  
AÑO 1780.  
a 9d Febrero

Figura 14. Inscripción encontrada en la iglesia de Nuestra Señora de la Asunción de Sax.

Actualmente se tiene constancia de algunos de los relojes de sala fabricados en Villena, que dan una idea de la función que conformaba la pieza de estudio, así como la artesanía que desprendían estas escuelas villenenses.

Un ejemplo cercano, es el reloj cedido al museo de Villena en 2012 (fig. 15), en él se observa el diseño influido por la torre del Orejón. La figura superior golpea la campana, y la cara del Orejón, situada más abajo, mueve los ojos y saca la lengua al dar las horas. Este reloj se rige por un sistema de péndulo y activado por dos contrapesos localizados en el inferior de la vitrina, la cuerda es tensada por el otro extremo mediante otro contrapeso más pequeño<sup>13</sup>. Otro ejemplo perteneciente a la escuela es el reloj de sala se encuentra expuesto en el Museo de Santa Cruz de Toledo, en este se recubre la parte inferior en forma de caja, decorada con calcomanías, donde se encuentra en el interior la pesa.



Figura 15. Reloj de sala expuesto tras su restauración en el Museo Arqueológico de Villena.

<sup>12</sup> SOLER, J.M. (1881) *La escuela Villenense de relojería*. Villena cuéntame [en línea] [Consulta: 08-03-2020] Disponible en: <http://www.villenacuentame.com/2018/05/1981-la-escuela-villenense-de-relojeria.html>

<sup>13</sup> HERNANDEZ, L. GARCÍA, J. Y ROSILLO, V. (2017) *op.cit.* pp. 63-64.

## 6. EL HIERRO

Es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. Así como uno de los más usados. Su producción ocasionó una serie de cambios importantes, dando nombre a una época de la Prehistoria, la Edad del Hierro.

### 6.1. HISTORIA Y USOS

El descubrimiento y producción del hierro no fue concebido en la misma época en todas las culturas y regiones. Siendo las primeras manifestaciones en Oriente Próximo en el siglo XII a.C. Sin embargo, en la que se conoce como Edad del Bronce, ya se conocía el mineral de hierro en forma de hierro meteórico que como su propio nombre indica, provenía de los meteoritos.

Por consiguiente, el comienzo de la Edad de Hierro es diferente según la zona como se observa en la imagen (fig. 16). En Europa, entra durante el primer milenio a.C. por el occidente mediterráneo, primero por Grecia, posteriormente por la península itálica extendiéndose por la Europa central y demás territorio. Esta época además de suponer el final de la era de los metales y el final de la prehistoria, fue un avance en la metalurgia dado a su complejidad técnica en comparación a las técnicas de trabajo de otros metales<sup>14</sup>.

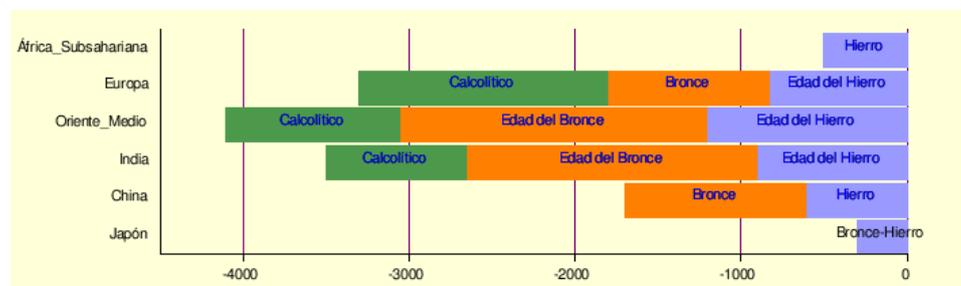


Figura 16. Línea del tiempo de la Edad de los Metales en diferentes territorios.

La principal razón de la tardanza del hallazgo del hierro se debe a la técnica de trabajado, dado su alto punto de fusión (1.537 °C). Esto supuso el desarrollo de la siderurgia<sup>15</sup>, en forma de una búsqueda por encontrar combustibles que dotaran de una alta capacidad calorífica para su reducción, generalmente se utilizó el carbón vegetal. En hoyos en la tierra, el mineral extraído directamente se reducía creando una masa de hierro con impurezas. Más tarde, en Nigeria (África) hacia el siglo XI a.C. se desarrolló la técnica de lo que se conoce como fundición y forjado<sup>16</sup>.

<sup>14</sup> I PERICOT, J. M. F., Y LORENZO, J. N. (2012). *Introducción a la prehistoria: la evolución de la cultura humana*. pp. 198-199.

<sup>15</sup> "Metalurgia del hierro, del acero, de la fundición y de las aleaciones férricas." (RAE, 2019).

<sup>16</sup> MILLER, D.E. Y VAN DER MERWE, N. J. (1994). Early metal working in sub-Saharan Africa: a review of recent research. *The Journal of African History*, vol. 35 pp. 1-36.



Figura 17. Cuchillo de hierro perteneciente a la Edad del Hierro. Museo de Prehistoria de Valencia. Encontrado en Moqente (Valencia).

Más tarde, se crearon los hornos que fueron evolucionando, incluyendo mecanismos para retener el calor e incrementar las temperaturas, aunque sin ningún resultado que llegara al punto de fusión alto que poseía el hierro. Incluso con la invención del fuelle<sup>17</sup>, no se lograban las temperaturas idóneas para su fundición. Años después, en la Edad Media, tras nuevos mecanismos, materiales y la invención de los altos hornos, fue cuando se introdujo en los hornos el aire a presión, alcanzando temperaturas altas y reduciendo el metal para eliminar impurezas. A finales del siglo XVIII, se logró alcanzar la temperatura de fusión y poner en uso el hierro fundido.

El descubrimiento del hierro también supuso una nueva revolución económica, gracias al instrumental agrario que daba una mayor efectividad y producción<sup>18</sup>. Por otro lado, su aparición significó un descenso importante en la producción de cobre y bronce, dado a la gran cantidad de hierro presente en la Tierra.

Gracias a la rigidez y dureza se empleó también para la elaboración de armas como cuchillos (fig. 17), espadas, puntas de lanza, armaduras y cascos. En cuanto a la agricultura se crearon las puntas de arado, hachas y picos (fig. 18), permitiendo el trabajo en tierras duras y con mucha vegetación.

La Edad de Hierro, contribuyó al avance en muchos aspectos dentro de las civilizaciones lo que influyó directamente en la evolución del ser humano como sociedad.

### 6.1.1. SIDERURGIA EN LA EDAD MODERNA

Como se ha expuesto previamente la siderurgia estuvo en proceso de desarrollo durante las distintas épocas, marcando importantes cambios en la historia. La pieza objeto de estudio se sitúa en el siglo XVIII, en la Edad moderna española, donde la fundición del hierro tardó en llegar en comparación al resto de Europa<sup>19</sup>.

Entre los siglos XVII y XVIII, se seguía utilizando el carbón vegetal como combustible, obtenido de bosques. Los procesos de metalurgia del hierro consistían en los bajos hornos y el fuelle<sup>20</sup>.

En los hornos no se alcanzaba la temperatura de fundición total, por lo que tenía lugar la llamada "carburación". Consistía en el mineral de hierro calentado, el cual se ablandaba y se reducía en los hornos; el metal se forjaba

<sup>17</sup> Innovación en los hornos primitivos que consistía en elevar la altura y aislar las paredes para una mayor oxigenación.

<sup>18</sup> I PERICOT, J. M. F., & LORENZO, J. N. *op.cit.* pp.199-200.

<sup>19</sup> ALCALÁ-ZAMORA, J. N. (1999) Altos hornos y poder naval en la España de la Edad Moderna. pp. 23-24.

<sup>20</sup> *Ibid.*, p. 24.

repetidamente expulsando y eliminando la escoria, y dando la forma que se deseaba<sup>21</sup>.

## 6.2. ESTRUCTURA FÍSICO-QUÍMICA

Como todos los metales la estructura molecular del hierro es cristalina en estado sólido, y los átomos que la forman están unidos por enlaces metálicos.

La unión metálica se presenta entre átomos metálicos, donde los electrones de valencia<sup>22</sup> (e-) son un número pequeño, al cederlos los átomos metálicos se transforman en iones positivos. De modo que las propiedades estarán determinadas por esa unión metálica que definen únicamente a los metales. La unión entre los dos átomos tiene lugar entre electrones con electronegatividad baja o igual, estos electrones se encuentran muy deslocalizados, confiriendo a la estructura gran movilidad y otorgándole una energía casi continua, proporcionando propiedades como la conductividad térmica y eléctrica, ductilidad, brillo metálico y maleabilidad<sup>23</sup>.

En estas uniones se pueden asociar átomos no metálicos convirtiendo el metal puro en aleación, por ejemplo, el hierro combinación con el carbono durante los procesos de obtención, forma una aleación conocida como el acero.

Según sea el tipo de enlace metálico las propiedades variarán, en algunos metales la conductividad será más elevada, a causa de su estructura de electrones muy libres que conciben movimiento en la estructura cristalina que forman<sup>24</sup>.

La estructura cristalina es la formación de los enlaces metálicos en una estructura geométrica ordenada y simétrica, los electrones desprendidos forman el *mar de electrones*<sup>25</sup> que envuelve y se interpone entre los iones positivos ordenados<sup>26</sup> (fig. 19).

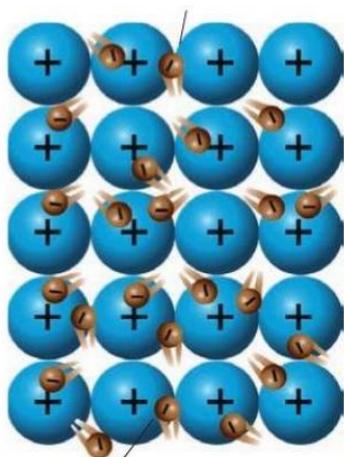


Figura 19. Representación de la estructura cristalina en la Teoría del mar de electrones.

<sup>21</sup> CLAUDIO, P. (2014) *Historia de la siderurgia minerales de hierro obtención del acero*. [en línea] Historiaybiografias [Consulta: 17-06-2020]. Disponible en: <https://historiaybiografias.com/siderurgia/>

<sup>22</sup> Electrones que se sitúan sobre la última capa. Estos se encuentran débilmente atraídos al núcleo e intervienen en las uniones entre los átomos.

<sup>23</sup> DOMENÉNECH CARBÓ, M.T. (2013) *Principios físico-químicos de los materiales integrantes de los bienes culturales*. p. 396.

<sup>24</sup> *Ibid.*, p. 397.

<sup>25</sup> Referencia a los electrones que se encuentran muy deslocalizados en la estructura cristalina del metal. Modelo del mar de electrones.

<sup>26</sup> LINDENVALD, N. (1980) *La estructura de los metales*. p. 4.

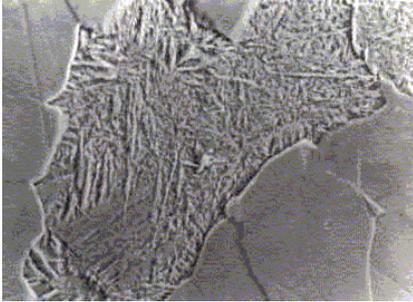


Figura 20. Fotografía detalle al microscopio de los granos y dendritas de una aleación de Cu-Al, X1500.

En la técnica de colada, basada en la solidificación, los átomos se combinan formando partículas, que a su vez van fomentando el crecimiento del cristal organizándose en una estructura en forma de árbol llamada dendrítica<sup>27</sup>. Este proceso se llama cristalización y comienza al mismo tiempo en diversos puntos. Así pues, en el momento que las dendritas se tocan con las otras, detienen el crecimiento adoptando la forma de un grano y estando separadas por las llamadas juntas de granos o bordes de granos (fig. 20). Según el tamaño de estas estructuras las propiedades de los metales varían, siendo los metales de grano más fino y con más bordes de grano, mayormente más resistentes mecánicamente<sup>28</sup>. En esas juntas hay presencia de impurezas, y defectos cristalinos que pueden originar patologías futuras.

Otras técnicas como la forja y el templado, que tienen como objetivo modificar su forma, también influyen en la modificación de esa estructura microcristalina, deformando la forma de los granos, transformándolos en estructuras más planas y menos hexagonales<sup>29</sup>. Si no se llevan a cabo las condiciones adecuadas en algunas de las técnicas de forjado se puede llegar a debilitar la estructura.

### 6.2.1. HIERRO

El hierro es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8 de la tabla periódica, su símbolo es Fe y tiene una masa atómica de 55,847 u. Su punto de fusión es de 1.150-1.250°C. Está muy presente en la corteza terrestre, siendo el cuarto elemento más abundante.

Las características principales de este metal son la maleabilidad, el color grisáceo plateado, posee unas propiedades magnéticas estudiadas en el núcleo de la Tierra, formado por hierro y níquel donde gracias a esas propiedades genera un campo magnético con su movimiento. También es un metal muy duro y denso<sup>30</sup>.

En estado nativo se encuentra en forma de mineral, mayoritariamente formando parte de muchas rocas y/u otros minerales en forma de óxidos, por eso es necesario un proceso de eliminación de impurezas.

<sup>27</sup> Hace referencia a la forma de prolongación en ramas similares a la de las ramas de los árboles.

<sup>28</sup> LINDENVALD, N. *op.cit.* p. 10.

<sup>29</sup> DOMENÉNECH CARBÓ, M.T. *op.cit.* p. 404.

<sup>30</sup> TARBUCK, E.J. y LUTGENS, F.K. (2005). *Ciencias de la Tierra*. pp. 14-18.

## 7. ESTADO DE CONSERVACIÓN

La pesa reloj fue encontrada junto a los escombros de un monasterio derruido en 1870, lo que determina que sus patologías comprenden a un objeto de naturaleza arqueológica terrestre. El estado de conservación actual, a simple vista, es bastante malo, pues no se observa la superficie original y está prácticamente recubierto de productos de corrosión y suciedad.

La pieza objeto de estudio presenta una tipología esférica (fig. 21) , de la que sobresale una estructura que recubre una pieza central redonda, a modo de sujeción. La estructura de sujeción posee en la parte superior un asa redondeada, que se posa sobre una base, de la cual parten tres bandas para unirse a una pieza en forma de anillo que sostiene la parte inferior de la esfera.

Tras realizar un análisis visual, se observa que la estructura se encuentra fracturada y débil, algunas de las bandas están separadas del anillo, lo que ha causado el desplazamiento de la parte de arriba. Al estar en un estado tan débil muchos fragmentos se han desprendido, mayoritariamente por la parte de sujeción de la pesa. Por consiguiente, cuando se intenta manipular, muchos residuos y obra real se fragmentan fácilmente.

Principalmente, se observan patologías como los productos de corrosión comunes del hierro (goetita, magnetita, limonita y cloruros), y concreciones terrosas y calcáreas procedentes del lugar en el que se encontraba enterrada. Todas esas patologías han causado un cambio brusco en la integridad del metal, causando grietas y laminaciones, así como cráteres en la estructura esférica. Las patologías son tales que recubren toda la superficie del objeto, impidiendo ver el metal puro y siendo difícil la identificación de la propia obra real.

Tras la prueba visual, se expondrá un estudio de las posibles patologías que podrían haber afectado a la pieza con la intención de elaborar un diagnóstico correcto de la pieza.

### 7.1. CORROSIÓN DEL METAL

Para entender el origen de estas patologías se debe conocer el porqué y el cómo, así como estudiar el medio terrestre y la influencia que ha tenido en la pieza:

#### *Productos de corrosión*

La corrosión se genera cuando el objeto interactúa con el medio y se producen cambios físico-químicos que provocan la transición del metal a su estado mineral (mineralización).

El metal tiende a regresar a su estado original en forma de óxidos, sulfuros, carbonatos, para lograr una estabilidad química en relación con el medio en el

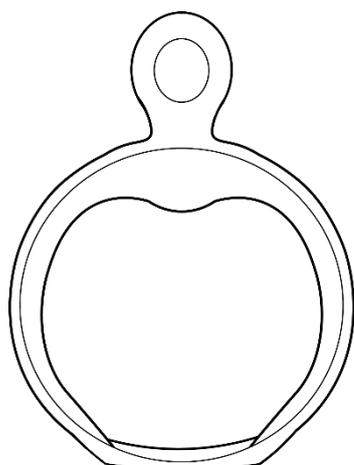


Figura 21. Dibujo esquemático de una aproximación de la tipología de la pesa en el pasado.

que se encuentra<sup>31</sup>. Son los procesos de obtención del hierro (paso de mineral a metal) lo que les causa esa inestabilidad y tienden a la necesidad de volver a su equilibrio natural<sup>32</sup>.

Este proceso viene determinado por dos factores como son la composición del metal y el medio en el que se encuentra. En un medio terrestre, es decir enterrado o semienterrado sobre una superficie de tierra, la corrosión puede hasta llegar a desintegrar al objeto en forma de dispersión. En el caso de estudio, la superficie del hierro arqueológico se encuentra envuelta en los productos de corrosión.

Otros agentes que intervienen son los que caracterizan y conviven en el medio, como el agua, las sales disueltas y los gases. Estos influyen directamente en el pH del medio, que determina el tipo de corrosión. Atendiendo a las características del medio, su naturaleza física es la que influye en el paso de los factores anteriores. Así la porosidad del terreno, definida por el tamaño de las partículas, determina si puede resultar una circulación de agua y gases, así como una migración de iones, si se dan sales presentes.

Mediante el análisis visual de la pieza y del ambiente en el que se encontraba, se estima que ha podido sufrir diversos procesos de corrosión generados por la corrosión electroquímica que se produce en un medio terrestre en contacto con humedad o agua.

En primer lugar, la corrosión química es cuando un metal interactúa con el oxígeno, formando óxidos de hierro como la Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y la Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Mientras que la **corrosión electroquímica** tiene lugar cuando se establece contacto con agua o humedad. Esta reacción es compleja, y empieza por la aparición de dos fuerzas electroquímicas en el metal, un ánodo (+), con tendencia a perder electrones, corroyéndose, y un cátodo (-), que como consecuencia se reduce<sup>33</sup>.

Este fenómeno se produce cuando esos electrodos (ánodo y cátodo), ya sean en dos zonas distintas del mismo metal o entre dos en metales diferentes en un mismo medio, donde haya un electrolito, es decir, una solución que contenga iones como el agua, agua del mar, soluciones ácidas o alcalinas, etc.

Los dos electrodos actúan como polos electroquímicos produciendo una corriente favorecida por el electrolito, y por donde el cual circulan los iones y electrones de ambos. Las sales disueltas del electrolito suelen ser cloro (mayoritariamente), sodio, potasio, calcio y magnesio, las cuales funcionan

---

<sup>31</sup> DOMENÉNECH CARBÓ, M.T. (2013) *op.cit.* pp. 406-407

<sup>32</sup> FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. *La alteración del hierro por sales. Ayer y hoy. Problemas y soluciones.* p. 280.

<sup>33</sup> Se denomina acción de obtención de electrones por parte del átomo (ánodo) involucrado en la reacción química.

como un medio iónico conductor<sup>34</sup>. De este modo, el cátodo se reduce, recibiendo electrones del ánodo por medio del puente salino, el electrodo va aumentando su tamaño con el paso del tiempo mientras que el ánodo va perdiendo electrones hasta la oxidación y como resultado su disolución en el medio<sup>35</sup>.

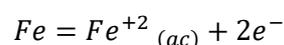
Lo que determina este fenómeno es la electronegatividad del metal, siendo los de más baja electronegatividad los que actúen como cátodos, mientras que los otros como ánodos poseyendo más electronegatividad en comparación. Esta diferencia de potencial eléctrico entre los diferentes metales se puede observar en la siguiente tabla. Siendo los primeros los más estables a la corrosión, pues necesitan mucha energía para oxidarse, y los más inferiores los menos estables. Esta clasificación se denomina serie galvánica.

Tabla 1. Tabla con el orden de menor a mayor electronegatividad de algunos metales.

Símbolo	Metal	Electronegatividad (V)
Au	Oro	+1,50 V
Pd	Plata	+0,80 V
Cu	Cobre	+0,521 V
Pb	Plomo	- 0,126 V
Sn	Estaño	- 0,136 V
Fe	Hierro	- 0,440 V
Zn	Zinc	- 0,763 V
Al	Aluminio	- 1,66 V

El hierro, posee una electronegatividad baja, siendo un metal muy débil frente a la oxidación y la corrosión. Como consecuencia, cuando entra en contacto con otro material con tendencia a reducirse, se produce la oxidación del metal. Esto ocurre en el medio ambiental terrestre, cuando el oxígeno entra en contacto con átomos de hidrogeno (agua H<sub>2</sub>O), y se combinan oxidando al hierro.

En una corrosión electroquímica en un medio neutro o básico, el hierro tiene como ánodo a la superficie del metal, oxidándose y formando el ión de hierro (II).



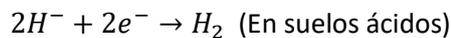
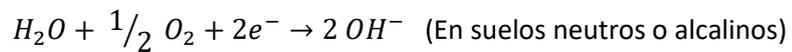
<sup>34</sup> *Ibid.*

<sup>35</sup> DOMENÉNECH CARBÓ, M.T. *op.cit.* p. 412.

El metal dona sus electrones reduciendo al oxígeno atmosférico, en presencia de agua, este proceso se efectúa en otra zona de la superficie del mismo metal que actúa como cátodo<sup>36</sup>.

En un medio ácido de pH<4, la reacción anódica es la misma, mientras que por otra parte los iones de hidronio<sup>37</sup> mantienen una reacción catódica que, combinados con el oxígeno, el elemento se reduce a agua, intensificando la corrosión (fig. 22).

Reacción catódica:



Dichas reacciones exigen los electrones liberados del Hierro, cerrando el proceso de corrosión<sup>38</sup>.

Por otra parte, el ánodo del metal va oxidándose, obteniendo como resultado final una mezcla de compuestos de oxidación: hidróxido de hierro (II)  $Fe(OH)_2$ ,  $Fe(OH)_3$ , hidroxiclорuro de hierro (II)  $Fe_2(OH)_3Cl$ , y  $Fe(II)$  y  $Fe(III)$ .

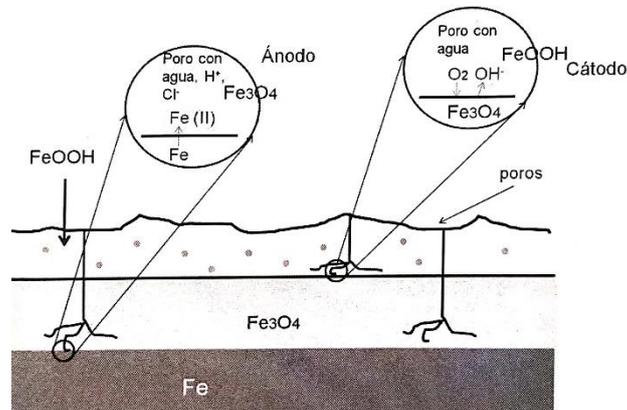


Figura 22. Procesos de corrosión electroquímica en un medio terrestre ácido.

La tipología y naturaleza del terreno modifican y alteran los procesos de corrosión, pues la tierra es un medio heterogéneo formado por diversas partículas. Esto influye en la difusión del oxígeno, variando la actividad catódica de un terreno a otro. Así pues, en terrenos muy húmedos, donde las partículas se encuentran saturadas, el oxígeno tiene difícil el paso, por lo que no se

<sup>36</sup> *Ibid.*, p. 415.

<sup>37</sup> Cation que se forma en el agua en presencia de cationes de hidrogeno.

<sup>38</sup> DE LA CRUZ PEREZ, A. (2017) *Mecanismo de corrosión y protección en estructuras enterradas*. [en línea] Linkedin.com [Consulta: 06-07-2020] Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/mecanismo-de-corrosi%C3%B3n-y-protecci%C3%B3n-en-estructuras-de-la-cruz-perez>

produce la corrosión catódica. A no ser que la humedad decrezca dejando pasar al aire y tomando contacto con el metal<sup>39</sup>.

En cuanto a la humedad del suelo, es un factor fundamental en el proceso de corrosión afectando a la velocidad. En ellos se encuentran sustancias solubles, elevando la conductividad iónica o electrolítica<sup>40</sup>.

En los objetos ya corroídos, los iones de cloruro se acumulan para compensar la pérdida de electrones, que en combinación con fenómenos como el aire y la humedad forman algunos productos de corrosión sobre la obra. Si la pieza es extraída del medio y los cloruros se encuentran en contacto con la superficie, es posible que el cambio del medio en cuanto a temperatura, humedad y oxígeno cause una reactivación de la corrosión.

Por otra parte, otro tipo de corrosión que sufren los metales en un medio terrestre es la **corrosión microbiológica**, definida como un proceso en el que las bacterias originan o aceleran la oxidación y corrosión de los metales<sup>41</sup>.

Las bacterias se encuentran tanto en el suelo como en el agua, con la función de descomponer los minerales y materia orgánica. Existen varios tipos, las llamadas anaeróbicas, no necesitan oxígeno para sobrevivir, y atacan a los materiales metálicos en medios donde apenas hay oxígeno, produciendo sustancias corrosivas como el ácido sulfúrico. Otro ejemplo, son las llamadas bacterias del hierro, que necesitan del óxido ferroso disuelto para vivir. Su presencia puede llegar a la proliferación de bacterias de azufre.

### **Formas de corrosión**

Se entiende por forma de corrosión, la morfología o la transformación que adoptan los metales al final o durante los procesos de corrosión.

La llamada **corrosión por picadura** es la más frecuente y se extiende de forma irregular en el material, llegando hasta el interior del material y pudiendo general daños muy graves. Se manifiesta en forma de cráteres o picaduras, llegando en algunos casos a extenderse por toda la superficie, pasando a ser localizada extendida. Cuando la picadura o cráter en profundidad es más grande respecto la anchura es llamada corrosión caverniforme.

Es bastante común en objetos de hierro, y se crea a causa de las sales presentes como el cloruro de sodio, que puede penetrar en el metal y causar un proceso anódico, iniciando así un proceso de corrosión activa. Cuando los iones del hierro reaccionan con los cloruros, forman cloruros férricos, que se oxidan en presencia del aire formando cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) y óxido férrico. En

---

<sup>39</sup> *Ibid.*

<sup>40</sup> *Ibid.*

<sup>41</sup> DOMENÉNECH CARBÓ, M.T. *op.cit.* p. 419.

presencia de oxígeno y humedad se hidrolizan formando óxidos o hidróxidos férricos y ácido clorhídrico, el cual ataca al metal sano<sup>42</sup>.

Este fenómeno puede extenderse, por toda la superficie levantando y fracturando el metal causando fisuras e importantes desplazamientos en la superficie. En algunas fisuras se puede manifestar la corrosión activa en forma de perlas minúsculas de color marrón o en el fondo de los cráteres en forma de productos de corrosión marrón.

Otro modelo de corrosión es la **intergranular** se da en la estructura interna de los metales y está directamente ligada a la microestructura del material, se localiza en los límites del grano y se asocia a las impurezas que se acumulan en esos límites a la hora de los procesos térmicos y mecánicos de la elaboración del metal. Esta corrosión solo es perceptible en una metalografía y es común en casi todos los metales antiguos.

---

<sup>42</sup> UPV (2020) *Unidad 12. Fundamentos de corrosión*. [en línea] [Consulta: 25-06-2020] Disponible en: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)

## 7.2. MAPAS DE DAÑOS



### Legenda

#### Suciedad inorgánica:

Concreciones terrosas

Concreciones calcáreas

#### Cloruros:

Cloruros de hierro

#### Productos de corrosión:

Goetita

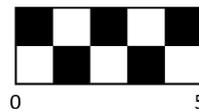
Limonita

#### Deformaciones y grietas:

Grietas y laminaciones

Crateres

Magnetita



Autor: Escuelas relojeras Villenenses

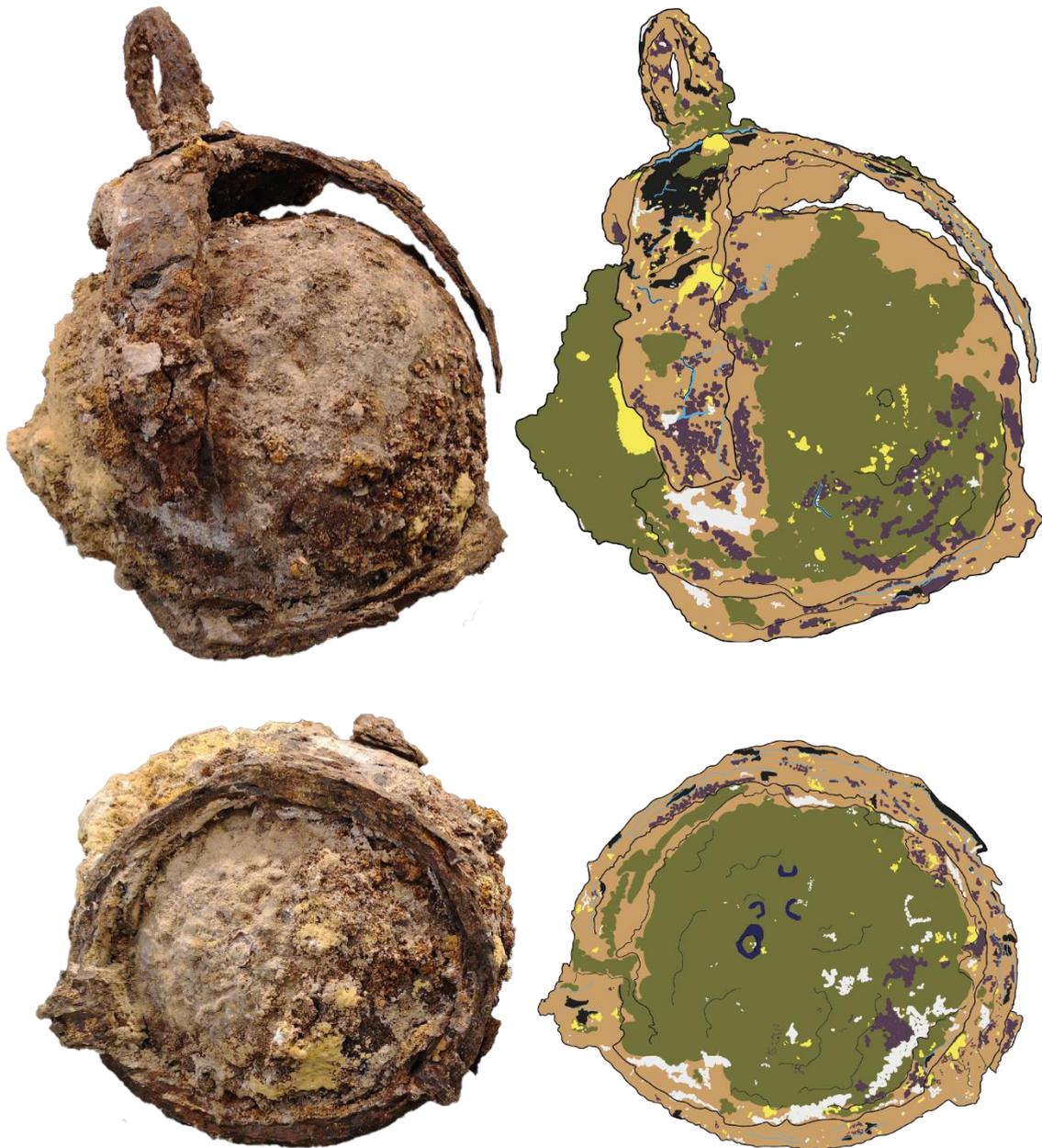
Objeto: Pesa Reloj

Época: Edad Moderna

Dimensiones: 180 x 143 mm

Material: Hierro

Museo arqueológico Municipal de Villena



**Leyenda**

Suciedad inorgánica:

Concreciones terrosas

Concreciones calcáreas

Cloruros:

Cloruros de hierro

Productos de corrosión:

Goetita

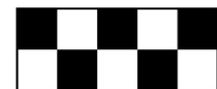
Limonita

Deformaciones y grietas:

Grietas y laminaciones

Cráteres

Magnetita



0 5

Autor: Escuelas relojeras Villenenses

Objeto: Pesa Reloj

Época: Edad Moderna

Dimensiones: 180 x 143 mm

Material: Hierro

Museo arqueológico Municipal de Villena

### 7.3. PATOLOGÍAS Y DIAGNÓSTICO

En los mapas de daños se puede tener una aproximación de las patologías que se han observado en la pieza.

#### **Concreciones**

En primer lugar, una de las patologías más notables son las concreciones terrosas (fig. 23), que se encuentran congregadas y adheridas a la pieza junto a pequeñas rocas. Los colores en algunas zonas de la pieza son similares a los tonos de algunos de los productos de corrosión que posee, como de la limonita ( $\alpha\text{-FeO(OH)}$ ), de tonos amarillentos y aspecto pulverulento, que podrían haber sido resultado del proceso de una corrosión electroquímica y después de la acción de humedad, pasando a un estado mineral y formando parte de los sedimentos de la tierra. En otras zonas, el color de las concreciones terrosas es un gris blanquecino (fig. 24), que indica que la concreción pueda contener sales y cloruros depositados en la superficie muy perjudiciales para la pieza, pues la variación de temperatura y humedad en contraste con el medio donde estaba puede llegar a solidificar cristales de cloruro presente en grietas y recovecos, así como el oxígeno y aire presente activar los procesos de oxidación, que en combinación reproducen más productos ácidos, pudiendo penetrar al interior del objeto metálico<sup>43</sup>.

Por otro lado, en forma de costras blancas se encuentran las concreciones calcáreas (fig. 24). Es la forma cristalina que adopta el carbonato cálcico, y se encuentra en forma de mineral en el subsuelo. En combinación con la humedad, forma una costra en la superficie del objeto. Estas concreciones se hallan de forma muy localizada, en toda la pieza y en algunas de las concreciones terrosas.

#### **Productos de corrosión**

La morfología de la pieza de hierro se ve afectada por los productos de corrosión que se observan a simple vista, después se ha realizado una estimación de las características del medio por cómo ha influido directamente en el grado y tipo de corrosión.

#### **Óxidos:**

- **Magnetita ( $\text{Fe}_2\text{O}_4$ ).** Se encuentra en la superficie de la pieza en forma de patina negra (fig. 25) en algunas zonas de la estructura superior.



Figura 23. Fotografía detalle de las concreciones terrosas presentes en un lateral de la obra.



Figura 24. Fotografía detalle de la base de la pieza.



Figura 25. Fotografía detalle de la parte superior, con una patina de magnetita ( $\text{Fe}_2\text{O}_4$ ).

<sup>43</sup> FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. *op.cit.* p. 282.



Figura 26. Fotografía detalle donde se encuentran presente la goethita (marrón) y la limonita (amarillo).



Figura 27. Fotografía detalle de los cloruros de hierro presentes en la obra.



Figura 28. Fotografías detalle de los daños de laminaciones en la parte superior y central de la pieza.

### **Oxihidróxidos de hierro:**

Estos productos de corrosión se forman a partir de la hidratación de los anteriores.

- **Goethita** ( $\alpha\text{-FeO(OH)}$ ). Está presente en casi toda la superficie de la obra, se observa en el color marrón oscuro (fig. 26) que presenta la obra en general. En algunas zonas es más difícil su identificación pues se encuentra bajo una fina patina terrosa.
- **Limonita** ( $\alpha\text{-FeO(OH)}$ ). Se trata de la goethita hidratada, de ahí su misma composición química. Su color es ocre amarillento (fig. 26), y se presenta en zonas localizadas sobre la superficie del metal oxidado o como previamente se ha explicado, en forma de mineral en las concreciones terrosas.

### **Cloruros de Hierro** ( $\text{FeCl}_2$ o cloruro ferroso y $\text{FeCl}_3$ o cloruro férrico):

Se forma en presencia de iones de cloruro, es decir en presencia de sales. Este tipo de corrosión es bastante dañina para el metal pues se deposita en grietas y oquedades del metal, teniendo facilidad de penetración y combinación química, produciendo procesos corrosivos.

Se observan en la obra en zonas donde se percibe un marrón brillante y pequeñas gotas del mismo color (fig. 27).

Tanto en el medio terrestre como tras su extracción, los productos de corrosión han estado activos dada la naturaleza de estos. Provocando cierto tipo de daños que han derivado a la alteración del aspecto y resistencia del objeto metálico.

### **Daños y formas de corrosión**

Los daños presentes se manifiestan en forma de corrosión por picadura. Donde los cloruros han tomado parte en el desarrollo de descamaciones en la superficie de la parte superior del hierro (fig. 28), así como algunas grietas que también se observan sobre todo en la parte superior de la pieza.



Figura 29. Fotografía detalle de los cráteres presentes en la pieza.



Figura 30. Fotografía detalle de las laminaciones y grietas en la parte superior de la pieza.



Figura 31. Fotografía detalle de las deformaciones presentes en la base de la pieza.



Figura 32. Dos de las bandas que se encuentran fracturadas en la pieza.

También, aparecen daños en las zonas donde se ha producido una fragmentación, en forma laminar pudiendo observar la estructura cristalina propia del metal trabajado (fig. 30).

En la parte esférica, las picaduras toman forma de cráteres (fig. 29), la más grande con diámetro de casi 25 mm donde en el interior se observan productos de corrosión como son los cloruros. En la base, se la deformación se manifiesta en forma de “olas” no muy amplias (fig. 31).

Dos de sus tres bandas, se fracturaron y corroyeron (fig. 32) causando el movimiento hacia un lado de la parte superior, que se encuentra fijado en esa posición fuertemente por los agentes presentes en la obra.

Las piezas arqueológicas de hierro encontradas en yacimientos bajo tierra suelen presentar las mismas patologías y productos de corrosión. Una vez extraídas, se deben conservar correctamente pues al mínimo cambio de temperatura y humedad, los procesos de corrosión se reactivan dañando a la pieza.

Finalmente, los metales de hierro antiguos tienen a corroerse intergranularmente por los procesos previos de obtención y creación del hierro. Esta pieza está situada en una época y lugar donde probablemente el avance de los hornos y el proceso de función total de hierro no era posible, por lo que es probable que sufra esa corrosión muy común en este tipo de piezas.

## 8. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

### 8.1. ANALISIS PREVIOS

Antes de acometer cualquier tipo de intervención, es necesario realizar análisis previos para determinar el tratamiento adecuado para la pieza. Estos ayudarán tanto a la identificación de patologías, expuesta en el estado de conservación, como a abordar los procesos de intervención acordes a esas patologías.

#### ***Fotografías y lupa binocular***

Tienen como objetivo la identificación de patologías y valoración del estado de la pieza. Aunque aportan mucha más información y ayudan a tener una documentación justificada de todos los procesos que se van efectuando desde que la pieza entra en el taller hasta que sale.

Dentro del rango de la documentación fotográfica se encuentran diferentes formas, como las fotografías de detalle o las macrofotografías, donde podemos ver y obtener las patologías desde un ángulo más próximo. Otro instrumento para lograr más exactitud es la lupa binocular ayudando a discernir los productos de corrosión y concreciones que afectan a la obra.

#### ***Rayos X***

Con este tipo de técnica, se puede discernir la composición y la densidad de los sustratos, que posee la obra actualmente, así como observar las zonas mineralizadas y agrietadas. También dan información sobre los materiales que componen la pieza<sup>44</sup>.

Son una gran ayuda en los procesos de limpieza, sobre todo en complementación con técnicas como la fluorescencia de rayos X (XRF) y la fluorescencia de rayos X dispersiva en energía (EDXRF). Con estas técnicas es posible identificar los elementos metálicos presentes en la obra, midiendo su valor de energía, manifestándose los resultados en gráficas denominadas espectrografías de picos<sup>45</sup>.

#### ***Prueba de presencia de carbonatos***

Esta prueba consiste en analizar varias muestras obtenidas de lo que se estima que puedan ser concreciones calcáreas.

Las muestras se depositan en un portaobjetos donde se aplica una gota de ácido clorhídrico. Si resulta positiva, reaccionará en forma de una pequeña

---

<sup>44</sup> DÍAZ MARTÍNEZ, S. Y GARCÍA ALONSO, E. 2011. *Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico*. p. 40.

<sup>45</sup> *Ibíd.*

efervescencia. En el caso que no reaccione, la muestra no contendrá concreciones calcáreas.

### **Catas de limpieza**

El proceso de limpieza es un proceso irreversible por lo que hay que asegurar la integridad de la obra. Para ello, es imprescindible determinar de qué manera y con qué se va a realizar este proceso.

Estos análisis consisten en la realización de diferentes catas con distintos disolventes y/o geles en pequeñas zonas irrelevantes de la pieza.

En primer lugar, se realizarán pruebas de solubilidad mediante el test de Wolbers. Este consiste en diferentes mezclas de tres disolventes orgánicos, variando sus proporciones, hasta tener trece muestras como se observa en la siguiente tabla (Tabla 2). Los disolventes usados son: Acetona, White Spirit y n-Propanol, estos se aplican mediante un hisopo que nos indicará el resultado del grado de disolución en cada mezcla y disolvente.

Tabla 2. Test de Wolbers.

Cata	% White Spirit	% Acetona	% n-Propanol
1	100	0	0
2	80	20	0
3	60	40	0
4	50	50	0
5	40	60	0
6	20	80	0
7	0	100	0
8	80	0	20
9	60	0	40
10	50	0	50
11	40	0	60
12	20	0	80
13	0	0	100

Una vez realizado, se determinará el idóneo para la intervención del proceso de limpieza, comparando los resultados plasmados en el algodón de los hisopos.

En segundo lugar, se procede a las catas de disolventes y agentes gelificados, estos actúan en constante contacto con la superficie de la pieza el tiempo que se estudie y se crea necesario. Las catas de gel se dejarán el mínimo tiempo posible, aplicándolos y eliminando los restos mediante la espátula, posteriormente con un hisopo humedecido en disolvente según el gel, se neutralizará la pieza de los residuos que se hayan depositado en la superficie.

Los geles más utilizados son el de acetona, White spirit, alcohol y EDTA. El compuesto de EDTA es un agente complejante soluble en agua, que actúa mediante interacciones electroestáticas con los iones, atrayendo a los elementos a eliminar a la disolución de agua<sup>46</sup>. De este modo, el gel EDTA se debe neutralizar con agua desionizada y posteriormente secar con acetona acelerando la evaporación del agua restante, la cual puede generar nuevos procesos de corrosión en contacto directo con el metal.

## **8.2. PROCESO DE INTERVENCIÓN**

Tras el estado de conservación y los análisis previos se procede a la elaboración de un plan de intervención acorde con el diagnóstico de la pieza y los resultados obtenidos. De este modo, se obtiene una metodología de los procesos a seguir en la intervención que se expone a continuación.

En todos los procesos se debe llevar un equipo de protección individual (EPI), que varía según el proceso que se esté realizando y el riesgo que se presenta. Siendo los más comunes: bata, mascarilla desechable contra el polvo, mascarilla de gases con filtros, guantes de nitrilo y gafas protectoras.

### **8.2.1. CONSOLIDACIÓN PREVIA**

El primer paso de esta intervención sería la consolidación de la estructura externa que rodea la pieza. Tiene como finalidad, dar resistencia mecánica a la estructura y así que los estratos más débiles se mantengan unidos.

En este caso, se realizará una consolidación previa porque los estratos de la pieza se encuentran muy debilitados y las primeras intervenciones podrían causar el desprendimiento y fractura.

Para llevar a cabo la consolidación, se debería aplicar una resina acrílica, la marca más utilizada es el Paraloid®, siendo el Paraloid B-44® la más aconsejable para el metal, soluble en disolventes orgánicos

Para su aplicación lo idóneo sería mediante inyección y/o impregnación con pincel, únicamente en las zonas más débiles y con probabilidad a desprenderse, evitando el aplicar un exceso de material que originaría la consolidación de los productos y concreciones a la superficie de la pieza, que se desean eliminar.

### **8.2.2. LIMPIEZA**

El proceso de limpieza consiste en la eliminación de los depósitos y productos de corrosión presentes en la obra. Requiere prudencia, pues se debe de tener en cuenta el límite de la superficie original y el estrato a eliminar, para no dañar la superficie de la pieza<sup>47</sup>.

---

<sup>46</sup> DOMENÉNECH CARBÓ, M.T. *op.cit.*, pp. 166-169

<sup>47</sup> DÍAZ MARTÍNEZ, S. GARCÍA ALONSO, E. *op.cit.* pp.46-47.

Para evitar toda alteración sobre la superficie original, hay que seguir los criterios establecidos y los análisis previos a la obra. Como ser conscientes de la huella del paso del tiempo y su naturaleza arqueológica, conociendo hasta donde es conveniente la eliminación para asegurar la estabilidad de la obra. En algunos materiales, algunas pátinas son estables, y es referible mantenerlas antes que llegar al núcleo metálico de la pieza.

Teniendo en cuenta los criterios, la limpieza tiene que ser gradual y controlada, empezando por las técnicas menos agresivas y valorando previamente si es adecuada esa limpieza para la pieza.

En primer lugar, se empezará por el procedimiento menos agresivo como es la limpieza mecánica y/o físico-mecánica.

### ***Limpieza físico-mecánica***

Este proceso se basa en la combinación de la limpieza mecánica con disolventes. Consiste en reblandecer las concreciones y/o productos de corrosión que se quieren eliminar mecánicamente mediante diferentes instrumentales.

Antes de la intervención se ideará una superficie donde situar la pieza, para amortiguar el impacto de la manipulación.

Para las concreciones terrosas y calcáreas, así como productos de corrosión más abundantes, se empezará humedeciendo la superficie más alejada del metal, una vez reblandecido se hará uso del instrumental. En primer lugar, se probará con instrumental quirúrgico, como bisturís y escalpelos, si éstos no resultan efectivos o requieren mucho tiempo, se procederá a usar ultrasonidos<sup>48</sup> (fig. 33), si finalmente se determina necesario se usaría el microtorno variando sus fresas y cepillos, y como última elección el vibroincisor<sup>49</sup> con puntas de widia (fig. 34), controlando las variaciones y los diferentes niveles de potencia.



*Figura 33. Ultrasonidos motorizado con diferentes niveles.*



*Figura 34. Imagen de la parte de la punta un vibroincisor con puntas de widia.*

<sup>48</sup> Instrumento usado para la odontología adaptado al campo de la restauración, que funciona eliminando los depósitos y suciedad, mediante vibraciones ultrasónicas o de alta frecuencia.

<sup>49</sup> Instrumento con funcionamiento de aire comprimido, donde se añade una punta de widiaz que incide en la concreciones y depósitos para eliminarlos. Se regula mediante el paso del aire.

Para los productos de corrosión superficiales, se realizará el mismo procedimiento sin llegar a eliminar la pátina de productos de corrosión, pues puede estar próxima a la superficie del metal y causar ralladuras y/o eliminación de la pátina de protección.

Tras realizar estos procesos, se hará una aspiración mediante una brocha suave que elimine los restos que se hayan podido depositar en la obra en el proceso.

### ***Limpieza físico-química***

Cuando no se consigue eliminar del todo las concreciones, manchas y productos de corrosión que permanecen en forma de una película más fina, se procede al uso de los procesos químicos. Éstos actúan mediante reacciones solubilizando los compuestos a eliminar.

Para esta limpieza se deben extremar las precauciones, porque puede causar daños graves, como por ejemplo la eliminación de la pátina de protección del metal. Para ello se debe controlar el tiempo en caso de la aplicación de empacos o inmersión, y neutralizar después de cada limpieza química que se ejerza, y así frenar los procesos de reacción que se han desencadenado.

Esta limpieza se combina con los instrumentos y métodos mecánicos, como el uso del bisturí, cepillos, escalpelo, hisopo, lápiz de fibra de vidrio, etc. Siempre estudiando y controlando el no sobrepasar los límites con ayuda de aparatos como la lupa binocular y buenos focos de luz.

De los disolventes y geles previamente analizados se emplearán los elegidos por el criterio del restaurador. En el caso de las concreciones calcáreas es idóneo emplear el agente quelante de EDTA tetrasódica 5% o el gel EDTA para un mayor resultado, controlando el tiempo que se establezca conveniente. Este agente es idóneo para la eliminación de los carbonatos y calcita, así como algunos productos de corrosión del hierro, una vez se proceda a su retiro, se neutralizará con agua desionizada y posteriormente se secará con acetona mediante el hisopo.

En la siguiente tabla, se representan los diferentes geles y sus componentes, así como el medio neutralizante necesario para su completa remoción.

Tabla 3. Componentes y neutralizadores de cuatro tipos de geles.

Tipo de gel	Componentes del gel	Neutralización
Gel de alcohol	Carbopol <sup>50</sup> 2 g Ethomeen <sup>®</sup> C-12 <sup>51</sup> 20 ml Alcohol 50 ml Agua desionizada 20 ml	Alcohol
Gel de acetona	Carbopol <sup>®</sup> 2 g Ethomeen <sup>®</sup> C-25 20 ml Agua desionizada 10-15 ml Acetona 80-100 ml	Acetona
Gel de White Spirit	Carbopol <sup>®</sup> 2 g Ethomeen <sup>®</sup> C-12 20 ml White Spirit 65 ml	White Spirit
Gel EDTA	Agaragar <sup>52</sup> 2g Agua desionizada 100 ml EDTA 5% 5ml	Agua desionizada + acetona

En zonas puntuales donde todavía se observen productos de corrosión como son algunos óxidos o concreciones calcáreas, se puede usar puntualmente y mediante el hisopo la solución de Nital<sup>53</sup>, neutralizando después con agua desionizada y etanol (1:1).

### 8.2.3. NEUTRALIZACIÓN DE TRATAMIENTOS QUÍMICOS Y SECADO

Finalizado el proceso de limpieza, se realizará una neutralización completa de la pieza. Para eliminar completamente cualquier componente en los tratamientos ejecutados.

Este procedimiento consiste en realizar baños sucesivos en alcohol y acetona. Se realiza mediante unos guantes limpios para que la pieza este lo más desengrasada posible.

Una vez neutralizada, se procede al secado, depositando la pieza en una estufa de aire que no supere los 90°C, el tiempo que sea necesario según el tamaño y el peso, en el caso del objeto de estudio podrá variar entre 20 y 40 minutos.

<sup>50</sup> Carbopol ultez <sup>®</sup> 21, es un producto comercial, basado en un polímero del Acido Poliacrílico que se usa para espesar agua y disolventes orgánicos.

<sup>51</sup> Ethomeen<sup>®</sup> C-12. Producto comercial de amina polietoxilada con propiedades tensoactivas, utilizado en geles para neutralizar el producto de Carbopol.

<sup>52</sup> Polisacárido que se extrae de las algas de la familia Rodoficee que produce un gel termo reversible rígido. Sirve de gelificante de disolventes para materiales sensibles al contacto con el agua. El material rígido absorbe como una esponja el material solubilizado del disolvente.

<sup>53</sup> Solución de un ácido potente oxidante (ácido nítrico) y un disolvente orgánico reductor (etanol).

#### **8.2.4. INHIBICIÓN**

Tratamiento que garantiza al metal su estabilización después de su intervención contra los procesos de oxidación y corrosión, creando una barrera de protección sobre la superficie metálica.

En primer lugar, se realizará un desengrasado con acetona, para asegurar la neutralización total, y posteriormente se introducirá la pieza en una estufa de aire forzado a 80°C durante 20-40 minutos.

Después, en el caso de la pieza de hierro, se aplicará ácido tánico por impregnación mediante un cepillo y guantes limpios, para evitar el engrasamiento de la pieza. Las pinceladas deben ser las mínimas, evitando repetir cepillado en la misma zona.

Una vez seca, se introduce en la estufa aproximadamente 20 minutos. Pasado el tiempo, se extrae y una vez enfriada se cubre para protegerla de los factores exteriores.

Para la preparación del inhibidor, se prepara una mezcla de ácido tánico al 2,5% en una disolución hidroalcohólica<sup>54</sup>. Para lograr que el inhibidor sea efectivo deberá tener un pH entre 2,2 y 2,4, con el fin de ajustar el pH se empleará el ácido ortofosfórico.

#### **8.2.5. PROTECCIÓN**

En el caso de los metales se realizan dos tipos de protecciones aislando la pieza metálica lo máximo posible frente a los agentes de deterioro y corrosión, sirviendo la primera protección de estrato intermedio, si fuera necesaria una reintegración volumétrica y/o cromática, así como montaje cuando se poseen distintas piezas de un mismo objeto.

##### ***Primera protección***

Se aplicará una vez pasadas 48 horas desde el proceso de inhibición. Esta primera protección crea una película aislante que previene el contacto de los agentes medioambientales sobre la obra.

Consiste en la aplicación de la resina Paraloid B-44® entre el 6-10% en acetona mediante una brocha pequeña abordando todos los recovecos de la pieza, evitando excesos de disolución y derramamientos innecesarios.

Por último, se dejará secar cubierta o en una zona fuera de polvo y/o agentes perjudiciales.

---

<sup>54</sup> Se refiere a la disolución de agua desionizada 50% y alcohol 50%.

### ***Protección final***

Con esta protección se asegurará el aislamiento contra los agentes medioambientales agresivos, como la humedad.

Para este proceso se utiliza cera microcristalina disuelta en White spirit, aplicada con una muñequilla impregnada de la cera, extendiéndola por toda la superficie del metal, evitando acumulaciones.

Una vez aplicada, pasados 20 minutos aproximadamente se cepillará cuidadosamente mediante un cepillo suave otorgando lustre a la pieza.

## 9. MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN PREVENTIVA

Se entiende como conservación preventiva, el conjunto de acciones tanto directas como indirectas sobre la pieza, que aseguren su estabilidad y su perdurabilidad a lo largo del tiempo. También tiene como objetivo antropológico dar a conocer el testimonio y la evolución del ser humano a lo largo de la historia.

Esta pieza de origen arqueológico se encuentra almacenada en el depósito del museo, por lo que se establecerán los criterios que se deben seguir después de su intervención, en varias situaciones como su almacenamiento, posible manipulación y si se diera el caso, exposición.

El hierro es un material poco estable, cuando se encuentra en ambientes de interior, los principales agentes son los atmosféricos: O<sub>2</sub>, humedad relativa, SO<sub>2</sub>, los compuestos orgánicos volátiles, además de la luz y la temperatura.

También hay que tener en cuenta las características de los materiales usados para la intervención, y como asegurar su conservación en conjunto con la pieza. Por un lado, en el momento de consolidación y primera protección si se utilizan resinas acrílicas como el Paraloid<sup>®</sup>, la cual no tolera los cambios de temperatura y puede llegar a amarillear con el tiempo en malas condiciones. Por otro lado, en la protección final, el material utilizado es la cera microcristalina, sensible al calor en la cual se pueden depositar partículas de polvo y ser un foco de humedad para la pieza. En cuanto, al material de hierro se debe tener en cuenta su naturaleza y en el caso de presencia de cloruros, la probabilidad de activación de los procesos de corrosión en presencia de humedad.

Teniendo en cuenta los riesgos anteriores, se ha elaborado una serie de parámetros a seguir siguiendo los criterios de conservación.

- La pieza se almacenará en un lugar libre de agentes medioambientales agresivos, como cambios de temperatura, libre de humedad, polvo y radiaciones UV. La correcta humedad relativa tiene que permanecer por debajo de 35%, y controlando que no existan variaciones de HR.
- La temperatura según el IPCR<sup>55</sup>, no debe de descender de los 17°C o superar los 27°C, tanto en zonas de exposición como en los depósitos y almacenes de los museos.

---

<sup>55</sup> Instituto del patrimonio cultural de España.

- Para el acondicionamiento de salas, ya sean de exposición o de almacenes, sería ideal un adecuado sistema de filtrado de aire para evitar los agentes atmosféricos y contaminantes<sup>56</sup>.
- La iluminación idónea es de un máximo de 300 lux, evitando cualquier entrada de luz natural por ventanas, puertas, cristales...
- Para su almacenamiento se recomienda utilizar solo materiales libres de ácido como el polietileno, evitando materiales de almacenaje como la madera que son atractivos de la humedad y agentes orgánicos. Mediante el polietileno en espuma se puede tallar la forma de la pieza para que encaje formando una caja que envuelva el objeto logrando una manipulación y almacenamiento seguro.
- En la manipulación directa de la pieza, es obligatorio el uso de guantes de látex para evitar el mínimo contacto con el objeto.
- En el caso de exposición se deberá realizar un sistema expositivo acorde con la historia de la pieza. Siendo acompañada con los otros objetos relacionados con la escuela de relojería villenense, expuestos en el museo, y también con un cartel explicativo de su origen y funcionamiento.

Cada cierto tiempo se debería inspeccionar el estado de la pieza, así como el correcto funcionamiento del plan de conservación preventiva. Y si se diera el caso, investigar los riesgos a los que se enfrenta y modificar los puntos que se crean convenientes.

---

<sup>56</sup>IPCR. (2009) *Normas de conservación preventiva para la implantación de sistemas de control de condiciones ambientales en museos, bibliotecas, archivos, monumentos y edificios históricos*. p.2.

## 10. CONCLUSIÓN

En este trabajo se expone una propuesta de conservación y restauración de una pesa perteneciente a un reloj *foliot*. Para realizar este proyecto se han completado los objetivos del estudio histórico, análisis técnico, estado de conservación, propuesta de intervención y conservación preventiva.

El conocimiento histórico de la pieza ha sido clave para conocer su pasado arqueológico y estudiar las patologías establecidas en ese ambiente. Así como el estudio técnico, a la hora de los procedimientos de obtención del hierro, importantes para determinar y entender el estado de conservación en el que se encontraba la pieza. Todo ello ha asegurado el establecer una buena propuesta de intervención y conservación preventiva.

Como resultado del estudio histórico de la pieza, se ha podido dar a conocer la importancia de las escuelas relojeras villenenses de la época, así como el convento de Franciscanos que se situaba en unos de los lugares más conocidos de Villena. Remarcando la importancia de perdurar de los objetos arqueológicos y obras en el tiempo, para que las diferentes generaciones entiendan su pasado y presente.

Se han conseguido los objetivos principales contextualizando la pieza y elaborando una propuesta de intervención, todo ello en base a los objetivos secundarios, obteniendo los recursos necesarios para el estudio de la pieza y posterior proyecto, conocer el material que conforma la pieza y cuáles son las patologías presentes, así como tener en cuenta su conservación a lo largo del tiempo.

Por último, debido a la situación actual que se está viviendo a causa del covid-19, no se han podido elaborar todos los análisis previos, por lo que, si se decidiera en un futuro intervenir la pieza, se deberán realizar los análisis previos antes de cualquier intervención, pudiendo ser ésta modificada según los resultados obtenidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCALÁ-ZAMORA, J. N. 1999. *Altos hornos y poder naval en la España de la Edad Moderna*. Vol. 13. Real Academia de la Historia.
- BASTÚS, F. 1864. *Manual del Relojero*. Paris: s.n. Edición del 2016. Valladolid (España). I.S.B.N. 978-84-9001-541-4.
- CLAUDIO, P. 2014. *Historia de la siderurgia minerales de hierro obtención del acero*. [en línea] Historiaybiografias.es [Consulta: 17-06-2020] Disponible en: <https://historiaybiografias.com/siderurgia/>
- DE LA CRUZ PEREZ, A. 2017. *Mecanismo de corrosión y protección en estructuras enterradas*. [en línea] Linkeddin.com [Consulta: 06-07-2020] Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/mecanismo-de-corrosi%C3%B3n-y-protecci%C3%B3n-en-estructuras-de-la-cruz-perez>
- DÍAZ MARTÍNEZ, S. Y GARCÍA ALONSO, E. 2011. *Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico*. Ministerio de Cultura, Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación.
- DÍAZ MARTÍNEZ, S. y GARCÍA ALONSO, E. *Criterios de intervención en materiales metálicos*. Publicaciones electrónicas de la Secretaría de Estado y Cultura. España: Secretaría General.
- DOMÉNECH, M. T. 2013. *Principios físico-químicos de los materiales integrantes de los bienes culturales*. Ed. Universidad Politècnica de València, Valencia. I.S.B.N. 978-84-8363-996-2.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. 2003. *La alteración del hierro por sales. Ayer y hoy. Problemas y soluciones*. Monte Buciero, no 9, p. 277-302.
- GALINDO MATEO, I. 2011. *Sancho García de Medina y el arcedianato de Villena*. [Villena]: Ayuntamiento de Villena. Ed. Tératos. I.S.B.N. 978-89-935105-9-6.
- HERNANDEZ, L. GARCÍA, J. Y ROSILLO, V. 2017. *Recuperación de un reloj de la escuela relojera de Villena para el Museo Arqueológico José María Soler*. BILYANA. pp. 59-77.

- IPCR. 2009. *Normas de conservación preventiva para la implantación de sistemas de control de condiciones ambientales en museos, bibliotecas, archivos, monumentos y edificios históricos*. Ministerio de Cultura de España. Madrid.
- I PERICOT, J. M. F., & LORENZO, J. N. 2012. *Introducción a la prehistoria: la evolución de la cultura humana*. Ed. UOC.
- LAFUENTE, D. 2011. *Conservación preventiva del patrimonio cultural metálico en museos. Estudio de la presencia de ácidos orgánicos mediante captadores pasivos de técnicas de análisis*. *Estrat crític: revista d'arqueologia*, no 5, pp. 69-81.
- LINDENVALD, N. 1980. *La estructura de los metales*. Tercera edición. Ed. Geminis S.R.L. Buenos Aires.
- MERINO DE LA FUENTE, J. y MERINO DE LA FUENTE, R. 2020. *La medida del tiempo I: Relojes clásicos*. *Dialnet.unirioja.es* [en línea] [Consulta: 11 marzo 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4674793.pdf>
- MILLER, D. E. Y VAN DER MERWE, N. J. 1994. *Early metal working in sub-Saharan Africa: a review of recent research*. *The Journal of African History*, vol. 35, no 1, pp. 1-36.
- RESTAURANTE BELTRANE. 2012. *El invento del reloj*. [en línea] [Consulta: 30-05-2020] Disponible en: <https://restaurantebeltane.wordpress.com/2012/11/03/el-invento-del-reloj/>
- SOLER, J. 1881. *La escuela villenense de relojería una artesanía desaparecida*. *Revista Villena* [en línea] [Consulta: 10 abril 2020] Disponible en: <http://www.villenacuentame.com/2018/05/1981-la-escuela-villenense-de-relojeria.html>
- TARBUCK, E. J. Y LUTGENS, F. K. 2005. *Ciencias de la Tierra*, 8.ª edición. Pearson Educación S. A., Madrid. I.S.B.N 84-205-4400-0 pp. 14-18.
- UPV. 2020. *Unidad 12. Fundamentos de corrosión*. [en línea] [Consulta: 25-06-2020] Disponible en: [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Vista frontal I de un lado de la pesa. <i>Propiedad del autor</i> .....	7
Figura 2. Vista frontal III de un lado de la pesa. <i>Propiedad del autor</i> .....	7
Figura 3. Dibujo de las partes que conforman un reloj foliot. Imagen extraída de < <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Foliot.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Foliot.jpg</a> > .....	9
Figura 4. Grabado de la ciudad de Villena (1778) realizado por Juan Fernando Palomino. Extraída de < <a href="http://www.villenacuentame.com/2009/10/iglesia-arcedianal-de-santiago.html">http://www.villenacuentame.com/2009/10/iglesia-arcedianal-de-santiago.html</a> >.....	11
Figura 5. Vista frontal I de un lado de la pesa. <i>Propiedad del autor</i> .....	12
Figura 6. Vista frontal II de un lado de la pesa. <i>Propiedad del autor</i> .....	12
Figura 7. Vista frontal III de un lado de la pesa. <i>Propiedad del autor</i> .....	12
Figura 8. Vista frontal IV de un lado de la pesa. <i>Propiedad del autor</i> . ....	12
Figura 9. Vista cenital de la parte superior de la pesa. <i>Propiedad del autor</i> . ....	12
Figura 10. Vista frontal de la base de la pesa. <i>Propiedad del autor</i> . ....	12
Figura 11. Dibujo de las partes que conforman el mecanismo interno de un reloj foliot con sistema de escape. Extraída de < <a href="http://historiadela.com/reloj/">http://historiadela.com/reloj/</a> > .....	15
Figura 12. Dibujo de las partes que conforman el mecanismo de un reloj foliot con sistema de péndulo. Extraída de < <a href="http://www.anersis.es/baskets/mecanismo-reloj-pendolo-10575.html">http://www.anersis.es/baskets/mecanismo-reloj-pendolo-10575.html</a> >.....	15
Figura 13. Documento gráfico de la torre del Orejón. Extraída de < <a href="https://www.villenacuentame.com/2020/04/1590-torre-del-orejon.html?spref=fb">https://www.villenacuentame.com/2020/04/1590-torre-del-orejon.html?spref=fb</a> >.....	16
Figura 14. Inscripción encontrada en la iglesia de Nuestra Señora de la Asunción de Sax. Extraída de la Revista BILYANA, 2-2017, pp. 61. ....	16
Figura 15. Reloj de sala expuesto tras su restauración en el Museo arqueológico de Villena. Extraído de < <a href="http://www.villenacuentame.com/2012/10/2012-eres-mas-feo-que-el-orejon-de.html">http://www.villenacuentame.com/2012/10/2012-eres-mas-feo-que-el-orejon-de.html</a> >.....	16

Figura 16. Línea del tiempo de la Edad de los Metales en diferentes territorios. Extraída de < <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Edad_de_los_Metales">https://es.wikipedia.org/wiki/Edad_de_los_Metales</a> >.....	17
Figura 17. Cuchillo de hierro perteneciente a la Edad del Hierro. Museo de Prehistoria de Valencia. Encontrado en Mogente (Valencia). Extraída de < <a href="http://www.museuprehistoriavalencia.es/web_mupreva/">http://www.museuprehistoriavalencia.es/web_mupreva/</a> > .....	18
Figura 18. Punta-martillo de hierro perteneciente a la Edad del Hierro. Museo de Prehistoria de Valencia. Encontrado en Mogente (Valencia). Extraída de < <a href="http://www.museuprehistoriavalencia.es/web_mupreva/">http://www.museuprehistoriavalencia.es/web_mupreva/</a> >.....	18
Figura 19. Representación de la estructura cristalina en la Teoría del mar de electrones. Extraída de < <a href="https://es.slideshare.net/anitaghc/enlaces-quimicos-27023833">https://es.slideshare.net/anitaghc/enlaces-quimicos-27023833</a> >.....	19
Figura 20. Fotografía detalle al microscopio de los granos y dendritas de una aleación de Cu-Al, X1500. Extraída de < <a href="https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm03/pfcm3_2_5.html">https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm03/pfcm3_2_5.html</a> > .....	20
Figura 21. Dibujo esquemático de una aproximación de la tipología de la pesa en el pasado. <i>Propiedad del autor</i> .....	21
Figura 22. Procesos de corrosión electroquímica en un medio terrestre ácido. Extraída de: DOMÉNECH, M.T. 2013. <i>Principios físico-químicos de los materiales integrantes de los bienes culturales</i> . p.417. ....	24
Figura 23. Fotografía detalle de las concreciones terrosas presentes en un lateral de la obra. <i>Propiedad del autor</i> . ....	29
Figura 24. Fotografía detalle de la base de la pieza. <i>Propiedad del autor</i> .....	29
Figura 25. Fotografía detalle de la parte superior, con una pátina de magnetita (Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ). <i>Propiedad del autor</i> . ....	29
Figura 26. Fotografía detalle donde se encuentran presente la goethita y la limonita. <i>Propiedad del autor</i> .....	30
Figura 27. Fotografía detalle de los cloruros de hierro presentes en la obra. <i>Propiedad del autor</i> . ....	30
Figura 28. Fotografías detalle de los daños de laminaciones en la parte superior y central de la pieza. <i>Propiedad del autor</i> . ....	30

Figura 29. Fotografía detalle de los cráteres presentes en la pieza. Fotografía detalle de las laminaciones y grietas en la parte superior de la pieza. <i>Propiedad del autor</i> .....	31
Figura 30. Fotografía detalle de las laminaciones y grietas en la parte superior de la pieza. <i>Propiedad del autor</i> . ....	31
Figura 31. Fotografía detalle de las deformaciones presentes en la base de la pieza. <i>Propiedad del autor</i> .....	31
Figura 32. Dos de las bandas que se encuentran fracturadas en la pieza. <i>Propiedad del autor</i> . ....	31
Figura 33. Ultrasonidos motorizado con diferentes niveles. Extraída de < <a href="https://www.medicalexpo.es/prod/baolai-medical/product-84031869997.html">https://www.medicalexpo.es/prod/baolai-medical/product-84031869997.html</a> > .....	35
Figura 34. Imagen de la parte de la punta un vibroincisor con puntas de widia. Extraída de < <a href="https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=1658">https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=1658</a> > .....	35

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla con el orden de menor a mayor electronegatividad de algunos metales. ....	23
Tabla 2. Test de Wolbers. ....	33
Tabla 3. Componentes y neutralizadores de cuatro tipos de geles.....	37