

Monografías sobre la conservación del  
patrimonio ferrocarrilero valenciano

# Conservación preventiva en práctica





Monografías sobre la conservación  
del patrimonio ferroviario valenciano

# CONSERVACIÓN PREVENTIVA EN PRÁCTICA



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE  
RESTAURACIÓN DEL  
PATRIMONIO  
INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSITAT  
D'VALÈNCIA



GENERALITAT  
VALENCIANA

## Agradecimientos

La serie *Monografías sobre la conservación del patrimonio ferrotraniario valenciano* es una de las actividades de difusión planificadas en el proyecto I+D AICO/2021/095, financiado dentro del programa de subvenciones a grupos de investigación consolidados (CONSOLIDER) de la Consellería de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital de la Generalitat Valenciana.

### **Monografías sobre la conservación del patrimonio ferrotraniario valenciano**

© María Teresa Doménech Carbó

**Coordinación de la edición de la serie:** María Teresa Doménech Carbó

*Institut Universitari de Restauració del Patrimoni*  
*Universitat Politècnica de València*

**Fotografías:** Archivo

**Autores:** *Institut Universitari de Restauració del Patrimoni (Universitat Politècnica de València):* José Luis Denia Ríos, María Teresa Doménech Carbó, José Herráez Boquera, Susana Martín Rey, María Luisa Martínez Bazán, Enrique Priego de los Santos, Marco de Rossi Estrada, Andrés Rovira Cardete, Miguel F. Silva, María Victoria Vivancos Ramón.

*Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales (Universitat Politècnica de València):* Javier Orozco Messina.

*Departament Química Analítica (Universitat de València):* Antonio Doménech Carbó.

*Ferrocarriles de la Generalitat Valenciana:* Juan Luis Llop Bayo.

**Imagen de la portada:** Locomotora Mikado 141-F 2295 exhibida en los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València.

Autora de la fotografía: María Teresa Doménech Carbó.

**Diseño y maquetación:** Jesús Bordera - TXTO Editorial

**Edita:** TXTO EDITORIAL

Avda. Daniel Gil, 16 - Entlo. · Tel.: 96 291 04 43 · 46870 ONTINYENT (Valencia)

**ISBN obra completa:** 978-84-128223-1-1

**ISBN volumen 3:** 978-84-128223-3-5

**Depósito Legal:** V-394-2024

**Primera Edición:** 2023

Reservados todos los derechos. Está prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio o procedimiento de esta publicación sin la autorización previa, por escrito del editor, excepto las citas en revistas, diarios o libros si se hace constar la procedencia.

# Índice

<b>Prólogo</b> .....	9
<b>Parte 1. El contexto del bien cultural: la locomotora Mikado 141-F 9225</b>	
Capítulo 1: Conexiones técnicas e históricas en la conservación del patrimonio ferroviario: la Universitat Politècnica de València y la locomotora Mikado 141-F.....	13
1.1. Introducción.....	13
1.2. Razones para la conservación de este tipo de legado patrimonial.....	16
1.3. Importancia de las máquinas locomotoras: locomotora mikado 141F-2295.....	18
1.4. Factores ambientales y desafíos técnicos en la conservación de locomotoras al aire libre.....	21
1.5. Impacto en la comunidad universitaria y el papel de la conservación ferroviaria.....	24
1.6. Conclusiones.....	24
1.7. Referencias.....	25
Capítulo 2: Historia de una recuperación.....	27
2.1 Denominación de las locomotoras de vapor. Las locomotoras tipo Mikado.....	28
2.2. Las Mikado de RENFE.....	31
2.3. Distribución de la producción española. MACOSA. Símbolo de la fabricación ferroviaria autóctona valenciana.....	34
2.4. Cronología de eventos relacionados con el PGR de RENFE y con el modelo Mikado.....	37
2.5. Puesta en valor de la locomotora 141F-2295.....	40
2.6. Locomotoras Mikado preservadas en España.....	51
2.7. Conclusiones.....	54
2.8. Bibliografía.....	54
<b>Parte 2. Conservación preventiva en práctica</b>	
Capítulo 3: Programa-piloto de conservación preventiva.....	55
3.1. Estructura del programa-piloto de conservación preventiva.....	55
3.2. Planificación.....	56
3.3. Acción.....	56
3.4. Verificación.....	59
3.5. Actuación.....	59
3.6. Referencias.....	60
3.7. Bibliografía.....	60
Capítulo 4: Implementación del programa piloto de conservación preventiva.....	63
4.1. La locomotora Mikado 141-F 2295.....	64
4.2. Recopilación de información.....	68
4.3. Análisis de datos e identificación de vulnerabilidades.....	81
4.4. Evaluación de vulnerabilidades.....	83
4.5. Evaluación de vulnerabilidades en futuros escenarios del cambio climático.....	84
4.6. Implementación de subprogramas.....	86

4.7. Referencias.....	93
4.8. Bibliografía.....	93
Capítulo 5: Seguimiento y control de amenazas y procesos acumulativos.....	95
5.1. Organización del subprograma de seguimiento.....	95
5.2. Actuaciones de monitorización del medioambiente.....	96
5.3. Actuaciones de análisis físico-químico de la locomotora.....	96
5.4. Referencias.....	98
5.5. Bibliografía.....	98
Capítulo 6: Monitorización medioambiental.....	99
6.1. Monitorización medioambiental in situ.....	100
6.2. Fuentes de suministro de datos climáticos y de calidad de aire.....	100
6.3. Análisis de datos.....	101
6.4. Resultados.....	102
6.5. Implicaciones para la conservación de la locomotora.....	120
6.6. Referencias.....	121
6.7. Bibliografía.....	122
Capítulo 7: Colorimetría.....	123
7.1. Materiales y métodos.....	123
7.2. Resultados.....	123
7.3. Interpretación de resultados.....	129
7.4. Bibliografía.....	130
Capítulo 8: Microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido por emisión de campo- microanálisis de rayos X.....	131
8.1. Materiales y métodos.....	131
8.2. Resultados.....	132
8.3. Interpretación de resultados.....	182
8.4. Bibliografía.....	186
Capítulo 9: Haz de iones focalizado combinado con microscopía electrónica de barrido por emi- sión de campo-microanálisis de rayos X.....	187
9.1. Materiales y métodos.....	187
9.2. Resultados.....	188
9.3. Interpretación de resultados.....	193
9.4. Bibliografía.....	193
9.2. Resultados.....	193
Capítulo 10: Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier.....	195
10.1. Materiales y métodos.....	195
10.2. Resultados.....	196
10.3. Interpretación de resultados.....	213
10.4. Bibliografía.....	214
Capítulo 11: Voltammetry of immobilized microparticles.....	215
11.1. Open circuit potential measurements.....	215

11.2. Experimental.....	216
11.3. Results and discussion.....	217
11.4. Final considerations.....	211
11.5. References.....	211
<b>Parte 3. Puesta en valor en práctica</b>	
Capítulo 12: Modelización 3D para reproducción de piezas mediante técnicas geomáticas.....	223
12.1. La ingeniería inversa.....	224
12.2. Modelización 3D.....	225
12.3. Impresión 3D.....	227
12.4. Aplicación: modelo 3D del silbato de la locomotora Mikado.....	228
12.5. Conclusiones.....	237
12.6. Agradecimientos.....	238
12.7. Referencias bibliográficas.....	238





## Prólogo

**E**ste nuevo volumen de la serie monográfica “Estudios acerca de la conservación del patrimonio ferroviario valenciano”, elaborado en el marco del proyecto I+D AICO2021/095, adscrito al programa CONSOLIDER de la Generalitat Valenciana, presenta los resultados obtenidos en el caso de estudio considerado en el proyecto: la locomotora Mikado 141-F 2295. Tras haber sentado las bases conceptuales y metodológicas de la conservación de patrimonio ferroviario en el primer volumen de la serie, y del estudio de las implicaciones del cambio climático en el segundo volumen, en este tercer volumen se presenta un programa de conservación preventiva específicamente diseñado para patrimonio ferroviario y se muestran parte de los resultados de su implementación en la locomotora Mikado 141-F 2295 utilizada como caso de estudio en este programa-piloto de conservación preventiva. Otra novedad del programa diseñado es la inclusión de una sección dedicada a la prevención de los efectos adversos del cambio climático. Este fenómeno constituye hoy por hoy una realidad que no puede ser obviada, de ahí la necesidad de proporcionar una base metodológica a la hora de incorporarlo dentro de los programas de conservación preventiva.

Los contenidos del texto se han organizado en tres partes. La primera de ellas titulada “El contexto del bien cultural: la locomotora Mikado 141-F 9225” consta de dos capítulos en los que se sitúa al lector en el contexto de la locomotora. Se trata de un bien ferroviario que procede de RENFE y que fue donada por la Asociación Valenciana de Amigos del Ferrocarril (AVAF) a la Universitat Politècnica de València en la década de 1980, por lo que constituye un ejemplo de bien cultural gestionado por una entidad no directamente dependiente de las instituciones públicas locales, regionales o nacionales. Su gestión, por tanto, presenta muchas similitudes con otros muchos casos de patrimonio ferroviario con titularidad privada y podría servir de modelo a estos. Este ha sido, sin duda, uno de los objetivos del proyecto I+D AICO2021/095. En la segunda parte del libro, titulada “Conservación preventiva en práctica”, se presenta el programa-piloto de conservación preventiva elaborado para la locomotora Mikado 141-F 229. En el primero de los capítulos de esta parte se describe la estructura del programa, el cual va a seguir una metodología ágil basada en el modelo de gestión por procesos: planificación, acción, verificación y actuación. Siguiendo esta metodología, el programa se organiza con una

estructura que lo vertebra en tres subprogramas que se ocupan del seguimiento de vulnerabilidades, esto es, amenazas probables y procesos acumulativos ya en curso, del control de estas vulnerabilidades y de la gestión de situaciones de emergencia. En el capítulo siguiente se describen los resultados obtenidos en la primera fase del programa, que es común a los tres subprogramas, la cual consiste en la recopilación de información y datos de la locomotora y de sus vulnerabilidades. También se describen los procesos seguidos para la identificación de vulnerabilidades y la evaluación de estas. Los resultados obtenidos en esta etapa preliminar han permitido elaborar los tres subprogramas de seguimiento y control de vulnerabilidades y gestión de situaciones de emergencia. De acuerdo con los objetivos planteados en el proyecto I+D AICO2021/095, durante los tres años de ejecución del mismo se ha implementado el subprograma I de seguimiento de amenazas y procesos de deterioro acumulativos. En el capítulo “Seguimiento de amenazas y procesos acumulativos” se presenta en detalle la estructura del subprograma I dirigido al seguimiento de las vulnerabilidades identificadas en la locomotora Mikado 141-F 2295. En los siguientes seis capítulos se presentan los resultados obtenidos en el seguimiento de las vulnerabilidades identificadas en la locomotora Mikado 141-F 2295. Toda la información obtenida se ha organizado atendiendo al tipo de método analítico empleado. De este modo, todos los resultados del seguimiento de variables meteorológicas y de calidad del aire, registrados *in situ* o por consulta de bases de datos, se han agrupado en un capítulo. Los cinco capítulos restantes muestran los resultados obtenidos mediante diferentes técnicas instrumentales: la caracterización del aspecto visual obtenido mediante mediciones espectrofotométricas; las alteraciones micromorfológicas así como la composición elemental de la pintura de recubrimiento y los productos de corrosión del acero obtenida mediante técnicas de microscopía electrónica de barrido, microanálisis de rayos X y haz de iones focalizado (FESEM-EDX y FIB-FESEM-EDX, por sus siglas en inglés); la composición molecular y mineralógica obtenida mediante espectroscopía FTIR; los estudios de especiación y la identificación de procesos electroquímicos que están corroyendo el acero, realizados mediante voltamperometría de partículas inmovilizadas.

Finalmente, en la parte tercera del libro “Puesta en valor en práctica” se presenta el resultado de la aplicación de técnicas avanzadas de reintegración volumétrica de faltantes. Hasta fechas recientes la reintegración volumétrica en objetos se efectuaba mediante la obtención de moldes de la parte perdida del objeto (si esto era posible) y la posterior replicación con el mismo u otro material. La calidad de la réplica dependía de la fidelidad conseguida con el molde y de la capacidad para lograr una copia exacta con el material de replicación. El uso de materiales compuesto ha supuesto un gran avance. Sin embargo, la posibilidad de obtener imágenes digitalizadas tridimensionales mediante escaneo láser 3D y, sobre todo, la posibilidad de utilizar estas imágenes para obtener una réplica mediante impresión 3D en resina ha supuesto un auténtico cambio de paradigma en este campo. El último capítulo de este volumen tercero presenta los resultados obtenidos en la obtención de una réplica fiel del silbato, única parte faltante de la locomotora, mediante obtención de imagen digital e impresión 3D a partir de un silbato original de este modelo de locomotoras.

Es de esperar que los titulares y responsables de patrimonio ferrotraviario, a quienes está dirigida esta tercera monografía, hallen un modelo actualizado, con inclusión de los aspectos relativos al cambio climático, que les sea de utilidad en la compleja labor de elaborar programas de conservación preventiva.

**María Teresa Doménech Carbó**



## Parte 1

# El contexto del bien cultural: la locomotora Mikado 141-F 2295

## Capítulo 1:

### Conexiones técnicas e históricas en la conservación del patrimonio ferroviario: la Universitat Politècnica de València y la locomotora Mikado 141-F.

**Victoria Vivancos-Ramón, Susana Martín-Rey**

*Departamento Conservación y Restauración de Bienes Culturales.*

*Universitat Politècnica de València. Institut Universitari de Restauración del Patrimonio.*

#### Contenidos

##### 1.1. Introducción

1.1.1. Propósito y alcance del estudio realizado

1.1.2. Declaración de la relevancia de la conservación del patrimonio industrial ferroviario.

##### 1.2. Razones para la conservación de este tipo de legado patrimonial.

##### 1.3. Importancia de las máquinas locomotoras: locomotora mikado 141F-2295.

1.3.1. La imponente Mikado 141F-2295: características y contribución al ferrocarril.

1.3.2. Mikado 141F-2295 como pieza de patrimonio industrial de la Universitat Politècnica de València.

##### 1.4. Factores ambientales y desafíos técnicos en la conservación de locomotoras al aire libre.

##### 1.5. Impacto en la comunidad universitaria y el papel de la conservación ferroviaria.

##### 1.6. Conclusiones.

##### 1.7. Referencias

#### 1.1. Introducción

La conservación del patrimonio ferroviario, en particular de las máquinas locomotoras, es de gran importancia para la sociedad debido a diversas razones. En primer lugar, suponen un papel importante en la de la historia y la cultura. No puede olvidarse cómo las locomotoras y los trenes en general, desempeñaron un papel fundamental en la historia del transporte y el desarrollo de la sociedad. La preservación de estas máquinas permite a las generaciones presentes y futuras aprender sobre la evolución de la tecnología, la movilidad y la industria ferroviaria. Se contribuye de esta forma a preservar la identidad

social, ya que los ferrocarriles y las locomotoras son a menudo símbolos emblemáticos de una región o país. Por lo que la conservación de estas piezas históricas contribuye a preservar la identidad y la memoria colectiva de comunidades pasadas.

Por otra parte, las locomotoras antiguas en entornos universitarios (como el caso que nos ocupa), la Mikado 141F-2295 de la Universitat Politècnica de València (en adelante UPV), suponen una herramienta importante para la investigación y el perfeccionamiento tecnológico. Esta labor implica el desarrollo de conocimientos técnicos avanzados en campos como la ingeniería, la mecánica o la conservación del patrimonio. Se fomenta el estudio y el análisis de la conservación del patrimonio, estimulando así la investigación en estas áreas. De esta manera, la conservación de locomotoras históricas no solo preserva el legado cultural, sino que también impulsa el progreso en disciplinas clave, promoviendo el avance de la tecnología y el conocimiento.

### **1.1.1. Propósito y alcance del estudio realizado**

Mediante este trabajo, se persigue resaltar cómo la conservación de locomotoras y ferrocarriles no solo sirve para mantener viva la historia y la identidad de una sociedad, sino que también desempeña un papel crucial en el desarrollo de conocimientos técnicos avanzados, en campos de estudios interdisciplinarios, tal y como ocurre en el caso que se ejemplifica en la UPV.

También se busca fomentar la comprensión de la importancia de conservar el patrimonio ferroviario en múltiples dimensiones, desde la cultural hasta la tecnológica.

### **1.1.2. Declaración de la relevancia de la conservación del patrimonio industrial ferroviario**

Si estudiamos nuestra historia reciente, las actividades industriales han dejado una rotunda marca en nuestra herencia cultural que, por sus características, generalmente pasan inadvertidas. Esta herencia industrial se compone de los restos materiales y la memoria asociada a cada actividad en un lugar específico. Estos testimonios son fundamentales para comprender la historia de la humanidad, de España y de Valencia en nuestro caso, de los últimos dos siglos y su influencia en la evolución de los territorios, tanto urbanos como rurales. Estos recursos son un capital cultural frágil y muchas veces inadvertido, y por lo tanto requieren políticas y modelos de conservación que preserven y respeten su diversidad y su singularidad, puesto que su pérdida es irreversible.

El patrimonio industrial es una memoria histórica que varía según la época, el desarrollo industrial, los sectores de actividad y las áreas geoculturales donde ocurrió. Representa la relación de la sociedad con las huellas del pasado industrial, preservando tanto sus elementos materiales como los inmateriales vinculados a la memoria del trabajo y el lugar. Su estudio requiere la colaboración interdisciplinaria debido a la diversidad de circunstancias industriales. (Millward, R., 2005)

La industrialización, un proceso de origen europeo, conecta la historia contemporánea española con la revolución científica y la Ilustración. El patrimonio industrial se convierte en un recurso cultural valioso que influye en la identidad colectiva y en cómo España contribuye a la modernidad y al bienestar. Esto incluye aspectos científicos, técnicos, sociales,

medioambientales y simbólicos, así como los paisajes industriales notables. (Ment, I., 2001)

A pesar de los esfuerzos de asociaciones, administraciones y entidades de investigación, existen desafíos y ambigüedades en la conservación y gestión del patrimonio industrial. Esto requiere una constante reevaluación conceptual y metodológica de su significado y alcance. Además, se plantea la necesidad de aprovechar las inversiones pasadas y vincular los recursos patrimoniales con las industrias culturales creativas para garantizar su protección, conservación y proyección futura.

En el año 1978 fue en Inglaterra donde se crea el Comité Internacional para la Conservación y Defensa del Patrimonio Industrial -TICCIH, momento que coincide con la primera inclusión por parte de la UNESCO de un elemento industrial, las minas de sal de Wieliczka, Polonia y su declaración de patrimonio de la Humanidad. Esta entidad pionera tiene como principales objetivos promover la cooperación internacional para preservar, conservar, investigar, documentar, interpretar y fomentar la educación sobre el patrimonio industrial. En el caso de TICCIH España, tiene creada una comisión temática específica sobre ferrocarriles y su patrimonio industrial, donde quedaría incluida nuestra Mikado 141F-2295, objeto de este estudio. (UNESCO, 2023)

Este grupo de trabajo internacional se unió a entidades tan importantes como ICOMOS quienes conjuntamente publicaron criterios de conservación de patrimonio industrial, y se desarrollaron precisiones conceptuales en los denominados TICCIH Principles for the Conservation of Industrial Heritage Sites, Structures, Areas and Landscapes (The «Dublin Principles»). (TICCIH, 2023)

Desde el año 2000 en España existe un Plan Nacional de Patrimonio Industrial, el cual se ha revisado varias veces desde su aprobación por el Consejo de Patrimonio Histórico, y que trata de dar soluciones y servir de guía para todos los especialistas interdisciplinares interesados en la defensa y divulgación de este tipo de patrimonio (IPC, 2011). Se trata de un corpus con una metodología propia y admitida, denominada arqueología industrial que, de forma interdisciplinar, estudia y pone en valor los restos materiales e inmateriales como testimonio histórico de estos procesos productivos y de avances tecnológicos. (Ley 4/2004 GVA, 2004)

Este Plan Nacional afecta tanto a bienes muebles como inmuebles y nos permite entender las estructuras, el proceso de desarrollo de las sociedades, fuentes de energía, lugares, espacios de trabajo, organización productiva y la forma en la que se vincula con la economía basada, principalmente, en la mecanización de los procesos productivos.

Desafortunadamente la conservación del patrimonio ferroviario, a pesar de su gran importancia y repercusión histórica, hasta la fecha en España no ha sido abordada desde un plan integral nacional, quedando relegado muchas veces a la acción puntual de determinadas administraciones locales o al interés de aficionados y coleccionistas, quienes, desde un punto de vista intuitivo, han tratado de poner freno y solucionar la problemática que presenta este patrimonio.

Es un patrimonio complejo pues son múltiples las diferentes manifestaciones materiales e inmateriales que abarca: máquinas, puentes, infraestructuras en general, documentación histórica, archivos fotográficos, archivos documentales y un largo etc. Así mismo son muchas y variadas las diferentes tipologías, los diferentes materiales que lo pueden llegar a conformar, los diferentes contextos en los que se pueden encontrar y los diferentes

riesgos que los atenazan atendiendo a estas tipologías. (TICCIH, 2023)

La falta de percepción social e institucional del valor y significado del patrimonio industrial representa uno de los riesgos más importantes que enfrenta este legado histórico y cultural. En muchos casos, el patrimonio industrial se ha subestimado o incluso ignorado debido a una falta de comprensión de su papel en la historia de la sociedad. Los ciudadanos pueden no darse cuenta de que las fábricas, minas, ferrocarriles y otros sitios industriales desempeñaron un papel crucial en la revolución industrial, que transformó la forma en que vivimos y trabajamos.

Desde el punto de vista del visitante si se compara un sitio industrial frente a un museo convencional de Bellas Artes, generalmente se antoja al primero como aburrido y carente del atractivo estético del segundo. Esta percepción negativa se ve agravada cuando no solamente el visitante es el que así lo considera, sino cuando los responsables o los gestores del bien se unen a esta pobre visión. Esta situación muchas veces ha resultado en una devaluación y/o pérdida del bien industrial por la presión del desarrollo urbano, por destinar insuficientes recursos económicos, o por intereses particulares mal entendidos.

Para abordar este riesgo de desafección por el patrimonio industrial, es fundamental aumentar la conciencia pública y la apreciación de este. Esto implica educar al público sobre su importancia histórica, cultural y económica, así como promover su valor estético y artístico. (Guajardo, G., 2007) Además, es esencial que las instituciones gubernamentales y organizaciones de preservación sigan reconociendo y respaldando el patrimonio industrial como parte integral de la identidad y la historia de una sociedad, asignando los recursos necesarios para su conservación y puesta en valor.

## **1.2. Razones para la conservación de este tipo de legado patrimonial**

La conservación del patrimonio ferroviario, en particular de las máquinas locomotoras, es de gran importancia para preservar el capital cultural de una sociedad debido a diversas razones. En primer lugar, suponen un papel importante en la de la historia y la cultura. No puede olvidarse cómo las locomotoras y los trenes en general, desempeñaron un papel fundamental en la historia del transporte y el desarrollo de la sociedad. La preservación de estas máquinas permite a las generaciones presentes y futuras aprender sobre la evolución de la tecnología, la movilidad y la industria ferroviaria. Se contribuye de esta forma a preservar la identidad social, ya que los ferrocarriles y las locomotoras son a menudo símbolos emblemáticos de una región o país. Por lo que la conservación de estas piezas históricas contribuye a preservar la identidad y la memoria colectiva de comunidades pasadas. (Dunmade, I., 2002)

Por otra parte, las locomotoras antiguas en entornos universitarios (como el caso que nos ocupa), la Mikado 141F-2295 de la UPV, suponen una herramienta importante para la docencia, la investigación y el perfeccionamiento tecnológico. (Fig. 1 y Fig.2)

Hay dos puntos añadidos a los anteriores que fortalecen la conservación de este tipo de Patrimonio industrial: el fomento de respeto por el medio ambiente, y el fortalecimiento de ideas ligadas al voluntariado y la participación comunitaria. En el primer caso, los ferrocarriles históricos a menudo son símbolos de una época en la que la movilidad estaba más ligada al ferrocarril y menos a la carretera. Promover el uso del transporte ferroviario



histórico puede ayudar a concienciar sobre la eficiencia energética y la sostenibilidad en el transporte. En cuanto a la participación de la comunidad universitaria, este aspecto viene relacionado con su conservación, que depende en gran medida de voluntarios y especialistas universitarios que dedican su tiempo y esfuerzo para preservar estas piezas, fomentándose así el sentido de comunidad y participación ciudadana.

Este estudio, permite resaltar cómo la conservación de locomotoras y ferrocarriles no solo sirve para mantener viva la historia y la identidad de una sociedad, sino que también desempeña un papel crucial en el desarrollo de conocimientos técnicos avanzados, en campos de estudios interdisciplinarios, tal y como ocurre en el caso que se ejemplifica en la UPV.



**Figura 1.1.** Vista general de la locomotora MIKADO 141F-2295 conservada en la Universitat Politècnica de Valencia. Martín, S. (2019).



**Figura 1.2.** Placa identificativa del modelo de locomotora MIKADO 141F-2295 de la Universitat Politècnica de Valencia. Martín, S. (2019).

### 1.3. Importancia de las máquinas locomotoras: locomotora Mikado 141F-2295

La exploración de la función y evolución de las máquinas locomotoras en el contexto de los ferrocarriles españoles conlleva un análisis de profundo calado en el ámbito ferroviario. Las locomotoras, siendo el núcleo operativo de las operaciones ferroviarias, han sido un componente crítico en el desarrollo y eficiencia del sistema de transporte ferroviario en España.

El análisis de la función de las máquinas locomotoras abarca la comprensión de su rol en la tracción y movimiento de trenes, así como su contribución a la seguridad operativa y a la gestión de la energía. Esto involucra la evaluación de sus capacidades de tracción, sus sistemas de control y regulación, y su rendimiento en diversas condiciones de carga y topografía.

La evolución de las máquinas locomotoras en el contexto ferroviario español ha sido un proceso gradual que ha reflejado los avances tecnológicos, económicos y operativos a lo largo del tiempo. Se ha presenciado una transición desde las locomotoras de vapor del siglo XIX a las locomotoras diésel y eléctricas modernas. Este proceso evolutivo ha sido impulsado por factores como la eficiencia energética, la capacidad de tracción, la automatización, la reducción de emisiones y el cumplimiento de normativas de seguridad ferroviaria. (Buchanan, R.A., 1986)

La exploración de la función y evolución de las máquinas locomotoras en los ferrocarriles españoles requiere un enfoque multidisciplinario que incluya análisis históricos, ingeniería de ferrocarriles, tecnología de tracción, y regulaciones ferroviarias. Además, es vital tener en cuenta el contexto socioeconómico y ambiental que ha influido en las decisiones de inversión y desarrollo en el sector ferroviario. Este análisis proporciona una comprensión integral de cómo las máquinas locomotoras han sido y siguen siendo un elemento fundamental en la optimización y modernización del sistema ferroviario español.

#### 1.3.1 La Imponente Mikado 141F-2295: Características y Contribución al Ferrocarril

La locomotora Mikado 141F-2295, un modelo icónico en la historia de los ferrocarriles, es admirable por su imponente presencia y características sobresalientes. Con su diseño robusto y su disposición de ruedas 1-4-1, esta locomotora de vapor desempeñó un papel fundamental en el transporte ferroviario en el siglo XX. Su capacidad de tracción excepcional la convirtió en una elección popular para arrastrar trenes de carga pesados en líneas ferroviarias tanto en Francia como en otros lugares de Europa. (Llop, J.L., Signes, F., 2008)

Este tipo de locomotoras de vapor se caracterizan por tener una disposición de ejes 1-4-1, lo que significa que tiene un eje delantero de guiado, cuatro ejes motores y un eje final de apoyo. Esta disposición de ejes fue popularmente denominada Mikado después de que Estados Unidos vendiera un pedido de locomotoras con esta configuración a la Nippon Railway en 1897, coincidiendo con el estreno de una ópera muy popular en Estados Unidos llamada "Mikado", que estaba asociada a la cultura japonesa. (AFEMAT, 2023)

Otros ejemplos de Mikado que se conservan, además de la que alberga la UPV, se encuentran en el parque de Santo Tomás de Ciudad Real (modelo 141F-2400), y en Las Matas (141-2240), que puede ser visitada por dentro cuando el Museo del Ferrocarril está

abierto. (AFEMAT, 2023)

Independientemente del modelo, generalmente estaban dotadas de una caldera eficiente que generaba vapor a partir del combustible, la Mikado 141F-2295 exhibía un diseño imponente con una gran chimenea y una cabina para el conductor en la parte delantera. Este diseño no solo era funcional, sino que también contribuía a su apariencia distintiva. Las locomotoras Mikado, y la 141F-2295 en particular, eran conocidas por su confiabilidad y rendimiento robusto, lo que las hacía una elección preferida en aplicaciones de carga.

La historia de la Mikado 141F-2295 está ligada a la expansión de los ferrocarriles en Europa y América. A lo largo de su vida útil, estas locomotoras experimentaron cambios y mejoras tecnológicas destinadas a aumentar su eficiencia y rendimiento. Desde mejoras en la combustión hasta sistemas de frenado más avanzados, la Mikado 141F-2295 representó una parte importante de la evolución tecnológica en la tracción ferroviaria. (Ment, I., 2001)

Además de su relevancia histórica y tecnológica, la Mikado 141F-2295 desempeñó un papel crucial en el transporte de pasajeros y mercancías a lo largo de la extensa red ferroviaria europea, con especial atención en Francia. Su capacidad para sortear pendientes pronunciadas y arrastrar trenes pesados contribuyó al desarrollo económico y al comercio a lo largo de las rutas ferroviarias. Además, estas locomotoras evocan una sensación de nostalgia y son símbolos emblemáticos de una época en la que el ferrocarril era la columna vertebral del transporte. (Llop, J.L., Signes, F., 2008)

El formato habitual de una locomotora Mikado 141F-2295 se caracteriza por un diseño clásico de locomotora de vapor, imponente y estilizado, con líneas elegantes y colores característicos, a menudo combinando negro con detalles en rojo. Los pormenores decorativos pueden variar según la época y la compañía ferroviaria propietaria de la locomotora, así como según la versión exacta del modelo y las modificaciones realizadas a lo largo de su vida útil. Estos aspectos concretos se describen en el siguiente subapartado. (AFEMAT, 2023)

### 1.3.2 Mikado 141F-2295 como pieza de Patrimonio Industrial de la UPV.

Tras ser donada a la Escuela Técnica Superior de Industriales, el 26 de mayo de 1982 hizo su entrada en la UPV la MIKADO 141F-2295 transportada por un camión tráiler. En 2008 se celebró un acto conmemoración de su 25 aniversario en nuestra universidad.

Hay que indicar, que cada locomotora de esta tipología puede presentar ligeras variaciones según su uso y las consideraciones relativas a su conservación. (Marx, L., 2010) A continuación, procedemos a una descripción detallada de los componentes principales de la locomotora Mikado 141F-2295 perteneciente a la Universitat Politècnica de Valencia (UPV). (Llop, J.L., Signes, F., 2008; Marín, S., 2013) (Fig.3 y Fig.4):

- *Cabina del Conductor:* En la parte delantera de la locomotora se encuentra la cabina del conductor. Aquí es donde el maquinista y el fogonero operan la locomotora. La cabina suele estar equipada con controles para regular la velocidad, la dirección y la presión del vapor, así como sistemas de frenado y otros dispositivos de seguridad.
- *Caldera:* En la parte frontal de la locomotora se encuentra la caldera, que es el corazón de la locomotora de vapor. La caldera es una estructura de forma cilíndrica

que almacena agua y la calienta para producir vapor. Esta sección es crítica para la generación de energía que impulsa las ruedas motrices.

- *Chimenea:* En la parte superior de la caldera se ubica la chimenea, que es por donde se expulsan los gases de la combustión producida por la quema de carbón o petróleo. La chimenea es un componente característico de las locomotoras de vapor y puede variar en tamaño y forma según el modelo.
- *Ruedas Motrices:* La disposición de ruedas de una Mikado 141F-2295 es típicamente 1-4-1, lo que significa una rueda delantera, cuatro ruedas motrices y una rueda trasera. Las ruedas motrices son las que transmiten la potencia generada por la caldera a las vías, permitiendo que la locomotora se mueva.
- *Tender (Tolva):* Detrás de la locomotora, suele encontrarse el tender, que es un vagón especial utilizado para transportar agua y combustible, generalmente carbón, que alimenta la caldera. El tender es fundamental para mantener el suministro de agua y combustible durante el viaje.
- *Sistema de rodaje:* La Mikado 141F-2295 cuenta con un mecanismo que conecta las ruedas entre sí y con la caldera, lo que permite la transmisión de energía desde la caldera hasta las ruedas motrices. Este sistema de rodaje se compone de una serie de varillas y bielas que convierten el movimiento del pistón en movimiento de las ruedas.
- *Otros Componentes:* Esta locomotora también incluye una variedad de componentes auxiliares, como faros delanteros y traseros para la iluminación, sistemas de frenado, reguladores de vapor y dispositivos de seguridad, como el timbre de advertencia y el silbato.



**Figura 1.3.** Modelo de locomotora MIKADO 141F-2111, perteneciente al Museo del Ferrocarril de Galicia. Disponible en: URL [https://muferga.es/?page\\_id=341](https://muferga.es/?page_id=341). [Consultado 13-06-2023].



**Figura 1.4.** Modelo de locomotora MIKADO 141–2240, conservada en el Museo de Ferrocarril de las Matas (Madrid). Disponible en: <https://www.afemat.org/la-mikado>. [Consultado 30-05-2023].

#### 1.4. Factores ambientales y desafíos técnicos en la conservación de locomotoras al aire libre

La conservación de locomotoras históricas en exposición al aire libre conlleva una serie de desafíos técnicos intrínsecos que requieren atención especializada y estrategias de mantenimiento continuas.

La exposición continuada de la Mikado 141F-2295, al aire libre se enfrenta a amenazas continuas como la corrosión de sus componentes metálicos, el deterioro de materiales orgánicos, acumulación de suciedad y polvo medioambiental, y posibles deterioros provocados por vandalismo. A continuación se desarrollan los daños y patologías más representativas que manifiesta de forma concreta:

- **Corrosión:** La exposición constante a la humedad y a los cambios de temperatura a los que se ha sometido la Mikado a lo largo de su vida material, ha provocado la corrosión de su superficie metálica. (Gallaccio, A., 1982) Esta oxidación de la superficie férrea expuesta a la intemperie es un fenómeno electroquímico complejo que afecta a los componentes metálicos, dañándolos de forma irreversible, por lo que la prevención es la mejor herramienta para la correcta conservación de este tipo de piezas patrimoniales. (García, I. M., 2013)

El entorno medioambiental que rodea a la Mikado de la UPV, es particularmente complejo en este sentido. Con una cercanía de menos de 2km a la costa, la humedad relativa que rodea a la pieza supera el 60-80% de humedad relativa, con una concentración de salinidad de aproximadamente un 3,5% en peso, contribuyendo significativamente a la corrosión de su material férreo. (Doménech, M.T., 2013) (Fig.5)

Por otra parte, su cercanía al entorno urbano con tráfico vehicular intenso en determinadas franjas horarias, hace que los contaminantes atmosféricos sean acusados, donde óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre actúan como catalizadores importantes del material férreo, acelerando su degradación.



**Figura 1.5.** Erosión y desgaste de la pintura de la cabina, antes de su intervención restaurativa. Martín, S. (2019).

- **Erosión y desgaste de la pintura de acabado exterior:** La pintura de recubrimiento, es una de las partes de la locomotora con mayor desgaste debido a la exposición a la luz solar, la lluvia y otros elementos climáticos. Esto no solo afecta su apariencia estética, sino que también puede acelerar la corrosión del material férreo, tal y como hemos visto anteriormente. (Gallaccio, A., 1982) (Fig.6)
- **Acumulación de suciedad y residuos medioambientales:** El depósito de polvo y suciedad, afecta la correcta conservación de los materiales, favoreciendo el asentamiento y desarrollo de agentes biológicos de deterioro, que contribuyen a la herrumbre y oxidación de los materiales férreos de la locomotora. (Fontana, M.G., 1988) (Fig.7)
- **Daños biológicos por fauna y flora:** La vegetación y la fauna que se desarrollaron alrededor o en la propia locomotora han causado daños adicionales a lo largo del tiempo, como la erosión de la pintura y la corrosión, estos problemas han sido erradicados en la actualidad debido a un mantenimiento conservativo continuo. (Díaz, S; García, E., 2011)
- **Factores humanos y deterioro:** En algunos casos, las locomotoras en lugares públicos pueden ser objeto de vandalismo o robo de componentes, lo que puede causar daños considerables o la pérdida de piezas valiosas. En el caso de la Mikado de la UPV, al formar parte del conjunto de Patrimonio Industrial de la universidad, el con-

El mantenimiento en este sentido es fundamental al igual que el resto de piezas patrimoniales que alberga.

El continuo desarrollo de estrategias técnicas que aborden estos desafíos, asegura la conservación de la locomotora, así como la continuidad de su legado histórico y cultural a generaciones futuras.



**Figura 1.6.** Desgaste de la pintura de acabado exterior.



**Figura 1.7.** Residuos de suciedad medioambiental. Martín, S. (2019).

## 1.5 Impacto en la comunidad universitaria y el papel de la tecnología y conservación ferroviaria

Tal y como se ha mencionado con anterioridad la máquina Mikado141F-2295 forma parte de la colección de patrimonio ferroviario de la UPV, conjuntamente con otros bienes, como una sección de vía férrea de 21m de longitud que data de 1914: también cuenta con un pequeño corpus de planos de estaciones y fotografías antiguas. Poder disponer de esta colección para nuestra comunidad universitaria supone un enriquecimiento patrimonial y académico en sectores de estudio afines a estos objetos.

Acceder a esta colección ayuda a que los investigadores y docentes puedan mejorar y ampliar conocimientos científicos, tecnológicos e incluso etnográficos, conocimientos que a posteriori serán divulgados en las aulas y que conllevarán una mejora en la formación de los estudiantes. Se hace evidente que un alumno siempre será mucho más receptivo a cualquier aprendizaje si se usa una metodología práctica y real. Poder disfrutar a pie de calle de un objeto de esta importancia y envergadura, poder examinarlo con detenimiento y comprender la tridimensionalidad de este, es una herramienta educativa de gran valor y eficiencia.

Dentro de la comunidad universitaria cada vez va aumentando el aprecio por su rico y variado patrimonio cultural fruto de donaciones de los profesores investigadores o de coleccionistas externos que en un determinado momento entendieron que los museos y colecciones de la UPV, eran un buen sitio para poder conservar estos objetos. Esta labor de mejora en la percepción se va consiguiendo principalmente por el plan de divulgación y sensibilización que se viene desarrollando desde hace años por el Fondo de Arte y patrimonio UPV mediante charlas, conferencias, divulgación en las redes sociales, cursos de fotografías, exposiciones... (Vivancos, M.V., Martín, S., Simón, J.M., 2015)

Esta máquina es uno de los elementos identitarios de esta universidad y esto sí que es apreciado tanto por los estudiantes que se sientan en nuestras aulas, como por los titulados que en algún momento formaron parte de nuestra comunidad universitaria y pasaron infinidad de veces a su alrededor.

Las acciones de divulgación y sensibilización van dejando huella en los estudiantes ya que si no se conoce una cosa no se la valora, no se la aprecia y por lo tanto no se la cuida. De ahí la importancia de divulgar y dar a conocer nuestro patrimonio: Labor de sensibilización. Se trata de bienes que están puestos para el disfrute de la comunidad universitaria y se debe tomar conciencia de la responsabilidad que eso conlleva, del cuidado y de las acciones que no deberían hacerse para no perjudicarla.

## 1.6. Conclusiones

Como puede observarse, la conservación del patrimonio ferroviario, con un énfasis en la conservación de máquinas locomotoras, es importante porque no solo permite mantener viva la historia y la cultura ferroviaria, sino que también brinda beneficios educativos y culturales a la sociedad en su conjunto.

La locomotora Mikado 141F-2295 conservada en la UPV es un testimonio viviente de la importancia histórica, técnica y operativa de las locomotoras de vapor en el desarrollo del transporte ferroviario europeo. Su legado perdura como un recordatorio de la era



dorada de los ferrocarriles y de la ingeniería que impulsó la expansión de este sistema de transporte en el siglo XX.

### 1.7. Referencias

Martin, S. et al. (2020) *Museus UPV. Museos y Colecciones de la Universitat Politècnica de València*. Valencia: TXT Editorial.

Amigos del Ferrocarril de Las Matas. (AFEMAT). Disponible en: <https://www.afemat.org/la-mikado>. [Consultado 15-09-2023].

Buchanan, R.A. (1986) "The Diaspora of British Engineering". En: *Technology and Culture*, Vol. 27, pp. 501-524. Baltimore: Johns Hopkins University.

CARTA DE NIZHNY TAGIL SOBRE EL PATRIMONIO INDUSTRIAL. (2003). De: <http://ticcih.es/wp-content/uploads/2012/03/nizhny-tagil-charter-sp.pdf>. [Consultado 23-10-2023].

Costanza, R. (2003): "A Vision of the Future of Science: Reintegrating the Study of Humans and the Rest of Nature". En: *Futures Studies Research Journal*, 35:6, pp. 651-671. Sao Paulo: Universidade de São Paulo.

Díaz, S; García, E. (2011) *Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico*. Madrid: Instituto Patrimonio Cultural de España.

Doménech, M.T. (2013) *Principios fisicoquímicos de los materiales integrantes de los bienes culturales*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.

Dunmade, I. (2002): "Indicators of Sustainability: Assessing the Suitability of a Foreign Technology for a Developing Economy". En: *Technology in Society*, 24:4, pp. 461-471. London: Elsevier.

Fontana, M.G. (1988) *Corrosion Engineering*. Singapore: McGraw-Hill.

Gallaccio, A. (1982) *Atmospheric corrosion of metals*. Baltimore: ASTM Special Technical Publication.

García, I. M. (2013) *La conservación preventiva y la exposición de objetos y obras de arte*. Madrid: Alianza Editorial.

Gujardo, G. (2007) *Tecnología, estado y ferrocarriles en Chile 1850-1950*. México: Universidad Autónoma de México.

Instituto del Patrimonio Cultural de España [IPCE]. (2011). Plan Nacional de Patrimonio Industrial. De: [http://ipce.mcu.es/pdfs/PN\\_PATRIMONIO\\_INDUSTRIAL.pdf](http://ipce.mcu.es/pdfs/PN_PATRIMONIO_INDUSTRIAL.pdf) [Consultado 05-10-2023].

Ley 4/2004, de 30 de junio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio y Protección del Paisaje. [https://dogv.gva.es/portal/ficha\\_disposicion\\_pc.jsp?sig=3016/2004&L=1](https://dogv.gva.es/portal/ficha_disposicion_pc.jsp?sig=3016/2004&L=1) [Consultado 03-09-2023].

Llop, J.L., Signes, F. (2008) *Locomotoras, vapor e ingeniería industrial*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

Marín, S. (2013) *Los ferrocarriles en Chile*. Santiago de Chile: Cámara Chilena de la Construcción.

Marx, L. (2010) "Technology: the emergence of a hazardous concept". En: *Technology and Culture*, 51, pp. 561-577. Baltimore: Johns Hopkins University.

Ment, I. (2001) *Los beneficios privados y sociales de inversiones en infraestructura: una evaluación de un ferrocarril del siglo XIX y una comparación entre esta y un caso del presente*. Santiago de Chile: CEPAL.

Millward, R. (2005) *Private and Public Enterprise in Europe. Energy, telecommunications and transport, 1830- 1990*. Cambridge: Cambridge University Press.

Museo del ferrocarril. De: <https://www.museodelferrocarril.org/archivoybiblioteca/index.asp> [Consultado 21-10-2023].

O'Brien, P. (1977) *The new economic history of the railways*. London: Croom Helm.

Organización de las naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

PATRIMONIO. UNESCO. De: <https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/digital-library/cdis/Patrimonio.pdf> [Consultado 26-09-2023].

The International Committe for the Conservation of the Industrial Heritage. (TICCIH). Disponible en: <https://ticcih.org/> [Consultado 05-10-2023].

TICCIH Principles for the Conservation of Industrial Heritage Sites, Structures, Areas and Landscapes (The «Dublin Principles»). 2011. De: [http://ticcih.es/wp-content/uploads/2012/03/GA2011\\_ICOMOS\\_TICCIH\\_joint\\_principles\\_EN\\_FR\\_final\\_20120110.pdf](http://ticcih.es/wp-content/uploads/2012/03/GA2011_ICOMOS_TICCIH_joint_principles_EN_FR_final_20120110.pdf) . [Consultado 30-09-2023].

Vivancos, M.V., Martín, S., Simón, J.M. (2015) "Arte y tecnología en los museos universitarios del siglo XXI: retos y realidades". En: Congreso Internacional Museos Universitarios, Tradición y Futuro. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

## Capítulo 2: Historia de una recuperación

**Juan Luís Llop Bayo<sup>1</sup>, Javier Orozco Messana<sup>2</sup>, Andrés Rovira Cardete<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup>Documentalista y exmaquinista FGV. Vocal de relaciones externas y patrimonio de AVAF. Valencia

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. UPV. Cno. de Vera, s/n 46022 Valencia

<sup>3</sup>I2MB. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. UPV. Cno. de Vera, s/n 46022 Valencia

### Contenidos

- 2.1. Denominación de las locomotoras de vapor. Las locomotoras tipo *Mikado*
- 2.2. Las *Mikado* de RENFE
  - 2.2.1. Las primeras *Mikado* (NORTE, 1915)
  - 2.2.2. Plan General de Reconstrucción de RENFE (1949)
- 2.3. Distribución de la producción española. MACOSA. Símbolo de la fabricación ferroviaria autóctona valenciana
- 2.4. Cronología de eventos relacionados con el PGR de RENFE y con el modelo *Mikado*
- 2.5. Puesta en valor de la locomotora 141F-2295
  - 2.5.1. Fin de la era del vapor en RENFE
  - 2.5.2. Recuperación por parte de AVAF y donación a la UPV
  - 2.5.3. Actuaciones de restauración en la *Mikado* 141F-2295
  - 2.5.4. Mantenimiento de la locomotora *Mikado* 141F-2295 y propuesta de conservación.
- 2.6. Locomotoras *Mikado* preservadas en España
- 2.7. Conclusiones
- 2.8. Bibliografía

**E**n este capítulo se presenta la historia de la recuperación para la locomotora *Mikado* 141F-2295 desde cómo se salvó de su destrucción como chatarra tras el apagado del vapor en RENFE en 1975 gracias a unos jóvenes aficionados al ferrocarril. Y como, gracias a la sensibilidad del por entonces director de la ETSII de la UPV, Justo Nieto, esta locomotora se consiguió y se trasladó al campus de Vera de la UPV.

La fabricación de la serie de locomotoras *Mikado* queda contextualizada dentro del Plan General de Reconstrucción de RENFE que se puso en marcha en el año 1949 en una España de posguerra que necesitaba medios de tracción de forma urgente y que era conocedora de la tecnología del vapor. Tras el fin de la autarquía, se decidió hacer el pedido a la compañía británica *North British Locomotive Co. Ltd.* (NBL), de Glasgow, Reino Unido. La entrega de locomotoras se realizó entre los años 1953 y 1960. El pedido completo estuvo compuesto por 242 máquinas. Por otra parte, y siguiendo la tendencia en los países del entorno europeo, se dio fin a la era del vapor en RENFE en el año 1975, si bien hubo alguna excepción. Esto supuso que las máquinas apenas se usaran entre 22 y 15 años y no se llegara a amortizar su inversión.

Descrito el contexto histórico, se presenta el proceso de puesta en valor de la locomotora 141<sup>F</sup>-2295 objeto del estudio del caso de este capítulo. Se describen las restauraciones realizadas y se presenta una propuesta para su conservación.

Finalmente, se detalla un listado de las locomotoras *Mikado* que aún se conservan en España, en presentación como monumento ferroviario o, en algunos casos, en condición de funcionamiento.

### 2.1. Denominación de las locomotoras de vapor. Las locomotoras tipo *Mikado*

Las locomotoras de vapor se nombran según un código de dos bloques. El primer bloque indica el tipo de máquina y, el segundo, su número asignado dentro de ese tipo. La figura 2.1 muestra dos placas de distintas locomotoras de vapor.



**Figura 2.1.** Placas de locomotora con su numeración: izquierda: Locomotora 120-0201 y derecha, locomotora 141<sup>F</sup>-2295.

Según el primer bloque, la forma más común de denominar las locomotoras de vapor es según la configuración de la rodadura. Así, el sistema francés o español utiliza la denominación  $xyz$  o  $x-y-z$  siendo  $x$  el número de ejes portantes delanteros,  $y$ , el número de ejes motores acoplados y  $z$ , el número de ejes portantes traseros. Por otro lado, el sistema americano, empleado en los países anglosajones (Whyte) nombra el número de ruedas, por lo que de forma simbólica, la locomotora anterior se llamaría  $2x-2y-2z$ . Finalmente, el sistema alemán (que dará lugar a la clasificación UIC) usaría el código  $x-a-z$ , siendo  $a$  una letra en función del número de ejes motores acoplados.

Existen otro tipo de clasificaciones en el mundo, como el sistema suizo, pero no son tan claros a la hora de definir la configuración de la rodadura. Así, para definir una locomotora

de forma inequívoca, telegráficamente, y a nivel internacional, a cada configuración de rodadura se le dio un nombre. Por ejemplo, la configuración 230 (4-6-0 (Whyte) o 2-C-0 (alemán)) se conocería como *Ten-wheeler*, la configuración 240 (4-8-0 (Whyte) o 2-D-0 (alemán)) sería la *Mastodonte*, la configuración 241 (4-8-2 (Whyte) o 2-D-1 (alemán)) sería la *Montaña*, o la 151 (2-10-2 (Whyte) o 2-E-2 (alemán)) se llamó *Santa Fe*. Del mismo modo, la configuración 141 (2-8-2 (Whyte) o 1-D-1 (alemán)) se pasaría a llamar *Mikado*.

Según indican Maestro y Miquel (2008 p. 8) las primeras locomotoras de tipo 141 fueron construidas por la compañía Baldwin Locomotive Works de Philadelphia, con el planteamiento de un bisel delantero, cuatro ruedas motoras acopladas y un bisel trasero. Se destinaron al nuevo Ferrocarril Interoceánico Mexicano. Eran máquinas con una gran parrilla, ya que estaban diseñadas para quemar madera, con un poder calorífico menor que el del carbón.

Tras un pedido de 20 locomotoras por parte de Japón a la misma compañía Baldwin Locomotive Works en 1986, este tipo de máquina pasó a llamarse *Mikado*. Los autores Maestro y Miquel (2008) indican que sería Samuel Vauclain, directivo de la empresa, el primero en emplear este término. Curiosamente, el ancho de vía de estos vehículos era de 1067 mm. El nombre *Mikado* se dio en honor al emperador de Japón. En este sentido, la RAE define *mikado* como el título del emperador del Japón. Llop Bayo (2008) señala el relato en el que el emperador Mutsu-Hito mostró deseos de querer inmolarse en su tren fúnebre.

Este nombre se popularizó en 1895 a partir de la ópera “Mikado” o “The Town of Titipu” y que, según Mencken (1910), tuvo mucho éxito en Europa y Estados Unidos. Así, la denominación *Mikado* pasó a representar internacionalmente las locomotoras de vapor con rodadura 141, 282 o 1-D-1 según las clasificaciones de los distintos países que se han mencionado. El autor Llop Bayo (2008) indica que el nombre de *Mikado* no se llegó a utilizar en España hasta mediados del s. XX.

Tal como indican Maestro y Miquel (2008, p. 11), durante la II Guerra Mundial, se propuso sustituir el nombre de *Mikado* por *Mc Arthur* en honor al general jefe en la lucha contra Japón en el frente del Pacífico y motivado por la ola de sentimiento antijaponés. La medida no tuvo éxito, excepto en la compañía Union Pacific que adoptó la denominación *Mc Arthur* para todas sus locomotoras 141 hasta el fin de la tracción vapor.

Así, teniendo en cuenta el origen de esta máquina en América, las locomotoras 141 tenían la ventaja frente a sus predecesoras 140, de tener una mayor estabilidad al circular marcha atrás, por disponer de un bisel trasero. Una mayor potencia, al poder disponer de una caldera más larga que apoya sobre este eje portante y lo que a su vez le permite tener una mayor superficie de parrilla, para poder quemar material de menor poder calorífico (Maestro y Miquel, 2008).

Volviendo a la denominación de las locomotoras: el segundo bloque está formado por un conjunto de cuatro cifras, que indican el número de cada máquina dentro de cada tipo. Entre el primer bloque y el segundo, puede haber una “F” que indica si la máquina está fuelizada, es decir, si está adaptada para el uso de fuel como combustible (figura 2.1, derecha). Para la primera cifra del bloque se distinguen dos casos:

- Si es una locomotora con tender (el tender es vehículo aparte enganchado a la máquina con las provisiones de agua y combustible), la primera cifra indica el número de cilindros motores. Así puede ser ‘2’, ‘3’ o ‘4’. La segunda cifra, indica la serie

a la que pertenece. Y la tercera y cuarta cifra, el número correlativo de locomotora, dentro de la partida.

- Si es una locomotora-ténder (la propia máquina carga con las provisiones de agua y combustible), este primer número es un '0'. La segunda cifra indica el número de cilindros, según sea '2', '3' o '4'. Y las dos últimas cifras, el número correlativo de la locomotora.

Así, la placa de la figura 2.1, izquierda (120-0201) indica que se trata de una locomotora con un eje portante delantero y dos ejes motores acoplados, es una locomotora-ténder con dos cilindros motores (uno a cada lado) y es la primera de la serie. La figura 2.2 muestra una fotografía de esta máquina.

Por otro lado, en la figura 2.1 derecha, se muestra la numeración de la locomotora en su parte frontal. 141<sup>F</sup>-2295 se refiere a una máquina con un eje portante delantero, cuatro ejes motores acoplados y un eje portante trasero (configuración conocida como *Mikado* como se ha explicado anteriormente). La "F" indica que está fuelizada. Esta tractora se fabricó inicialmente para el uso de carbón, pero se le realizó una reforma para el uso de fuel como combustible en el año 1966 (RENFE, 1971); por esta razón la letra "F" está atornillada como superíndice con posterioridad a la rotulación original. Es una locomotora con dos cilindros motores (uno a cada lado), es la 2ª serie y tiene la numeración 95 dentro de esta partida.



**Figura 2.2.** Locomotora-ténder de vapor 120 de Sharp & Stewart, Gran Bretaña, 1878 preservada en el Museo del Ferrocarril de Madrid.

## 2.2. Las *Mikado* de RENFE

### 2.2.1. Las primeras *Mikado* (NORTE, 1915)

Las primeras locomotoras de rodadura 141 que circularon en España fueron adquiridas por la compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España (NORTE). Según indica Moragas (1994), la necesidad surgió como consecuencia de disponer de máquinas más potentes para remolcar trenes más pesados. El pedido fue realizado en 1915 a la compañía estadounidense *American Locomotive Co.* de Schenectady (ALCO, NY, USA), en los años de la I Guerra Mundial. Estos vehículos empezaron a circular en España en los años 1917 y 1918. Se compraron un total de 55 tractoras y se numeraron como NORTE 4501/4555. El desempeño que dieron estas locomotoras resultó muy satisfactorio en términos de potencia, esfuerzo de tracción, fácil y cómodo manejo, e inscripción en curva.

A resultas de la contienda civil, tres de ellas resultaron destrozadas en nuestro entorno, y de las 55 locomotoras de la compañía del NORTE, al pasar a RENFE solo se matricularon 52, con la numeración 141-2001/2052. Estas tractoras constituyen la primera (serie '0' según la denominación descrita anteriormente) de máquinas 141 que luego pasarían a llamarse *Mikado*.

### 2.2.2. Plan General de Reconstrucción de RENFE (1949)

En 1949 y debido a la necesidad de ampliar el parque motor de RENFE en época de posguerra, se aprobó en Plan General de Reconstrucción (PGR) para la compra de locomotoras. Paralelamente al PGR, se lanzaron planes de electrificación de la red y de compra de tractoras diésel, pero la necesidad urgente de medios de tracción precipitó la decisión de la compra de locomotoras de vapor, también en esta ocasión (Llop Bayo, 2008).

El pedido se realizó a la compañía británica *North British Locomotive Co. Ltd.* (NBL, Glasgow, Escocia, Reino Unido). Este pedido incluyó la fabricación en origen de 25 tractoras, más la provisión de piezas para la fabricación de otras 100, en España, pero sólo 60 tenderes, seguramente al disponerse ya de otros 40 de reserva. Se añade la posibilidad de abono de derechos para producir otros lotes íntegramente elaborados por la industria nacional. Finalmente se amplió en otras 117 locomotoras más que se fabricarían en empresas españolas, con lo que este Plan aporta un total de 242 máquinas al parque motor de RENFE. La entrada en servicio de estas locomotoras sería entre los años 1953 y 1960 (ver tabla 2.2).

Se seleccionó el modelo *Mikado* (rodadura 141) al ser una tipología probada y versátil, que dio buen resultado con la compañía NORTE en la orografía y el trazado de las líneas españolas. Según Llop Bayo (2008) la elección del modelo universal *Mikado*, fue también una opción escogida en Francia y Bélgica dentro de sus planes de reconstrucción.

Llop Bayo (2008) indica que una posible causa de la elección de una compañía británica fue el retorno de divisas de las que España poseía al enviarles materia prima durante la II Guerra Mundial y, en contrapartida, proveer a nuestro país de productos siderúrgicos semi elaborados, de lo que se carecía su siderurgia. Además, coincidía que la compañía NBL poseía un modelo diseñado y muy asequible de *Mikado*, recién servido a la India.

La rodadura con cuatro ruedas acopladas muestra un equilibrio entre el peso adherente, que es importante en trazados con pendiente, y la inscripción en curva. Para facilitar esta

última característica, se les dotó a los ejes motores 2 y 3 con una pestaña rebajada. Además, el eje delantero portante puede girar fácilmente por lo que se mejora la inscripción en curva. Como también tiene un eje portante trasero, sobre el que apoya el hogar, puede trazar bien las curvas si va marcha atrás. Configuraciones con cinco ejes motores, como es el caso de la *Santa Fe* (rodadura 151) exhiben peor comportamiento en curva y causan un desgaste mayor en estas condiciones.

Moragas (1994) aporta una interesante justificación de la adopción del modelo *Mikado* para las locomotoras que se iban a adquirir. A modo de resumen, se consideró el tipo de rodadura de la máquina, el peso aproximado, la velocidad de circulación de los trenes que iban a remolcar, la calidad del combustible, la dureza de las aguas y la potencia aproximada.

Para estimar el peso aproximado de la locomotora 141 se partió del peso nominal de los ejes motores que fue de 18 tm/eje. Para los ejes portantes, se tomó un valor de referencia de 15 tm/eje. Así, el peso total estimado de la máquina es de 102 tm. El peso adherente es de 72 tm, que representa el 72% del peso total. Para el tender, se tomó el diseño de tender unificado de RENFE, empleado en otras locomotoras que estaban en circulación. El peso estimado por eje es de 15 tm al igual que para los ejes portantes.

En la revista *Railway Gazette* (1954) se publicó una reseña de la compra de locomotoras *Mikado* por parte de España a la compañía NBL. En esta reseña se describen las características principales del diseño donde se indican las dimensiones básicas, los pesos por eje, las dotaciones de agua y carbón, así como la presión de trabajo (tabla 2.1). El peso total de la máquina es de 101,56 tm. La figura 2.3 muestra unas imágenes publicadas en *Railway Gazette* del diseño original de NBL que constituiría la primera serie de locomotoras *Mikado* (141- 21xx). Como se observa en la fotografía, finalmente, el paraviento se hizo más corto y se colocó una escalera para facilitar las operaciones de mantenimiento.

**Tabla 2.1.** Especificaciones técnicas de las locomotoras *Mikado* de la compañía NBL (*Railway Gazette* (1954)).

Parámetro	Valor
Diámetro del cilindro	570 mm
Carrera	710 mm
Diámetro de las ruedas acopladas	1.560 mm
Diámetro de las ruedas portantes delanteras	860 mm
Diámetro de las ruedas portantes traseras	1.080 mm
Diámetro de las ruedas del tender	1.080 mm
Base rígida (ejes acoplados)	5.124 mm
Inscripción en placa giratoria (Distancia entre ejes extremos)	19.566 mm
Altura del centro de la caldera con respecto a la cabeza del carril	2.970 mm
Altura del extremo de la chimenea con respecto a la cabeza del carril	4.438 mm
Superficie de calentamiento:	
Tubos	187 m <sup>2</sup>
Hogar, incluidos los tubos de arco	20,5 m <sup>2</sup>
Total evaporativo	207,5 m <sup>2</sup>



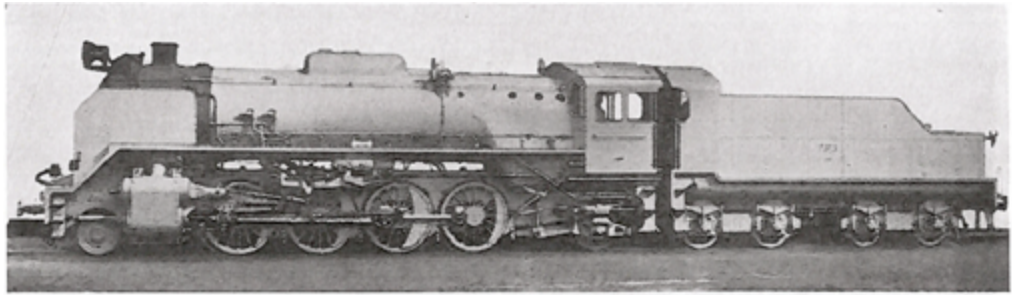
Recalentador	72,0	m <sup>2</sup>
Total	279,5	m <sup>2</sup>
Área de la parrilla	4,8	m <sup>2</sup>
Presión de trabajo	15	kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad del cajón de agua	27.000	L
Capacidad de carbón	11.400	kg
Tara de la locomotora	101.555	kg
Tara del tender	62.895	kg
Tara total (locomotora y tender)	164.450	kg
Esfuerzo tractor al 80% de la presión de trabajo	18.860	kg

Esta locomotora se proyectó tanto para servicio de pasajeros como para servicio de mercancías de tal forma que serían locomotoras versátiles. Según indica Moragas (1994), las velocidades de circulación de la época eran de 25 a 35 km/h en rampas, de 49 km/h para mercancías y de 70 km/h para pasajeros. Así, la velocidad de circulación de estas locomotoras se fijó en una velocidad máxima de 70 km/h, a regulador abierto, una velocidad mínima de 30 km/h y una velocidad media de 50 km/h.

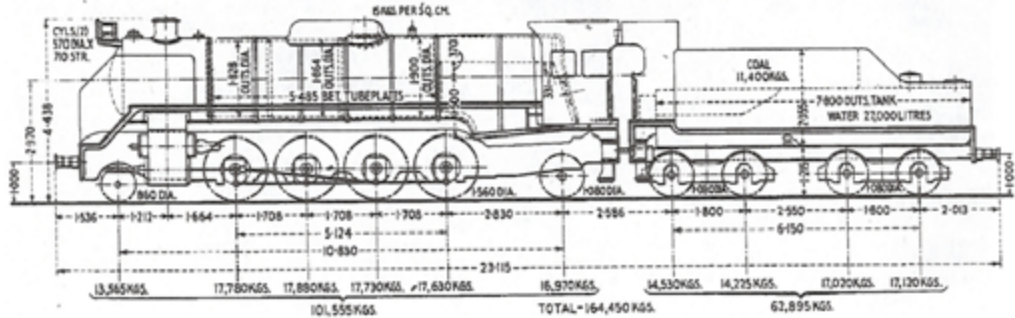
Aparte había que considerar la calidad del carbón. Moragas (1994) señala que la potencia calorífica del carbón nacional es más baja que la del carbón: aporta interesantes datos tanto del contenido en cenizas como de materias volátiles, que son más altos en el carbón nacional, lo que produce que la potencia calorífica sea inferior. Incluso se pueden estimar valores del orden de un 6% inferiores a la del carbón importado del extranjero. Cabe señalar el contexto en el que se ejecutó este PGR en la España de Posguerra. La más baja potencia específica requiere una mayor superficie de intercambio de calor en las calderas, es decir, unas calderas de mayor tamaño. Esta característica resultó favorable igual que en el primer diseño elaborado en América en el 1890.

En cuanto a la dureza de las aguas, Moragas (1994) realiza un análisis a partir de datos tomados del Departamento de Material y Tracción de RENFE. Estos valores de dureza son altos y desiguales en los distintos territorios. Además, RENFE no tenía sistema de decantación en la mayoría de sus tomas, por lo que había gran cantidad de barros que depositaban sobre los tubos. Esta característica afectaba negativamente a la transmisión de calor, que obligaba a sobredimensionar las calderas al igual que sucedía por la baja calidad del carbón. Del mismo modo, los tubos requerían un elevado mantenimiento, por lo que el diseño de locomotora escogido debía ser un diseño sencillo y con un funcionamiento probado. El maquinista de vapor jubilado, Buenaventura Durruti, en una entrevista concedida a los autores en julio de 2023 en León, señala la cantidad de problemas que tuvieron las locomotoras *Mikado* que estuvieron circulando en Valencia debido a la dureza del agua. De ahí la continua revisión de los NISE (depuradoras-descalcificadoras) o depuradores anticálceos en el territorio valenciano.

En cuanto a la potencia, este tipo de locomotoras tenía una potencia de unos 2400 CV (1765 kW). Debido a las características de los consumibles (carbón y agua), se estimó un valor de 2100 CV (1545 kW), aunque como indica Moragas (1994), esto no implica que se pudiera alcanzar una potencia punta de 2400 CV (1765 kW) en ciertas condiciones. En cualquier caso, RENFE no consideró más que una potencia de 2000 CV en sus estadillos.



*North British-built Mikado-type locomotive for mixed-traffic operating*



*Diagram showing the principal weights and dimensions of the locomotive*

**Figura 2.3.** Fotografía y esquema del diseño propuesto por NBL para el pedido de locomotoras contemplado en el PGR (Railway Gazette, 1954).

Estas últimas características contribuyeron a la decisión de escoger una tipología *Mikado* en lugar de diseños más elaborados de locomotoras articuladas de gran potencia, como las que heredó RENFE de la compañía Central de Aragón: Marshall (1965) destaca el caso de las locomotoras articuladas *Mallet* 060-4001 / 4009 (1912 / 1928), las *Garratt* 462<sup>F</sup>-0401 / 0406 (1930), últimas locomotoras de su clase en Europa para grandes trenes expresos, y las *Garratt* 282<sup>F</sup>-0401 / 0406 (1930). La configuración del modelo *Mikado* con tender, del diseño propuesto por NBL, tiene una caldera mucho más grande en relación con las ruedas motoras si se compara con estas locomotoras articuladas. Este mismo caso sucede con las locomotoras *Santa Fe* 151-3101 / 3122 (de 1942 / 1945) que RENFE adquirió poco antes del Plan General de Reconstrucción para determinados servicios de mercancías en líneas con fuertes pendientes, tal como señala Marshall (1965).

### 2.3. Distribución de la producción española. MACOSA. Símbolo de la fabricación ferroviaria autóctona valenciana

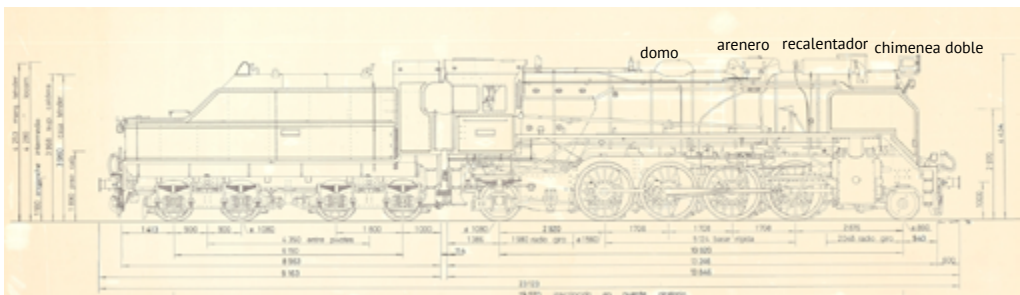
Para más y mejor cobertura de RENFE, tanto el lote de piezas importadas en bruto como los posteriores montajes, se repartieron de forma equitativa entre los cuatro industriales que a la sazón existían con capacidad de ejecutar. Las empresas encargadas serían MACOSA (Material y Construcciones, S.A., Valencia), MTM (Maquinista Terrestre y Marítima, Barcelona), Euskalduna (Compañía Euskalduna de Construcción y Reparación de Buques de Bilbao, Bilbao) y Babcock & Wilcox (Bilbao).

Se eligió como cabeza de proyecto a la empresa valenciana MACOSA donde se redibujaron los planos. MACOSA era el constructor valenciano de vehículos ferroviarios por antonomasia, sucesor de la saga de construcciones metálicas Talleres Devís propiedad de los hermanos del mismo apellido que, establecidos en Alboraya en 1860, se trasladaron a Marchalenes en 1891, cuya nave se conserva. Pasaron éstos de construir pequeñas calderas para la industria, a reparar locomotoras de vapor. Su razón social continúa existiendo. Actualmente la empresa Stadler Rail Valencia es la heredera de los antiguos Talleres Devís, pasando por Meinfesa, GEC Alsthom, Alstom, Vossloh y, actualmente, Stadler Rail.

Tal como muestra la tabla 2.2, la producción se fue asignando por lotes. Tras el primer lote fabricado por la compañía licenciataria NBL (North British Locomotive Co. Ltd, Glasgow, Reino Unido), se definieron lotes para cada una de las compañías españolas: por el mismo orden citado anteriormente: primero un lote de 10 locomotoras (años 1953-1954), luego otro lote de 10 (años 1954-1955), posteriormente un lote de 5 (1955) y, finalmente, un lote de 28 (años 1956-1960). Sin embargo, la compañía Euskalduna fabricó 33 máquinas de este último lote. Así, se tiene un total de 242 locomotoras incluidas en el PGR de RENFE, de las cuales 217 fueron de fabricación española al adherirse Planes de Lucha contra el Paro estatal.

El pedido de máquinas *Mikado* del PGR se estructuró en cuatro series: desde la serie 21xx hasta la serie 24xx (tabla 2.2), con pequeñas diferencias entre estas, como el tipo de arenero o domo, la chimenea simple/doble o la presencia o no de recalentadores junto a la chimenea. La primera serie (21xx), compuesta por las primeras 25 locomotoras, según su placa, se fabricó íntegramente en Reino Unido, la segunda serie (22xx, de la que forma parte la máquina preservada en la UPV, 141<sup>F</sup>-2295), formada por 99 locomotoras, al igual que la tercera serie (23xx), formada por 100 locomotoras, se distribuyó entre los distintos fabricantes españoles. La cuarta serie (24xx), compuesta por 18 locomotoras, fue fabricada por Euskalduna.

La figura 2.3 presenta una locomotora de la primera serie con chimenea simple y domo y arenero carenados en una misma joroba. La figura 2.10 muestra la locomotora 141<sup>F</sup>-2295, perteneciente a la segunda serie, con su domo separado del arenero y chimenea simple. La figura 2.4 exhibe un plano de la tercera serie, con el domo separado del arenero, con chimenea doble y con recalentadores junto a la chimenea. Finalmente, la figura 2.22 muestra la locomotora 141<sup>F</sup>-2416 preservada en el Museo de Madrid Delicias, y seccionada con propósito didáctico; esta cuenta con domo y arenero separados, con chimenea doble y sin recalentadores.



**Figura 2.4.** Plano de una locomotora Mikado de la serie 3 (23xx) con su tender. Dibujado por Juan Luis Llop.

MACOSA, primero de la subrogación de construcción de dicho modelo en España, en 1953, con las piezas importadas de NBL del Reino Unido, ofreció sus primeras unidades antes incluso que los prototipos originales. La primera locomotora de la serie en ser entregada fue la 141-2201, seguida por la 141-2202, el 21 de febrero de 1953. La locomotora prototipo fabricada por NBL, la 141- 2101, fue entregada el 24 de junio de 1953. Incluso teniendo en cuenta que la primera llegada de piezas semi elaboradas a España fue el 30 de enero de 1951 y se entregó a las compañías Euskalduna y MTM. Y el segundo lote de piezas, entregado a MACOSA, llegó el 15 de abril del mismo año.

**Tabla 2.2.** Listado de locomotoras fabricadas según el PGR de 1949. Distribución por fabricantes y por años (Marshall, 1965).

Numeración	Año	Por constructores				
		NBL	MACOSA	MTM	Euskalduna	Bab.&W
2101-2115	1953	15				
2116-2125	1954	10				
2201-2210	1953		10			
2211-2216	1953			6		
2217-2220	1954			4		
2221-2230	1954				10	
2231	1953					1
2232-2240	1954					9
2241-2250	1954		10			
2251-2260	1954			10		
2261-2262	1954				2	
2263-2270	1955				8	
2271-2280	1954					10
2281-2285	1955		5			
2286-2290	1955			5		
2291-2295	1955				5	
2296-2300	1955					5
2301-2312	1956		12			
2313-2318	1957		6			
2319-2328	1958		10			
2329-2334	1955			6		
2335-2340	1956			6		
2341-2346	1957			6		
2347-2356	1958			10		
2357-2370	1956					14
2371-2375	1957					5

2376-2379	1958				4
2380-2384	1959				5
2385-2400	1957			16	
2401-2402	1958			2	
2403-2409	1959			7	
2410-2417	1960			8	
<b>TOTAL</b>		<b>25</b>	<b>53</b>	<b>53</b>	<b>58</b>
					<b>53</b>

#### 2.4. Cronología de eventos relacionados con el PGR de RENFE y con el modelo *Mikado*

En este apartado se presenta una cronología de distintos eventos relacionados con el contexto en el que se desarrolló el Plan General de Reconstrucción (PGR) de RENFE que dio lugar a la serie de locomotoras *Mikado* diseñadas a partir del modelo de la compañía NBL y con la máquina 141<sup>F</sup>-2295.

- 1613** J de Ayanz de Beaumont ingeniero militar español, inventa la máquina de vapor.
- 1890** Llegada de la primera locomotora americana Baldwin tipo 141 a Japón, popularmente conocido luego como *Mikado*.
- 1912** El sistema Whyte americano de clasificación de locomotoras de vapor, ya cita *Mikado* par el rodaje 141 (2-8-2) entre otros.
- 1917** Ingenieros Industriales españoles solicitan el uso de la tracción eléctrica para reemplazar la tracción vapor en nuestros ferrocarriles. Y así concentrar y diversificar la alimentación generadora de energía limpia, y poder transportarla y aplicarla en tiempo real.
- 1928** Reino Unido inicia el uso masivo del modelo *Mikado* para el 141, pero este apelativo puramente comercial, tarda años en llegar a España. Si bien existe el modelo de locomotora 141 (en orden a su rodaje), en la compañía NORTE, en Valencia, desde 1918.
- 1930** Bélgica adopta el modelo *Mikado* para sus locomotoras de vapor.
- 1938** Considerado año de diseño del modelo *Mikado* NBL que, posteriormente, se vendería a RENFE.
- 1942** Teórico fin de la autarquía española y comienzo de la apertura al extranjero.
- 1943** 1ª locomotora tipo unificado Mikado en SNCF, Francia. Pauta que luego seguiría RENFE en España.
- 1948** Petición formal de presupuesto a NBL. España pide 25 locomotoras importadas y derechos de fabricación para 100 más. Mediante este pedido a Reino Unido se realiza un retorno de divisa obtenida con el comercio de mineral de hierro (junio).
- 1948** NBL construye locomotoras tipo *Mikado* para la India, que tiene el mismo ancho de vía que España.
- 1949** Aprobación del Plan General de Reconstrucción, que admite compra de locomotoras de vapor Mikado. 20 de mayo.
- 1949** Aparece en España publicidad abonada por NBL, y hasta 1953.

- 1949** Contrapropuesta NBL aceptando cambios/mejoras a plano ofertado tipo India.
- 1949** Aceptación partida presupuestaria para compra de locomotoras por MOP. Las 100 máquinas a montar en España se repartirán entre Macosa, Euskalduna, Maquinista Terrestre y Marítima y Babcock & Wilcox.
- 1949** Encargo en firme del pedido a NBL: 31.500 libras por locomotora montada, 15.750 libras por cada lote de piezas, total 2.362.500 libras (aunque no se especificó). *18 de agosto.*
- 1950** Plano de los primeros 20 ténדרes para la locomotora Mikado RENFE (diferentes al resto de planos).
- 1951** Primera llegada de piezas semi elaboradas a España, que se reparten entre Euskalduna y MTM. *30 de enero.*
- 1952** Gonzalo Martí Miquel, prestigioso delineante, redibuja los planos de la locomotora Mikado con criterios de mecanización propios de MACOSA.
- 1952** Nueva llegada de piezas semi manufacturadas NBL a España para MACOSA. *15 de abril.*
- 1953** Primera entrega de dos locomotoras Mikado NBL en España (141-2201 / 2202), por MACOSA y en base a piezas importadas semi manufacturadas. *21 de febrero.*
- 1953** Llegada de la primera locomotora “prototipo” a España, enteramente montada por NBL. *24 de junio.*
- 1955** Entrega de la locomotora 141-2295 por Euskalduna.
- 1960** La última locomotora modelo *Mikado* RENFE sale de fábrica. Es la 141-2417.
- 1966** Fuelización de la locomotora *Mikado* 141-2295 (pasa a ser 141<sup>F</sup>-2295)
- 1969** Última fuelización de una locomotora Mikado, la 141-2202, con costoso equipamiento. Esta locomotora se estacionaría definitivamente en Alzira.
- 1975** Apagado de la locomotora de vapor 141<sup>F</sup>-2348 el 23 de junio, por el príncipe de Juan Carlos. Fin del vapor en RENFE.
- 1977** Inicio de la consideración de las locomotoras Mikado RENFE NBL como elemento turístico y motivo de filmación en presentación operativa real.
- 1979** Llegada de la locomotora Mikado 141-2202 a vías de Fuente de San Luis. Segundo ejemplar de la primera partida construida por MACOSA Valencia. *Abril.*
- 1979** Primer viaje conmemorativo con una locomotora de vapor tipo *Mikado* entre Valencia-Término y Játiva. Organiza Asociación Valenciana de Amigos del Ferrocarril, (AVAF), en estrecha colaboración con Barrachina Guaita ingeniero industrial que trabaja tanto en RENFE como en la UPV. Justo Nieto, director de la ETSII UPV, invitado al viaje, se interesa por contar con una unidad de las que se retiren. *Diciembre.*
- 1980** MACOSA pide 30 MPta por la reparación de la Mikado 141<sup>F</sup>-2202. *Julio.*
- 1981** Prueba de servicios regulares para el turismo con tracción vapor y a base de locomotora *Mikado*.
- 1982** Llegada de la *Mikado* 141<sup>F</sup>-2295 a Valencia-Fuente de S Luis. *Enero.*
- 1982** Traslado de la locomotora 141<sup>F</sup>-2295 a la UPV desde la vía 19 de la playa de vías del depósito de Valencia, tras remolcarla la víspera desde Valencia-Fuente S. Luis. *Mayo.*

- 1984** Fin de la tracción vapor en trenes mineros con locomotoras de vapor Mikado RENFE NBL en el ferrocarril minero Andorra -Escatrón (Teruel) con la locomotora 141<sup>F</sup>-2416. *3 de agosto*. Y posterior apagado del verdadero último vehículo de vapor de servicio en RENFE: la grúa GM-33 en Valencia. *5 de octubre*.
- 1984** La locomotora *Mikado* de la UPV ya presenta una primera repintada de protección.
- 1985** Traslado *Mikado* 141<sup>F</sup>-2202 a la estación RENFE de Alcira.
- 1989** Traslado y monumentalización de la locomotora Mikado 141<sup>F</sup>-2202 a su actual emplazamiento en Alcira, tras desistir AVAF de su puesta a punto.
- 1989** Paso por Valencia de locomotora Mikado 141<sup>F</sup>-2413, remolcada en vistas de ser reparada en Miró Reig de Alcoy. Lo que no se lleva a efecto. *Septiembre*.
- 1991** Realización del trabajo Etn 91/128.10 o sea INVENTARI DE VEHICLES FERROVIARIS MONUMENTALS DE LA COMUNITAT VALENCIANA (*J L Llop*) para Patrimonio Moble de la Consellería de Cultura de la Generalitat Valenciana, con vistas a señalar, valorar y determinar la propiedad jurídica de los 19 vehículos expuestos públicamente en 16 enclaves. Y cuyas fichas estuvieron colgadas en las respectivas páginas web de sendas poblaciones afectadas, incluidas la locomotora Mikado NBL y la grúa Grafton de la UPV, aproximadamente entre 2010 y 2015. Trabajo sin estudios similares en otras comunidades autónomas.
- 1996** Presentación de la locomotora de vapor operativa *Mikado* 141<sup>F</sup>-2346, restaurada y completada con Tren-Tierra, freno de aire comprimido Westinghouse y ASFA, bajo la dirección de Buenaventura Durruti, en Amigos del Ferrocarril de León, ALAF. *Septiembre*.
- 1997** Inscripción en Patrimonio Histórico como BIC. Locomotora *Mikado* 141<sup>F</sup>-2346 de León. *Mayo*.
- 1997** Posan delante de la locomotora *Mikado* 141<sup>F</sup>-2295 de la UPV, en una jornada histórica como son las Bodas de oro de la Promoción de Ingenieros de 1947: Oliete, Claasen y Fernández Moruza, entre otros antiguos trabajadores de MACOSA y conocedores a la perfección de la locomotora Mikado. *Junio*.
- 1997** Sres. Capilla, Juan López ex jefe del taller de pintura y J L Llop en preparación de un museo de la historia de MACOSA. Finalmente este museo no se llegaría a ver la luz.
- 2008** Repintado y dotación de elementos de que carecía: la *Mikado* 141<sup>F</sup>-2295 monumentalizada en la UPV. Se trató de la 1ª intervención documentada para completar con bielastros, pilotos unificados, faro, placas de constructor, etc.
- 2018** Nueva intervención en conjunto de la *Mikado* 141<sup>F</sup>-2295 de la UPV. Se eliminan corrosiones, se chorrea y repinta, etc. Se trata posiblemente de la unidad mejor conservada en España, de entre las locomotoras-monumento.
- 2022** Traslado de las locomotoras-monumento que se preservan en la factoría Stadler (antigua MACOSA) en Albuixech al campus de la Universidad Rey Juan Carlos de Fuenlabrada. Conjunto compuesto por la locomotora de vapor *Mikado* 141<sup>F</sup>-2326, la locomotora eléctrica 276.105 y la locomotora diésel 1401 (RENFE 314.001, locomotora prototipo fabricada por MACOSA).
- 2023** Señalización con rotulación del código QR, de la locomotora de vapor Mikado y de la grúa Grafton de la UPV. *En proceso*. Colocación de una réplica del silbato original de

los locomotoras *Mikado* y reparación de las mangas de vacío de locomotora y ténder en la *Mikado* de la UPV. *En proceso*.

## 2.5. Puesta en valor de la locomotora 141<sup>F</sup>-2295

### 2.5.1. Fin de la era del vapor en RENFE

Siguiendo la tendencia iniciada en países europeos, el 23 de junio de 1975, el por entonces príncipe de España, D. Juan Carlos, apagó simbólicamente la locomotora *Mikado* 141<sup>F</sup>-2348 (preservada en el museo del Ferrocarril de Cataluña (Vilanova-i-la-Geltrú), figura 2.21). Con este gesto simbólico se inicia el fin de la era vapor en RENFE. Sin embargo, La explotación con locomotoras de vapor sigue en uso en España en compa as privadas; tal es el caso de ENDESA que adquirió locomotoras *Mikado* para la tracción de trenes carboneros entre los yacimientos de Andorra (Teruel) y la central térmica de Escatrón (Zaragoza). En esta línea se mantuvo en uso el vapor hasta el año 1984.

Así, las locomotoras *Mikado* adquiridas según el PGR de RENFE estuvieron en servicio desde los años 1953-1960 hasta el año 1975, lo que da una vida en servicio entre 22 y 15 años, muy inferior a la vida útil estimada de unos 30 o 40 años que se espera de este tipo de vehículos. Como caso excepcional, en ENDESA mantuvo en servicio unos 9 años más algunas locomotoras; en cualquier caso, no se llegaron a amortizar en su vida útil.

Así, todo el parque motor de vapor de RENFE fue apartado en depósitos de desmantelamiento para proceder a su desmontaje y achatarramiento. Este triste proceso se dilat  hasta ya entrada la década de los 80.

### 2.5.2. Recuperación por parte de AVAF y donación a la UPV

Con el fin de la era del vapor en RENFE, unos jóvenes aficionados al mundo del ferrocarril, contemplando todo el patrimonio que iba a ser convertido en chatarra, solicitaron al director de la IV zona de RENFE, Rafael Montalt López, (zona de incluía el territorio valenciano) si podían disponer de un par de locomotoras *Mikado* para su conservación. Estos jóvenes pertenecían a la Asociación Valenciana de Amigos del Ferrocarril (AVAF). El director accedió a su petición y les proporcionó las locomotoras 141<sup>F</sup>-2202 (en 1979) y 141<sup>F</sup>-2295 (1982) a las vías depósito de la estación de Valencia-Fuente de San Luis.

Durante un viaje conmemorativo, con una locomotora *Mikado* organizado por la AVAF, en el que participaron diversas autoridades, el por entonces director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la UPV de Valencia, Justo Nieto, expres  su interés en contar con una de las locomotoras que se iban a retirar. Así, se iniciaron las gestiones para trasladar la locomotora 141<sup>F</sup>-2295 al campus de Vera de la UPV y monumentalizarla dentro de los jardines de la ETSII.

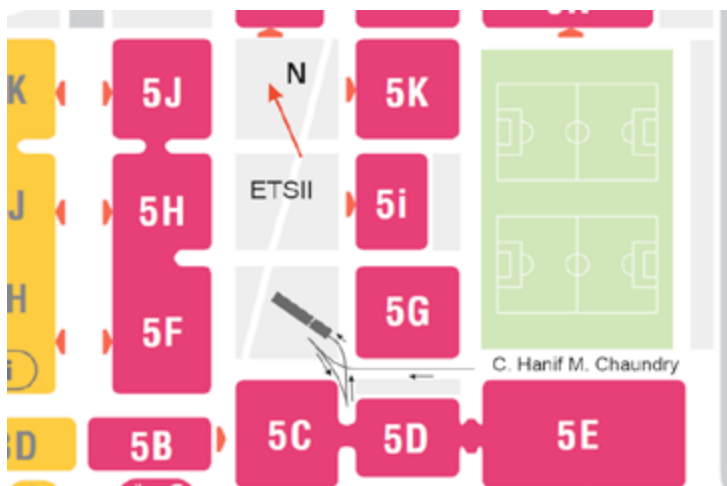
Así, en mayo de 1982, se programa el traslado del conjunto de locomotora más ténder. Así, se remolc  la locomotora 141<sup>F</sup>-2295 desde Valencia-Fuente San Luis, a la vía 19 de Valencia-Estación del Norte para su carga (hoy recinto de la estación de AVE Valencia-Joaquín Sorolla) Se trasladaron de forma separada la locomotora y el ténder. La figura 2.5 muestra la carga del ténder en la vía 19 de Valencia-Estación del Norte. El traslado fue una operación complicada que obligó, dadas sus maniobras y giros, a desmontar semáforos en importantes avenidas de la ciudad.





**Figura 2.5.** Carga del tender de la locomotora en la vía 19 de Valencia-Estación del Norte para transportarlo al campus de vera de la UPV. Fotografía: Juan Luis Llop (1982).

La entrada al patio de la ETSII se hizo por el oeste, siguiendo la actual calle Hanif Chaundry (figura 2.6). Las figuras 2.7 y 2.9 presentan las maniobras para colocar la locomotora en las vías instaladas para tal fin en el jardín de la ETSII. El estado actual de esta zona aparece en la figura 2.8. La figura 2.10 muestra la locomotora *Mikado* 2295 en el tiempo presente.



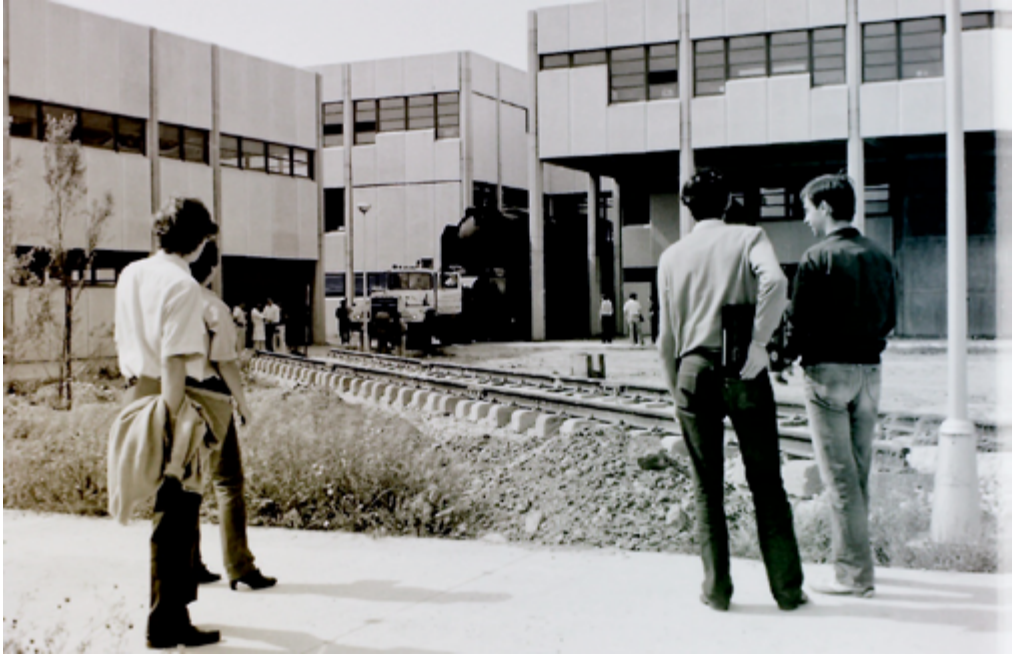
**Figura 2.6.** Trayectoria del transporte para la descarga de la locomotora + tender en el jardín de la ETSII.



**Figura 2.7.** Inversión realizada por el camión que transportaba la locomotora, para situarla en las vías que se habían instalado para monumentalizar el conjunto de locomotora + tender. Fotografía: Juan Luis Llop (1982).



**Figura 2.8.** Fotografía actual del lugar donde se hizo la inversión del transporte para colocar la locomotora, según la fotografía de la figura 2.7. A la izquierda llega la actual calle Hanif. M. Chaundry. El transporte retrocede entre los edificios 5D (izquierda) y 5C (derecha). El edificio 5D ha ocupado el espacio que en 1982 estaba vacío en la planta baja y en la primera planta.



**Figura 2.9.** Maniobras para descargar la locomotora sobre el cupón de vía con traviesa RS o bibloc colocado para tal fin. Fotografía: Juan Luis Llop (1982).



**Figura 2.10.** Locomotora 141<sup>F</sup>-2295 en la actualidad.



**Figura 2.11.** Locomotora y tender montados sobre las vías. Fotografía: Francisco González (1982).  
Archivo Juan Luis Llop.

La locomotora se montó junto a su tender sobre las vías de tipología barra corta con traviesas bloque (figura 2.11). Se debe tener en cuenta que esta locomotora estaba destinada a la chatarra y se salvó con falta de algunos elementos como eran los cristales, el foco delantero y la totalidad de pilotos unificados formando ambos triángulos anterior y posterior, el silbato, el inyector derecho, mangas de freno de vacío, cadenas de seguridad posteriores y las bielas motoras, entre otros.



**Figura 2.12.** Locomotora recién salida de la restauración de 2018 y engalanada con el cartel de “50 años” de la ETSII.

Así, de esta forma, la locomotora *Mikado* 141<sup>F</sup>-2295 ha pasado a formar parte del inventario patrimonial del campus de Vera de la UPV y símbolo de la ETSII (figura 2.12). El origen de esta pieza fue el tesón de unos jóvenes en el año 1982, no tan jóvenes en la actualidad, que solicitaron y recibieron en donación esta locomotora y, estos a su vez la donaron a la UPV para que quedara preservada en la UPV.

Por otro lado, la locomotora *Mikado* 141<sup>F</sup>-2202, con idea de ser restaurada y puesta en servicio por parte de la AVAF, finalmente se dona al ayuntamiento de Alzira y queda expuesta, aunque desfigurada y rematriculada innecesariamente, en un jardín de esta población (figura 2.20).

Las *Mikado* han sido consideradas como un modelo de locomotora de vapor que representaron en 1975 el ocaso de una etapa trascendente de la Revolución Industrial aplicada a España. Aquella etapa coincidía además con el presagio de una transición política. Y por suerte, este modelo es uno de los tipos concretos de vehículo de la red nacional de RENFE del que se dispone de mejor información para analizarlo. Por desgracia, la dejadez institucional que se arrastra para con el Patrimonio Industrial ibérico, incluida su documentación, promueve que esta y otras iniciativas en su misma dirección, sean hoy especialmente necesarias. En la Comunidad Valenciana, el mantenimiento de sus testimonios históricos en materia de transporte está particularmente abandonado salvo este ejemplo notable preservado en la UPV.

### 2.5.3. Actuaciones de restauración en la *Mikado* 141<sup>F</sup>-2295

Desde que se depositó la locomotora *Mikado* en la UPV se han realizado dos grandes restauraciones, una en 2008 y otra, en 2018, lideradas por Javier Orozco Messana y con la asesoría de Juan Luis Llop Bayo.

En el 2008 se llevaron a cabo las siguientes actuaciones:

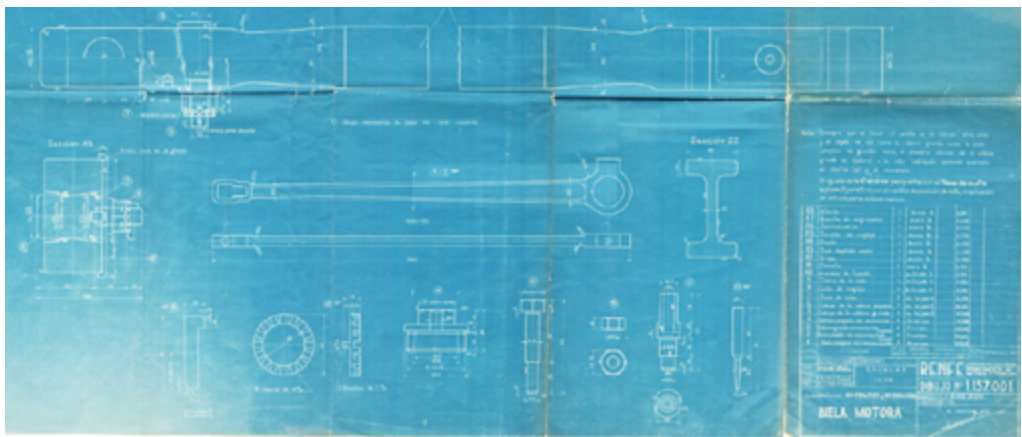
- Eliminación de óxido por arenado.
- Protección con pintura antioxidante.
- Pintado total exteriores y cabina.
- Confección e instalación de bielas motoras de madera marina, ajustadas a la posición de las crucetas. Las bielas se elaboraron según un plano original de RENFE, del taller de Valencia-Alameda. Colección J.L. Llop.
- Confección pilotos unificados en resina según plano de la colección de Juan Luis Llop y realización de las instalaciones de alumbrado, incluida la acometida eléctrica.
- Construcción e instalación del faro superior anterior, con reflectante procedente de locomotora eléctrica 7700 (donado por Buenaventura Durruti de la Asociación Leonesa de Amigos del Ferrocarril, ALAF) y numeración lateral, según plano de la colección de Juan Luis Llop.
- Desbloqueo del accionamiento del cambio de marcha, para proceder al giro simulado del volante accesible en la cabina.
- Construcción e instalación de placas de matriculación y fabricante, en bronce.
- Fabricación y colocación de la manivela de apertura frontal de la caja de humos.

- Colocación de la cristalería de cabina, en PVC.
- Sellado de la chimenea para evitar la entrada de agua y consiguiente oxidación.
- Realización de una escalera para acceso a cabina (ya no está colocada).

Entre las operaciones anteriores cabe destacar la colocación de las bielas motoras. La *Mikado*, cuando fue donada por parte de RENFE ya vino sin bielas motoras. Únicamente con el bielaje acoplado (o barra acopladora, según la terminología del máquinas y mecanismos). Para entender el sistema de accionamiento de este tipo de locomotoras resultaba vital el restaurar de forma aparente estos elementos.

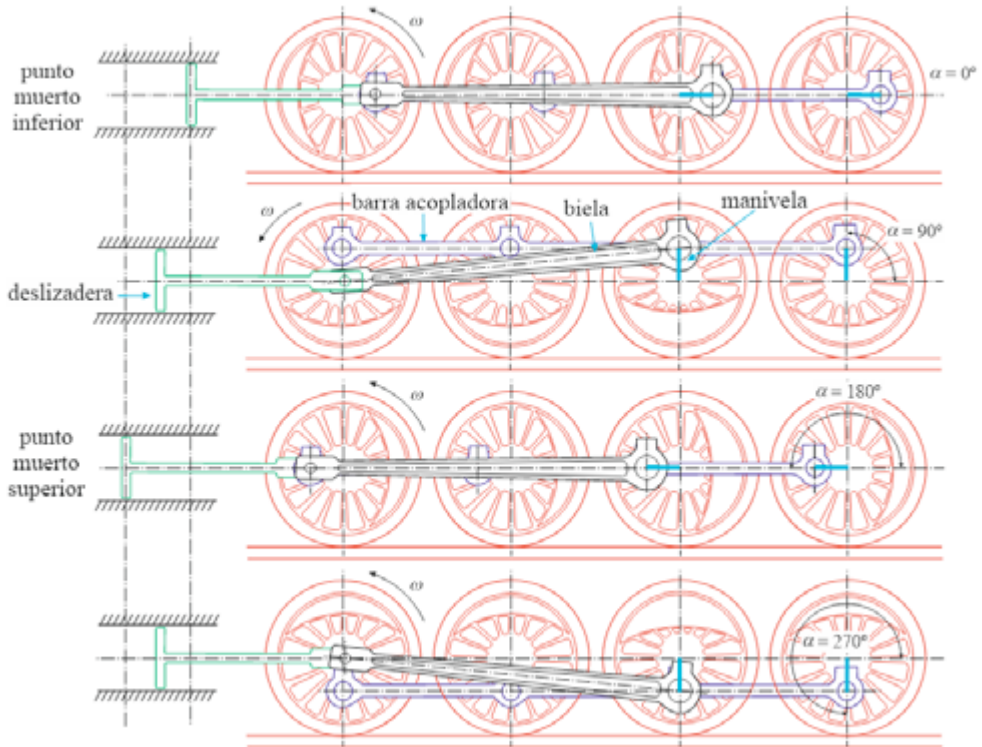
Las locomotoras de vapor no estaban pensadas para ser remolcadas debido al rozamiento que supone todo el sistema de accionamiento y distribución cuando la máquina no está en marcha ni lubricada. Así, cuando se procedía a esta operación, se desmontaban ambas bielas y se sujetaban mediante cadenas a sendas pasarelas laterales. Así, puesto que el destino de esta locomotora en el año 1975 era su desguace y chatarra, se cortaron ambas bielas para que las ruedas motoras giraran libres durante su remolque.

La reconstrucción de las bielas fue posible gracias a un plano que se pudo recuperar de RENFE, procedente del taller de Valencia-Alameda (figura 2.13).



**Figura 2.13.** Fragmento de un plano de la biela motora para las locomotoras 141-2101 a 141-2125 y 141-2201 a 2300, dibujado por RENFE y procedente del taller de Valencia Alameda. Colección Juan Luis Llop.

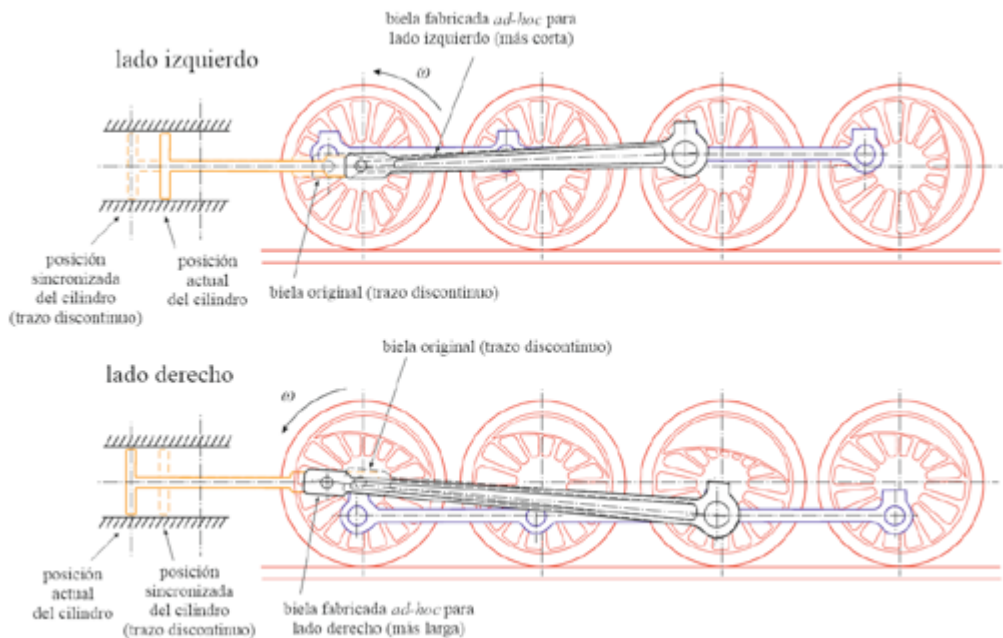
El sistema de accionamiento motor de las locomotoras de vapor se realiza mediante un mecanismo de biela-manivela-deslizadera. La fuerza motriz del vapor se aplica sobre ambas caras de los cilindros motores y se transmiten mediante las bielas (bielas motoras, en argot ferroviario) a las ruedas motoras. Así, la biela transforma el movimiento alternativo del pistón, en un movimiento rotativo de las ruedas. La figura 2.14 presenta un diagrama de este mecanismo de accionamiento. No se ha representado el mecanismo de distribución, que es el encargado de abrir y cerrar las válvulas del cilindro para permitir que la presión se encuentre en la cara anterior o posterior del cilindro y así producir el retroceso o avance del pistón (deslizadera). La barra acopladora (en argot ferroviario: biela acopladora) transmite el movimiento al resto de ruedas motoras.



**Figura 2.14.** Sistema de accionamiento de las ruedas motoras a través del cilindro; se representan cuatro posiciones de la manivela (o rueda a la que se conecta la biela de forma excéntrica).

En la figura se han representado cuatro posiciones de la manivela, para cuatro ángulos; así, la deslizadera presenta dos posiciones extremas cuando se alinean la manivela y la biela, que suceden para  $\alpha = 0^\circ$  y  $\alpha = 180^\circ$ . En estas posiciones se tienen los puntos muertos inferior y superior, respectivamente. En estos puntos la fuerza de accionamiento en el cilindro no produce un potencia útil al mecanismo, con lo que se produciría un bloqueo. Este caso, que se estudia en las asignaturas de máquinas y mecanismos en las distintas ingenierías, se resuelve mediante la colocación de las manivelas de uno y otro lado desfasadas  $90^\circ$ .

Cuando se descargó la locomotora sobre la vía en la ETSII en 1982, no se procuró la sincronización entre la posición de la deslizadera (o cruceta) y la manivela (ruedas). Una sincronización correcta se daría en el caso en el que la manivela estuviera a  $180^\circ$ , según la figura 2.14, y la deslizadera estuviera en su posición extrema delantera; a su vez, si la manivela de la rueda quedara a  $0^\circ$ , el cilindro debería estar en su posición extrema trasera. Esta sincronización se consigue con un tramo largo de vía moviendo la locomotora hasta conseguir la citada configuración geométrica. Esta configuración asegura un correcto funcionamiento del sistema de distribución (no representado en los diagramas) que distribuye el vapor de forma coherente sobre las válvulas de los cilindros para conseguir el movimiento de avance/retroceso de la locomotora.



**Figura 2.15.** Reconstrucción de ambas bielas, para la posición en la que quedó la locomotora al montarlas como monumento. En trazo discontinuo se dibuja la posición de la deslizadera y de la biela para ambos lados, para la posición sincronizada.

La figura 2.15 esquematiza el sistema de tracción de la locomotora donde se han dibujado las bielas construidas *ad-hoc* para la posición relativa de las ruedas y los cilindros. La biela izquierda es mucho más corta que la biela derecha (se representa una imagen especular). En trazo discontinuo se representa la posición sincronizada de los cilindros. Se puede observar que las manivelas del lado derecho y del lado izquierdo están desfasadas  $90^\circ$  para evitar los puntos muertos.

Con motivo de la restauración realizada el 2008 se editó el libro Llop Bayo, J.L., Signes Martínez, F. (2008) "Locomotoras, vapor e ingeniería industrial". Valencia. Editorial UPV. Ref. 2008-2163.

Posteriormente, en el 2018 se realizaron las siguientes actuaciones (figura 2.16):

- Eliminación de óxido por arenado.
- Protección con pintura antioxidante.
- Pintado total exteriores y cabina. Se quiso idealizar una versión aparente de ribeteado bermellón como recuerdo a los diferentes aspectos que cada pareja de conducción adoptaba según los gustos.
- Sustitución de las bielas que se colocaron en 2008 de madera, por bielas fabricadas con chapa de acero inoxidable.





**Figura 2.16.** Fotografía de la locomotora 141<sup>F</sup>-2295 durante su restauración en 2018.

#### **2.5.4. Mantenimiento de la locomotora Mikado 141<sup>F</sup>-2295 y propuesta de conservación.**

La locomotora 2295 fue entregada en el año 1955 a RENFE y estuvo en servicio hasta su apagado formal en el año 1975 (unos 20 años). Esta locomotora estuvo en espera de ser desguazada hasta el año 1982 que fue llevada a Valencia-Fuente de San Luis y, posteriormente, se trasladó al campus de Vera de la UPV donde se encuentra en la actualidad. Lleva unos 48 años sin funcionar y 41 años como monumento ferroviario, es decir, de forma estática y sufriendo las inclemencias del tiempo.

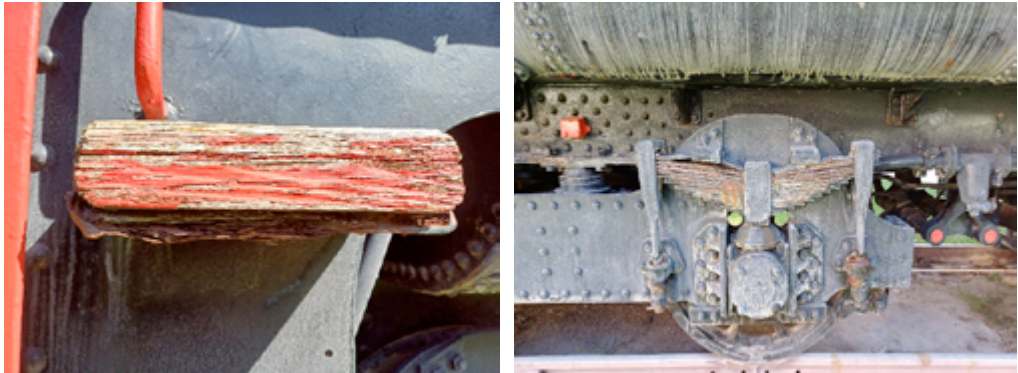
El acero empleado y la protección anticorrosión por efecto barrera (pintura) recomiendan emplear protecciones adicionales. La corrosión produce una pérdida de material que, poco a poco, va consumiendo los distintos componentes. Además, se produce una suerte de hinchazón, formando hojas deformadas, en aquellas uniones remachadas o roblonadas, dado que se trata de una construcción mixta soldada / roblonada. Cada vez que se hace una restauración, se realiza un arenado para la eliminación de las capas de óxido.

La figura 2.17 muestra dos imágenes del deterioro asociado a la corrosión del acero de la locomotora. A la izquierda, un escalón de la escalera de cabina, lado tender. La repisa del escalón es de madera y, al ser un material higroscópico, produce la oxidación del acero que tiene en contacto. En la misma figura, a la derecha, se muestra la suspensión primaria del bogie del tender: se observa tanto corrosión en los puntos de anclaje de los tirantes de la suspensión ya que el agua queda retenida en las cazoletas, como en la ballesta, ya que aparece condensación entre las distintas láminas.

Por otro lado, la radiación solar provoca un envejecimiento de la pintura de protección; así, este deterioro se hace más visible en el lado de la locomotora que da al sur (lado izquierdo).

Considerando estos efectos, se recomendaría instalar algún tipo de estructura de cubrición para protegerla de estos fenómenos atmosféricos, la lluvia y la radiación solar. En el territorio valenciano se puede citar el caso de *La Panderola*, preservada en Vila-Real (Castellón) donde se ha montado una estructura con cubierta a dos aguas para su protección (figura 2.18). En este caso, desafortunadamente, los vehículos quedan parcialmente cubiertos por la vegetación. También se puede citar el caso de la antigua

locomotora de RENFE 301-026 preservada bajo la marquesina de la antigua estación de Almoines (tren Alcoy-Gandía o *Alcoy and Gandia Railway and Harbour Company Limited*) por la asociación “tren Alcoy-Gandía”.



**Figura 2.17.** Ejemplos de daños por oxidación del acero en la locomotora 141<sup>F</sup>-2295 en la UPV. A la izquierda se muestra un escalón con la plataforma de madera en la escalera de cabina, lado tender. A la derecha, detalle de la suspensión primaria por ballestas del bogie del tender.

En el marco estatal, se puede mencionar el ferrocarril de cremallera de Montserrat (Barcelona) donde se ha monumentalizado la antigua locomotora de vapor Monistrol (1892) de la línea de cremallera junto a un coche de pasajeros, ambos de la antigua compañía FMGP (Ferrocarriles de Montaña de Grandes Pendientes), ex conjunto propiedad del Real Automóvil Club de Catalunya (RACC) (figura 2.19). Se ha montado una marquesina de protección carente de pilares en la parte central para facilitar su observación. Este tipo de solución sería muy adecuado para implementar en la UPV.



**Figura 2.18.** Locomotora núm. 3 y coche de pasajeros núm. 20 de la Compañía del Tranvía a vapor de Onda al Grao de Castellón de la Plana, popularmente conocido como *La Panderola*. Preservados en Vila-Real bajo una marquesina de protección.



**Figura 2.19.** Locomotora de vapor de cremallera Monistrol preservada junto a un coche de pasajeros y protegida mediante una estructura de cubrición. En la vía se recrea una pendiente de unas 55 milésimas (5,5 %).

## 2.6. Locomotoras *Mikado* preservadas en España

Finalmente, se ha querido incluir un apartado con las locomotoras tipo *Mikado* preservadas actualmente en España, donde se incluye también la locomotora con rodadura 141 de la compañía Norte (año 1916), previa al PGR de RENFE. La tabla 2.3 muestra el listado de locomotoras, con su numeración, su fabricante, su ubicación actual y el estado en el que se encuentra: si está como monumento, en condiciones de funcionamiento o en fase de reparación para su puesta en funcionamiento.

Se conservan un total de 18 locomotoras: una de la compañía Norte (serie 0, 20xx) y 17 de la compra realizada según el PGR de RENFE (cuatro de la serie 1, tres de la serie 2, cinco de la serie 3 y cinco de la serie 4). De estas, solo tres se encuentran en condición de funcionamiento, custodiadas por el Museo del Ferrocarril de Galicia (Monforte de Lemos, Lugo), por la Asociación Leonesa de Amigos del Ferrocarril (ALAF) y por el Museo del Ferrocarril de Madrid (Madrid Delicias). Una cuarta locomotora está en proceso de reparación para ponerla en marcha en el Museo del Ferrocarril de Móra la Nova (Tarragona).

**Tabla 2.3.** Locomotoras tipo *Mikado* preservadas en España.

Núm.	Fabricante	Ubicación	Estado
2001	Alco.	Estación de cabra (Córdoba)	Monumento
2101	NBL	Museu C. Vilanova i la Geltrú (Barcelona)	Monumento
2104	NBL	Universidad Carlos III (Leganés, Madrid)	Monumento
2111	NBL	M. F. de Galicia. Monforte de Lemos (Lugo)	Condic. func.
2124	NBL	Zaragoza Delicias	Monumento
2202	MACOSA	Alzira (Valencia)	Monumento

2240	Babcock- Wilcox	Las Matas (Madrid)	Monumento
2295	Euskalduna	UPV (Valencia)	Monumento
2316	MACOSA	Museu Ferrocarril. Móra la Nova (Tarragona)	En reparació
2326	MACOSA	U. Rey Juan Carlos (Fuenlabrada, Madrid)	Monumento
2346	MTM	León	Condic. func.
2348	MTM	Museu C. Vilanova i la Geltrú (Barcelona)	Monumento
2351	MTM	Elche (Alicante)	Monumento
2400	Euskalduna	Ciudad Real	Monumento
2401	Euskalduna	Villarcayo (Burgos)	Monumento
2413	Euskalduna	Museo Ferrocarril Madrid Delicias (Madrid)	Condic. func.
2415	Euskalduna	Albacete	Monumento
2416	Euskalduna	Museo Ferrocarril Madrid Delicias (Madrid)	Monumento

Sobre las locomotoras preservadas como monumento, éstas se encuentran en museos, en campus universitarios o en la vía pública (rotondas o parques/jardines). El estado de conservación de este grupo de locomotoras es dispar.

Las primeras *Mikados* en entregarse a RENFE, fueron las 141-2201 y 141-2202, por parte de MACOSA. Fue en año 1953. La locomotora 141-2202 (fuelizada con posterioridad), se conserva en Alzira como monumento (figura 2.20). Esta locomotora se rematriculó como 2206 cuando se monumentalizó, pero conserva las marcas originales 2202 en sus distintos componentes.

Respecto a la numeración, la locomotora identificada como primera de la serie (141-2101, fuelizada con posterioridad), fabricada en Glasgow (Reino Unido) por NBL, está preservada en el Museo del Ferrocarril de Cataluña, en Vilanova-i-la Geltrú (Barcelona) (figura 2.21). Esta locomotora se conserva junto a la que el príncipe Juan Carlos apagó simbólicamente en 1975 (141<sup>F</sup>-2348).



**Figura 2.20.** Locomotora *Mikado* 141<sup>F</sup>-2202 preservada en Alzira (Valencia).



**Figura 2.21.** Locomotora *Mikado* 141<sup>F</sup>-2101, primera en la numeración de la serie de locomotoras *Mikado* del PGR de RENFE. Preservada en el Museo del Ferrocarril de Cataluña (Vilanova-i-la-Geltrú, Barcelona).

Finalmente, la última locomotora que estuvo en servicio hasta el año 1984, la *Mikado* la 141<sup>F</sup>-2416 realizando el servicio de trenes carboneros entre Andorra (Teruel) y Escatrón (Zaragoza) está preservada en el Museo del Ferrocarril de Madrid, en Madrid-Delicias. Se ha seccionado para dar un uso didáctico y mostrar sus mecanismos internos y el funcionamiento de la locomotora de vapor (figura 2.22).



**Figura 2.22.** Locomotora *Mikado* 141<sup>F</sup>-2416 preservada en el Museo del Ferrocarril de Madrid y seccionada con un propósito didáctico.

## 2.7. Conclusiones

En este capítulo se ha presentado una visión histórica que ha dado lugar a la recuperación de la locomotora *Mikado* 141<sup>F</sup>-2295 y actualmente conservada en el campus de Vera de la UPV. En primer lugar, se presenta el sistema de denominación empleado para las locomotoras de vapor. Con el fin de facilitar la designación de los distintos tipos de locomotoras, se empleó un código numérico y cada tipo de rodadura se designó con un nombre. Así, *Mikado* se refiere a la rodadura 141.

En segundo lugar, se ha descrito el contexto histórico que dio lugar al PGR, plan creado para ampliar el parque de locomotoras de RENFE, en la situación creada tras la guerra civil.

En tercer lugar, se ha explicado cómo se desarrolló este PGR, según el cual, tras el lote inicial de locomotoras fabricadas en Reino Unido, se distribuyó la producción entre las cuatro empresas españolas de fabricación ferroviaria, donde la empresa valenciana MACOSA actuó como cabeza de proyecto.

En cuarto lugar, se ha presentado una cronología de los eventos relacionados con el PGR de RENFE y con el modelo *Mikado*.

Posteriormente, se ha descrito la puesta en valor llevada a cabo para la locomotora 141<sup>F</sup>-2295, que fue donada por dirección de la IV zona de RENFE a unos aficionados al ferrocarril y, a partir de estos, a la UPV.

Finalmente se ha presentado un listado de las locomotoras *Mikado* preservadas en España.

## 2.8. Bibliografía

Llop Bayo, J.L., Signes Martínez, F. (2008) “Locomotoras, vapor e ingeniería industrial”. Valencia. Editorial UPV. Ref. 2008-2163.

Maestro, A., Miquel J. (2008) “Las 141F de la RENFE. Las últimas locomotoras de vapor británicas”. Reserva Anticipada Ediciones. Barcelona. ISBN-10: 84-95493-31-4.

Marshall, L. G. (1965). “Steam on the RENFE”. McMillan & Co.

Mencken, H. L. “Article on The Mikado”, Baltimore Evening Sun, 29 November 1910. Disponible en [https://www.gsarchive.net/mikado/html/mikado\\_by\\_mencken.html](https://www.gsarchive.net/mikado/html/mikado_by_mencken.html). Accedido 12 de septiembre de 2023.

Moragas, A. (1994). “Locomotoras 10”. Barcelona. MAF.

“North British Mikado-Type locomotives for Spain”. *Railway Gazette*, February 12 (1954), pp. 193-194

RENFE. Numeración unificada de material motor. Situación del parque motor en la red a 1 de enero de 1971. 1971

## Parte 2

# Conservación preventiva en práctica

---

## Capítulo 3: Programa-piloto de conservación preventiva

**María Teresa Doménech Carbó**

*Institut Universitari de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València*

### Contenidos

- 3.1. Estructura del programa-piloto de conservación preventiva
- 3.2. Planificación
- 3.3. Acción
- 3.4. Verificación
- 3.5. Actuación
- 3.6. Referencias
- 3.7. Bibliografía

**E**n este capítulo se presenta un modelo de programa de conservación preventiva adaptado a patrimonio ferroviario. Este modelo se ha elaborado utilizando como caso de estudio de la locomotora Mikado 141-F 2295 que se exhibe en los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València (UPV).

### 3.1. Estructura del programa-piloto de conservación preventiva

En el diseño del programa piloto de conservación preventiva se ha seguido los criterios definidos en el capítulo 14 del volumen 1 de esta serie monográfica dedicada al patrimonio ferroviario valenciano. La figura 3.1 ilustra el esquema organizacional del programa.

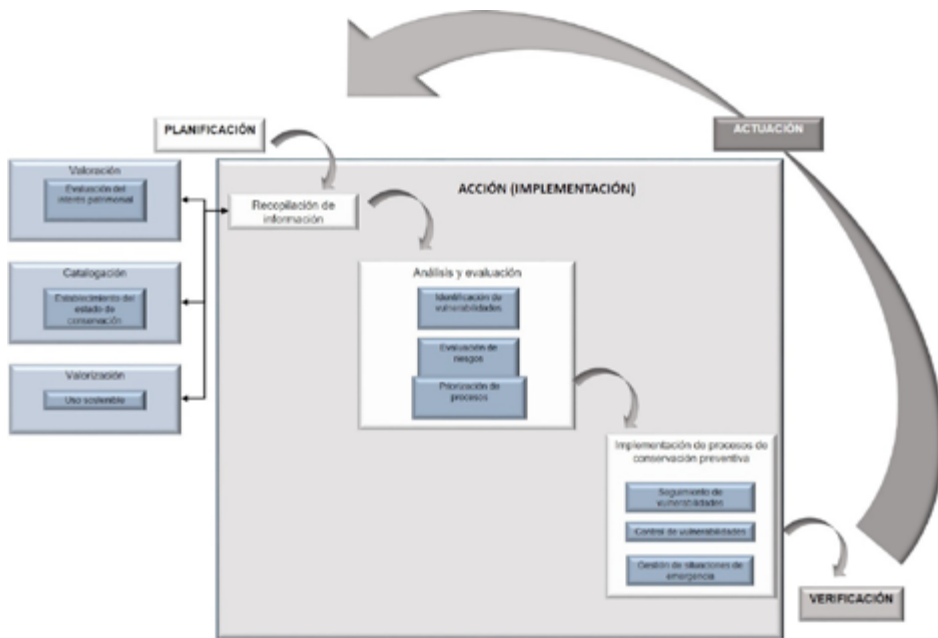


Figura 3.1. Estructura del programa-piloto de conservación preventiva.

### 3.2. Planificación

La planificación consiste en explicitar y desarrollar las actividades que incluirá todo el proceso de elaboración e implementación del programa de conservación preventiva. Nótese que este programa se elabora y desarrolla como una parte más del plan de gestión y, por tanto, esta interrelacionado con el resto de programas (valoración, documentación y valorización), tal como muestra la figura 3.1. Cabe señalar que el diseño tomará en consideración principalmente las recomendaciones emanadas de las guías oficiales para la elaboración de planes de conservación preventiva publicadas por el Ministerio de Cultura y Deporte (2011) y Herráez *et al.* (2017 y 2019) según las cuales, durante la fase de planificación debe atenderse tres aspectos básicos:

- Diseño de la estructura y de las fases subsiguientes de acción, verificación y actuación a tenor de los objetivos y metas planteados para el bien o colección.
- Previsión de recursos humanos y económicos.
- Estudio de viabilidad y plan de contingencias.

### 3.3. Acción

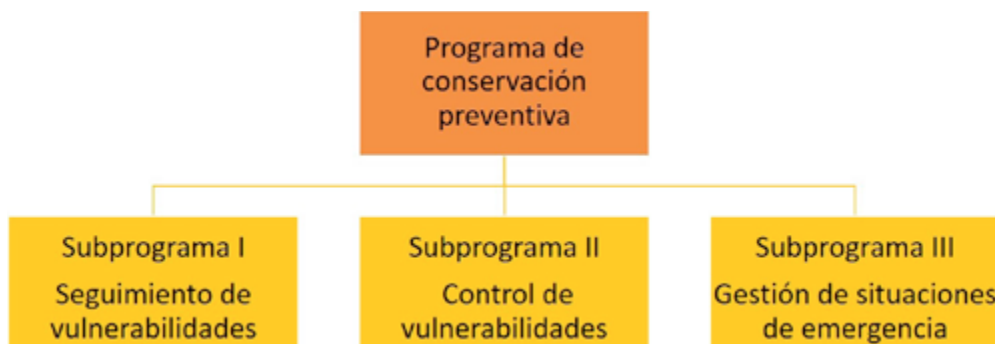
La etapa de acción incluye cuatro tipos de actuaciones (Ministerio de Cultura y Deporte, 2011, ISO 31000:2018):

- *Recopilación de información*: esta fase se nutre e interrelaciona con los restantes programas de valoración, documentación y valorización.
- *Análisis de vulnerabilidades*: identificación de las situaciones en las que exista la



posibilidad de que el bien cultural sufra un deterioro o daño.

- *Evaluación de vulnerabilidades*: valoración de los riesgos y emisión de una calificación (Ashley-Smith, 1999), Avrami *et al.* 1999).
- *Implementación del programa*: como resultado de las anteriores fases se elaborará un programa de conservación preventiva que se estructura en tres subprogramas (figura 3.2):
  - Seguimiento de vulnerabilidades: amenazas y procesos acumulativos.
  - Control de vulnerabilidades.
  - Gestión de situaciones de emergencia.



**Figura 3.2.** Estructura del programa-piloto de conservación preventiva para el caso de estudio de la locomotora Mikado 141-F 2295.

El subprograma I se basa en la implementación de **métodos de seguimiento** que son aquellos sistemas diseñados para identificar y monitorizar las amenaza y procesos acumulativos considerados individualmente y combinados. Estos métodos de seguimiento deben ser capaces de caracterizar completamente cada amenaza o proceso de alteración en curso. La tabla 3.1 resume los criterios seguidos en la planificación del subprograma de seguimiento de amenazas y procesos acumulativos para la locomotora Mikado 141-F 2295.

**Tabla 3.1.** Criterios básicos para establecer el subprograma de seguimiento de vulnerabilidades.

Criterio	Descripción
Seguimiento de agentes medioambientales nocivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los agentes de deterioro medioambientales con actividad en la locomotora: contaminantes atmosféricos y agentes climáticos.</li> <li>• Cuantificar el contenido de agentes medioambientales.</li> <li>• Cuantificar los indicadores de los agentes climáticos.</li> <li>• Identificar agentes geogénicos con actividad.</li> <li>• Identificar agentes biogénicos con actividad.</li> <li>• Identificar agentes antropogénicos con actividad.</li> </ul>

Seguimiento de efectos negativos en la locomotora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la composición y velocidad de avance de la capa de suciedad.</li> <li>• Identificar los procesos de alteración y las fuentes o causas.</li> <li>• Investigar cualitativa y cuantitativamente el impacto presente y futuro de los procesos de alteración.</li> </ul>
Campaña de exposición de probetas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar cambios en la velocidad de corrosión del acero.</li> </ul>

El subprograma II se basa en la implementación de **métodos de control**, entendidos como aquellas acciones que permiten eliminar o minimizar los efectos de las amenazas y los procesos acumulativos. Los métodos de control se clasifican conforme a tres tipologías:

- *Actuaciones para la protección estatutaria o legal*: abarca todo el conjunto de acciones conducentes a minimizar o paliar vulnerabilidades asociadas a la carencia de protección legal, jurídica o bien, a la carencia de protección estatutaria en la institución propietaria.
- *Actuaciones de conservación*: incluyen todo el conjunto de operaciones de restauración y conservación curativa realizadas en el bien que aseguran su preservación y funcionalidad. Las tareas de mantenimiento se pueden agrupar en dos tipos: a) **tareas de supervisión** o inspecciones periódicas del objeto y de su entorno; b) **intervenciones** de pequeño alcance bien conservaciones curativas o restauraciones localizadas.
- *Actuaciones de mantenimiento*: incluyen todo el conjunto de operaciones de conservación realizadas tanto en el entorno del bien (salas, instalaciones, etc.) que aseguran la estabilidad y funcionalidad del bien. Por acciones periódicas se entienden tareas de rutina que no incluyen restauraciones o intervenciones arquitectónicas significativas dirigidas a mantener en condiciones idóneas los inmuebles, instalaciones técnicas y dispositivos expositivos. Al igual que las tareas de conservación, las tareas de mantenimiento se dividen en: a) tareas de supervisión o inspecciones periódicas en zonas representativas del conjunto de la colección patrimonial con especial vulnerabilidad; b) intervenciones de pequeño alcance como reparaciones de averías o desperfectos que no afectan al bien directamente sino al edificio o infraestructuras de su entorno.

Es de gran importancia establecer métodos objetivos de priorización de las actuaciones de control. Para ello se pueden adoptar sistemas de análisis y toma de decisiones multicriterio (capítulo 17 del volumen 1 de la serie monográfica).

El subprograma III se basa en la implementación de tareas, realizadas antes de que se produzca el suceso adverso, que permitan actuar de manera automática, evitando improvisaciones e implementando las medidas de control previstas lo más eficiente y eficazmente posible de modo que el impacto negativo en el bien sea mínimo. Para los desastres mayores y las situaciones de catástrofe se habrán diseñado protocolos de coordinación y comunicación con Protección Civil.

La siguiente documentación debe ser tenida en cuenta para elaborar los protocolos ante situaciones de emergencia:

- “Manual de Autoprotección, guía para el desarrollo del Plan de Emergencia contra incendios y evacuación en los locales y edificios” de la Dirección General de Protección Civil, aprobado por Orden de 29 de noviembre de 1984.
- Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación “NBE-CPI/96: Condiciones de Protección contra Incendios de los edificios”.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Orden de 16 de abril de 1998 sobre normas de procedimientos y desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba la Reglamento de instalaciones de protección contra incendios y se revisa el anexo I y los apéndices del mismo.
- Decreto 156/1999, de 17 de septiembre del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Plan Especial ante el Riesgo de Inundaciones en la Comunidad Valenciana.

### **3.4. Verificación**

Este tipo de actividades suelen efectuarse por personal ajeno a la gestión del bien por lo que debe ponerse especial énfasis en la formación y el adiestramiento de dicho personal, así como en la claridad en la descripción de procesos y en la supervisión y verificación. La verificación se realiza mediante las inspecciones y la documentación generada (capítulo 7 del volumen 1). La verificación se lleva a cabo mediante el establecimiento de los correspondientes métodos de evaluación de la eficacia y eficiencia de todas las actuaciones que conlleva la implementación del programa: recopilación de información, análisis y evaluación de vulnerabilidades y métodos de seguimiento y control de vulnerabilidades.

### **3.5. Acción**

Siguiendo un enfoque de procesos, son los procesos de retroalimentación de la planificación a partir de las conclusiones extraídas de las acciones de verificación (capítulo 8 del volumen 1).

### 3.6. Referencias

Ashley-Smith, J. (1999) *Risk assessment for object conservation*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Avrami, E., Dardes, K., De la Torre, M., Harris, S.Y., Henry, M. y Jessup, W.C. (1999) *The conservation assessment: a proposed model for evaluating museum environmental management needs*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.

Herráez, J. A., Durán, D. y García Martínez, E. (2017) *Planes Nacionales de la Conservación Preventiva. Fundamentos de Conservación Preventiva*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Herráez, J. A., Durán, D. y Pastor, M.J. (2019) *Guía para la Elaboración e Implantación de Planes de Conservación Preventiva*. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

ISO 31000:2018. *Risk management – Guidelines. Second edition*. International Organization for Standardization. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/65694.html>. Consultado 5 septiembre 2022].

Ministerio de Cultura y Deporte (2011) *Plan Nacional de Conservación Preventiva*. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte. Disponible en: <https://ipce.culturaydeporte.gob.es>. [Consultado el 5 de septiembre de 2022].

Ministerio de Cultura y Deportes (2023) *Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en el Patrimonio Cultural (PNEGR)*. Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:5f2ccbaa-69d6-4d40-b1eb-3111131093f0/guia-para-la-elaboracion-de-un-plan-de-gestion-de-emergencias.pdf>. [Consultado el 8 abril 2023].

### 3.7. Bibliografía

Alcántara, R. (2002) *Standards in preventive conservation: meanings and applications*. ICCROM. Disponible en: <https://www.iccrom.org>. [Consultado 30 agosto 2022].

Collections Trust (n.d.) *Collections Trust Accreditation Guidance Sheet 1: Collections Management Framework*. Disponible en: <https://collectionstrust.org.uk/wp-content/uploads/2016/10/Collections-Management-Framework.pdf>. [Consultado 12 septiembre 2022].

De Guichen, G. (1980) *Climate in museums*, Roma: ICCROM.

De Guichen, G. (1995) *La conservation préventive: un changement profond de mentalité*, Study series, Committee for Conservation (ICOM-CC). Disponible en: <http://tinyurl.com/kx2j95h> [Consultado el 5 de febrero de 2022].

García Fernández, I. (2013) *La conservación preventiva de bienes culturales*. Madrid: Alianza

González Varas, I. (2015) *Patrimonio cultural: conceptos, debates y problemas*. Madrid: Cátedra.

Heritage Care. *Guidelines for Good Practices on Preventive Conservation* (2019). Disponible en: <https://repositorio.iaph.es> [Consultado el 5 de febrero de 2022].

Herráez, J.A., Durán, D. y García Martínez, E. (2018) *Fundamentos de Conservación Preventiva*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Herráez, J.A. y Rodríguez Lorite, M.A. (1999) “Conservación Preventiva de las Obras de Arte”. En: *Arbor. Conservación del Patrimonio Artístico*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

ICCROM-UNESCO (2009) *Manual de Gestión de Riesgo de Colecciones*. ICCROM-UNESCO partnership for the preventive conservation of endangered museum collections in developing countries. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org>. [Consultado el 27 enero 2023].

ICCROM (2016) *Guía de Gestión de Riesgos para el Patrimonio Museológico*. ICCROM. Disponible en: [https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-01/guia\\_de\\_gestion\\_de\\_riesgos\\_es.pdf](https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-01/guia_de_gestion_de_riesgos_es.pdf). [Consultado el 27 enero 2023].

Keene, S. (1996) *Managing conservation in museums*. London: Butterworth Heinemann.

Knell, S. (1997) *Care of collections, Leicester readers in museum studies*, 6, pp. 84.

Lopez Ruiz, C. y Cuba Taboada, M. (2004) *Conservación preventiva para todos. Una guía ilustrada*. Madrid: Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, 2014 PDF.

Michalski, S. (2006) *Cómo administrar un museo. Manual práctico*. Preservación de las colecciones, Paris: ICOM Committee.

Roy, A. y Smith, P. (edit.) (1994) “Preventive Conservation Practice, theory and research”. En: *Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress*. Londres: International Institute for Conservation.

Stovel, H. (2003) *Preparación ante el riesgo: Un manual para el manejo del Patrimonio cultural Mundial*. ICCROM-UNESCO-WHC-ICOMOS.



## Capítulo 4: Implementación del programa piloto de conservación preventiva

**María Teresa Doménech Carbó y Miguel F. Silva**

*Institut Universitari de Restauración del Património. Universitat Politècnica de València*

### Contenidos

- 4.1. La locomotora Mikado 141-F 2295
  - 4.1.1. Contexto físico
  - 4.1.2. Contexto institucional
- 4.2. Recopilación de información
  - 4.2.1. Identificación
  - 4.2.2. Valoración del interés patrimonial
  - 4.2.3. Estado de conservación
  - 4.2.4. Valorización
- 4.3. Análisis de datos e identificación de vulnerabilidades
- 4.4. Evaluación de vulnerabilidades
- 4.5. Evaluación de vulnerabilidades en futuros escenarios del cambio climático
- 4.6. Implementación de subprogramas
  - 4.6.1. Subprograma I: seguimiento de vulnerabilidades
  - 4.6.2. Subprograma II: control de vulnerabilidades
  - 4.6.3. Subprograma III: gestión de situaciones de emergencia
- 4.7. Referencias
- 4.8. Bibliografía

**E**n este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la implementación de la primera etapa del programa piloto de conservación preventiva y las actuaciones incluidas en los tres subprogramas que se han elaborado utilizando el caso de estudio de la locomotora Mikado 141-F 2295 que se exhibe en los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València.

## 4.1. La locomotora Mikado 141-F-2295

### 4.1.1. Contexto físico

La locomotora Mikado 141-F-2295 forma parte del Fondo de Arte y Patrimonio de la Universitat Politècnica de València (UPV) y se exhibe en los jardines del campus de Vera, en las inmediaciones de los edificios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) (figuras 4.1 y 4.2). Esta pieza singular procede de RENFE y fue donada por la Asociación Valenciana de Amigos del Ferrocarril (AVAF) a la Universitat Politècnica de València.

La locomotora Mikado 141-F-2295 (figuras 4.1-4.4) se exhibe en los jardines del campus de Vera de la UPV, entre diversos edificios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (figura 4.5). Localizada en la zona norte de la ciudad y a 2,5 km de la playa de la Malvarrosa (figura 4.6).



**Figura 4.1.** Imagen general de la locomotora Mikado 141-F-2295.



**Figura 4.2.** Imagen general de la locomotora Mikado 141-F-2295.





**Figura 4.3.** Vista frontal de la locomotora.



**Figura 4.4.** Vista de la parte de atrás de la locomotora.



**Figura 4.5.** Localización de la locomotora Mikado 141-F-2295 en el campus de Vera de la Universitat Politècnica de València



**Figura 4.6.** Localización del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València en las cercanías de la playa de la Malvarrosa de la ciudad de Valencia. Imagen adaptada por la autora de la original, por cortesía de Copyright (C) 2000,2001,2002. Licencia: Free Software Foundation, Inc. 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA GNU Free Documentation License. Version 1.2, November 2002. ULR: File: UPV Campus Vera desde el Aire oeste a este.jpg|thumb|UPV Campus Vera desde el Aire oeste a este]. [Consultado 11 de junio de 2023].

### 4.1.2. Contexto institucional

La locomotora es un bien cultural incluido dentro del Fondo de Arte y Patrimonio de la UPV (FAP-UPV) el cual forma parte de un área dependiente del Vicerrectorado de Cultura de la UPV. El cometido de esta sección de la UPV es administrar los medios y recursos para la correcta y eficiente gestión del patrimonio cultural que se encuentran en el conjunto de los tres campus de la UPV (Alcoi, Gandía y Vera en Valencia).

El organigrama del FAP-UPV está encabezado por el Vicerrector de Cultura seguido del Director del Área de Cultura de la cual depende el FAP-UPV. Durante las últimas tres décadas estos cargos han estado ocupados por profesores de la Facultad de Bellas Artes algunos del Dpto. de Conservación y Restauración de Bienes Culturales y de la Escuela Superior de Arquitectura, lo que ha permitido valorar esta colección realmente a efectos de su conservación y difusión para el futuro.

Desde el FAP-UPV se coordinan y ejecutan las actividades de documentación, conservación, mantenimiento y difusión de la colección. En esta última actividad se han diseñado recorridos guiados para grupos visitantes y talleres de concienciación con diferentes actividades prácticas relacionadas con el arte, su difusión y conservación, como parte de los objetivos de la universidad y su relación con la sociedad. Estas estrategias son una de las formas de compartir con la sociedad el conocimiento que se genera en el ámbito artístico universitario.

La situación legal de la locomotora Mikado 141-F 2295 está determinada por el convenio que llevó a cabo AVAF y la Universitat Politècnica de València para la donación de este bien en 1984 por el cual la locomotora pasó a ser de titularidad de la UPV. La locomotora no figura en ningún listado oficial de bienes de interés local o nacional y, por consiguiente, está únicamente sujeta a la protección que los Estatutos de la UPV establecen para su Fondo de Arte y Patrimonio.

El programa de conservación del plan de conservación preventiva ha incluido, en el pasado, una restauración integral de tipo histórico de la locomotora. Posteriormente, este programa ha incluido la supervisión periódica y la limpieza superficial ocasional/a demanda de la locomotora. Dentro del presente proyecto I+D AICO2021/095 se ha llevado a cabo la reintegración del silbato mediante escaneado láser e impresión 3D. Esta era la única pieza que quedaba aun como parte faltante de la locomotora ya que la otra, la biela del lateral izquierdo, se reintegró en la restauración de 2007.

El programa de mantenimiento se encarga de la supervisión de las operaciones de limpieza y jardinería, en particular, de esta última por el elevado impacto que puede tener en las obras expuestas al aire libre. Además, se ocupa de mejorar las condiciones de exhibición de la locomotora y del resto de objetos de la colección. Una de las últimas intervenciones llevadas a cabo ha sido la exposición sobre un pedestal, de todo el patrimonio al aire libre para evitar el contacto directo con el agua del riego por aspersión y la humedad incorporada en las esculturas y objetos expuestos por sorción capilar del suelo. Los pedestales están contruidos con diversos materiales y se sitúan sobre una estructura realizada con pletinas de aluminio para facilitar que el flujo de aire evite la condensación de agua. La locomotora se encuentra colocada sobre vigas de cemento simulando railes.



## 4.2. Recopilación de información

La identificación de la locomotora Mikado 141-F-2295 se lleva a cabo mediante su inclusión en el Inventario del Fondo de Arte y Patrimonio. La información de la locomotora Mikado 141F 2295 se ha organizado de manera sintética en un formato de “ficha inventario-catálogo” que puede ser ampliada en cualquier momento en cada uno de sus diferentes apartados. La información se ha estructurado en la ficha tal como se muestra en la figura 4.7:



**Figura 4.7.** Estructura-metadatos de la ficha inventario-catálogo elaborada para la locomotora Mikado 141-F 2295.

### 4.2.1. Identificación

En las tablas 4.1 a 4.3 se muestra una propuesta de ficha-inventario-catálogo que incluye un primer grupo de información asociado a las características identificativas y descriptivas de la locomotora

**Tabla 4.1.** Información identificativa de la locomotora Mikado 141-F 2295.

1. Datos identificativos	
Número de inventario*	1984.001.
Fecha de incorporación*	x-x-1984.
Fecha de compilación*	x-x-1984.

<b>Registrador*</b>	Responsable del registro de obras en el Área del Fondo de Arte y Patrimonio.
<b>Ubicación</b>	Campus de Vera de la Universitat Politècnica de València. Jardín situado entre los edificios 5C-5F-5G-5H-5I.
<b>Propietario</b>	Propietarios anteriores: RENFE, AVAF. Propietario actual: Universitat Politècnica de València por donación de AVAF desde 1984.
<b>Situación legal</b>	El bien no posee ningún tipo de protección legal al no haberse incoado expediente de declaración de bien integrante del patrimonio ferroviario nacional.
<b>Referencias cruzadas</b>	No aplica.

\*Por razones de protección de datos se proporciona un número o dato genérico. El resto de datos de la ficha son de dominio público.

**Tabla 4.2.** Datos sobre información y características generales de la locomotora Mikado 141-F 2295.

## 2. Caracterización general

<b>Nombre</b>	Mikado F-141-2295.
<b>Categoría y tipo</b>	Locomotora de vapor.
<b>Título/Denominación</b>	Clase UIC: 1D1, 1'D1'; Clase francesa:141; Clase turca: 46; Clase suiza: 4/6; Clase: rusa: 1-4-1; Clase Whyte: 2-8-2.  Denominada popularmente Mikado por su venta de a la compañía Nippon Railway coincidiendo con el estreno en Estados Unidos de una ópera muy popular con el nombre de un emperador, en japonés "Mikado"
<b>Tema</b>	ICONCLASS 46C1521.
<b>Fecha o período</b>	Fabricación de la primera locomotora de esa clase: 1895.  Período en servicio en España de las locomotoras de la serie: 1953-1975.  Fecha de contrato de compra: 1984.  Fecha de fabricación de la Mikado 141-F-2295: 1955.

**Autor/Fabricante** Fabricantes de las primeras locomotoras de esta clase: Lima Locomotive Works, Baldwin Locomotive Works y Alco (American Locomotive Company).

Fabricante de las piezas de la Mikado 141-F-2295: North British Locomotive Company.

Constructor de la Mikado 141-F-2295: EUSKALDUNA.

**Materiales y técnicas** Ver ficha específica de funcionalidad.

**Morfología** Ver ficha específica de funcionalidad.

**Inscripciones, marcas y características distintivas**



A) N° Serie 141F 2295; COMPAÑÍA EUSKALDUNA; N° 155, 1955 BILBAO; TARA.... 26Tm.; PESO EN SERVICIO.... 67 “; freno aut....30”; FRENO MANO AUT.... 20 “; 90 (velocidad máxima permitida). B) CAF 23751 10 6 74 BM1.

**Tabla 4.3.** Datos relativos a las características funcionales de la locomotora Mikado 141-F 2295.

<b>3. Caracterización funcional</b>	
<b>Identificación</b>	
<b>Número de serie</b>	2295.
<b>Número de fabricación</b>	345.
<b>Fecha de fabricación</b>	1955.
<b>Otras numeraciones</b>	141 (indicador de clase de disposiciones de ejes Sistema francés-español).
	F (fuelizada).
<b>Tipo de rodaje</b>	Locomotora con tender separado.
<b>Medidas y pesos</b>	
Ancho de vía	Ibérico: 1.668 mm.
Altura de caja	4.438 mm.

Longitud	23.115mm.
Diámetro ruedas motrices	1.560 mm.
Diámetro ruedas bisel anterior	860 mm.
Diámetro ruedas bisel posterior	1.080 mm.
Peso en vacío	94.000 kg.
Peso en servicio	103.000 kg.
Peso adherente	72.000 kg.
Peso máximo por metro lineal	7.596 kg.

---

### Prestaciones

Potencia	2.000 CV.
Esfuerzo de tracción	14.790 kg.
Velocidad máxima	115 km h <sup>-1</sup> .
Velocidad autorizada	90 km h <sup>-1</sup> .

---

### Motorización

Combustible	Fuel (locomotora fuelizada).
Timbre de caldera	15 kg cm <sup>-2</sup> .
Diámetro interior de la caldera	1.828 mm.
Longitud entre placas tubulares	5.485 mm.
Diámetro exterior de los tubos	55 mm (Hervidores); 133 mm (recalentadores).
Número de tubos	125 (Hervidores); 34 (recalentadores).
Superficie del hogar	20,50 m <sup>2</sup> .
Superficie de los tubos	187 m <sup>2</sup> .
Superficie total	207,50 m.
Superficie del recalentador	72 m <sup>2</sup> .
Superficie de la rejilla	4,8 m <sup>2</sup> .

---

### Tender

Diámetro ruedas	1.080 mm.
Capacidad de agua	27 m <sup>3</sup> .
Capacidad de carbón	11.000 kg.
Peso en vacío	25.500 kg.
Peso en servicio	63.500 kg.

---

### 4.2.2. Valoración del interés patrimonial

La tabla 4.4 resume las conclusiones extraídas de la valoración del interés patrimonial realizada a la locomotora Mikado 141-F 2295.

**Tabla 4.4.** Resumen del informe de valoración del interés patrimonial y significado de la locomotora Mikado 141-F 2295.

---

#### 4. Sumario de la evaluación del interés patrimonial del bien

---

##### Valores patrimoniales

---

**Testimonial:** rememora y es documento fehaciente de la locomoción utilizando el vapor como fuerza tractora. No conmemora ningún acontecimiento o personaje específico. No hay intencionalidad por parte del fabricante de constituir testimonio para las futuras generaciones.

**Histórico:** tiene características ilustrativas del transporte movilizad o sobre riel y asociativas con las actividades vinculadas a la movilidad de bienes y personas, comercio y turismo. La procedencia u origen como toda la sucesión de avatares por los que el bien ha pasado hasta el momento constituye otro elemento de interés.

**Artístico:** no aplica.

**Arquitectónico:** no aplica.

**Tecnológico:** El diseño de la locomotora muestra los avances tecnológicos a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX.

**Científico:** el diseño tecnológico de las locomotoras mikado 141, más que esta locomotora específica, puede tener interés en estudios científicos dirigidos a desarrollar nuevos sistemas de tracción a vapor basados en el calentamiento mediante energía solar.

**Educativo/académico:** situada junto a la ETSII de la UPV tiene un gran valor para mostrar a los estudiantes de ingeniería industrial la evolución tecnológica del transporte por ferrocarril. Los estudiantes de conservación y restauración de bienes culturales pueden conocer a través de la locomotora la problemática de la conservación de patrimonio industrial exhibido al aire libre.

**Territorial:** construcción del paisaje natural, en el pasado, y urbano, en el presente, al formar parte de la colección de arte y patrimonio exhibida al aire libre en la UPV siendo una de las piezas emblemáticas del patrimonio industrial de dicha colección.



**Espiritual:** no aplica.

**Religioso:** no aplica.

**Asociativo/simbólico:** no aplica.

**Social:** no aplica.

**Identidad o representatividad etnográfica:** no aplica.

**Político:** no aplica.

**Originalidad, rareza o singularidad:** aunque su componente de originalidad y rareza se ve mermado por tratarse de un objeto producido en serie, el hecho de que este tipo de locomotoras fuese fabricado por diferentes compañías y sujeto a modificaciones a lo largo del tiempo hace que esta locomotora tenga un carácter singular que la diferencia del resto de locomotoras de la misma serie. Asimismo, su particular uso en unos itinerarios específicos le aporta singularidad.

**Representatividad tipológica:** su representatividad tipológica se ve reducida por tratarse de un objeto producido en serie y existir otras locomotoras de su misma clase que también se han conservado.

**Excepcionalidad o calidad:** su hechura es equiparable a la de otras locomotoras de su misma clase que también se han conservado.

**Autenticidad:** la locomotora ha mantenido intactos y discernibles sus valores originales pese a las modificaciones sufridas, las cuales forman parte de su historia y, por tanto, le proporcionan autenticidad y valor histórico como testimonio de la adaptación a las necesidades cambiantes del transporte en cada momento.

**Integridad:** el número de piezas que no son originales es muy escaso por lo que su integridad es elevada.

---

**Valores económicos**

---



**Uso:** no aplica.


**No uso:** por tratarse de un bien donado por RENFE a la UPV y custodiado por esta institución universitaria posee un valor nominal de no uso asociado al disfrute por la sociedad sin contrapartida de valor.






**Sostenibilidad:** objeto con uso actual museístico sujeto a los criterios de sostenibilidad de la institución universitaria que lo custodia.

### 4.2.3. Estado de conservación

Tras varios años de exposición al aire libre después de su recuperación y restauración, los principales daños sufridos se refieren a diferentes alteraciones en forma de manchas, costras, depósitos superficiales de materiales exógenos, formados por procesos químicos y físicos asociados a factores climáticos y ambientales y al mantenimiento del jardín. También se han detectado alteraciones de la película pictórica y del acero del cuerpo de la locomotora debidas al avance de procesos de corrosión y sucesos aislados de vandalismo. La tabla 4.5 resume los resultados obtenidos en el trabajo de campo realizado sobre el estado de conservación de la locomotora Mikado 141-F 2295.

**Tabla 4.5.** Resume del trabajo de campo realizado sobre el estado de conservación de la locomotora Mikado 141-F 2295.

5. Estado de conservación		
Estado general		
La locomotora presenta un buen estado de conservación gracias a la restauración realizada en el año 2008.		
Calidad (escala de daños)	Intensidad (0-5)	Extensión (%)
Alteraciones de origen físico-químico		
Corrosión superficial de las partes metálicas expuestas sin que produzca deformación de la pieza.		4
		10

<p>Deformaciones de la pieza por la presión ejercida por el aumento de volumen de la capa de corrosión en las partes metálicas expuestas.</p>			
<p>Delaminación con pérdida de estratos pictóricos.</p>		4	1
<p>Decoloración y pérdida de brillo del estrato pictórico.</p>		1	90
<p>Formación de costras calcáreas por acción de la lluvia y las salpicaduras del riego del jardín.</p>		4	15 %
<p><b>Alteraciones de origen biológicos</b></p>			
<p>Excrementos de aves y residuos orgánicos vegetales en la superficie de la locomotora, principalmente en la zona superior y en las partes horizontales donde los pájaros pueden posarse.</p>		3	0,5

También se observa crecimiento de vegetación en el suelo situado debajo de la locomotora que, de momento, no parece afectar.	0	0
<b>Alteraciones de origen antropogénico</b>		
No se han observado daños causados por actos vandálicos ni por los visitantes.	0	0
No se han observado daños causados por las operaciones de mantenimiento.	0	0
<b>Cambios e intervenciones llevadas a cabo</b>		
<p>Aparentemente todas las piezas que actualmente componen la locomotora son originales a excepción de la biela que transmite el movimiento a las cuatro ruedas motrices que se hizo <i>ex novo</i> y se añadió en el lado izquierdo. Debido a que la locomotora ya estaba instalada en su actual ubicación esta biela no tiene las dimensiones correctas. Además, toda la locomotora se limpió y pintó. La chimenea se cubrió con una placa metálica para evitar filtraciones de agua y polvo en la caldera y los cilindros. El silbato permanece como única pieza faltante.</p>		
<b>Factores que condicionan la integridad del objeto</b>		
<p>El principal factor que condiciona la integridad del objeto es su ubicación. La exhibición al aire libre de la locomotora en un ambiente urbano y en una localización a 2,5 km de la costa no es adecuada para un objeto eminentemente metálico. El problema se agrava con el cambio climático en el que los resultados obtenidos en la presente investigación indican que en el año 2100 la velocidad de corrosión puede verse incrementada.</p>		
<b>Mapa de daños</b>		
Esta ficha se complementa con los mapas de daños mostrados en las figuras 4.8 a 4.11.		

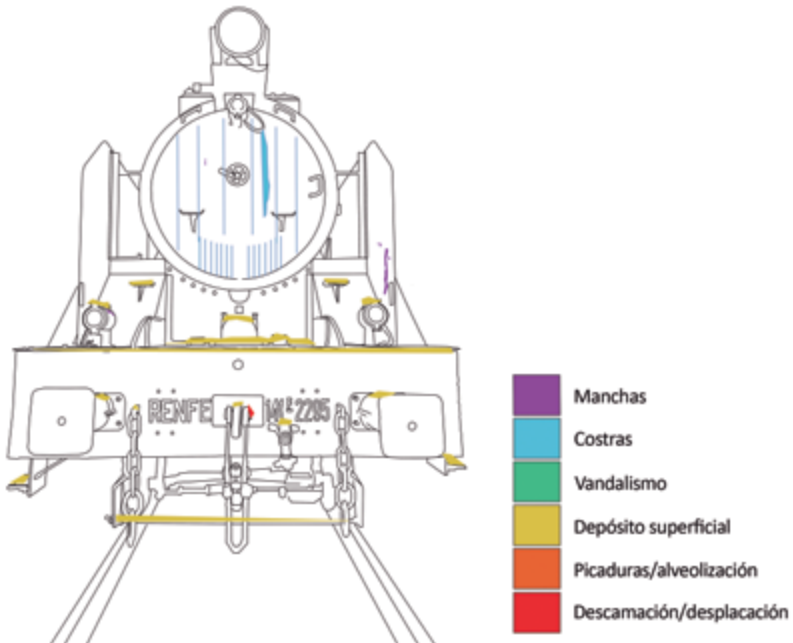
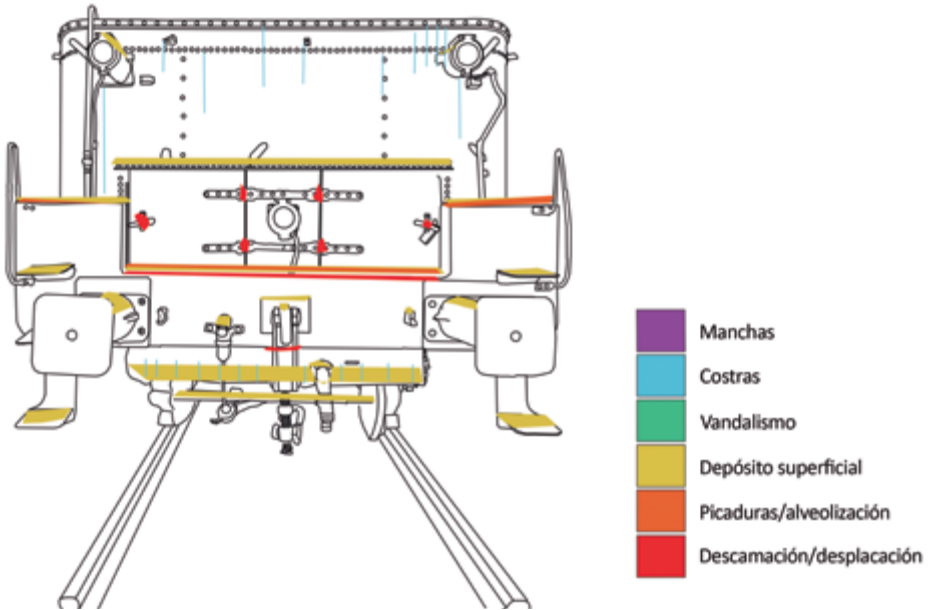


Figura 4.8. Mapa de daños. Vista frontal de la locomotora Mikado 141-F 2295.



**Figura 4.9.** Mapa de daños. Vista frontal de la locomotora Mikado 141-F 2295.

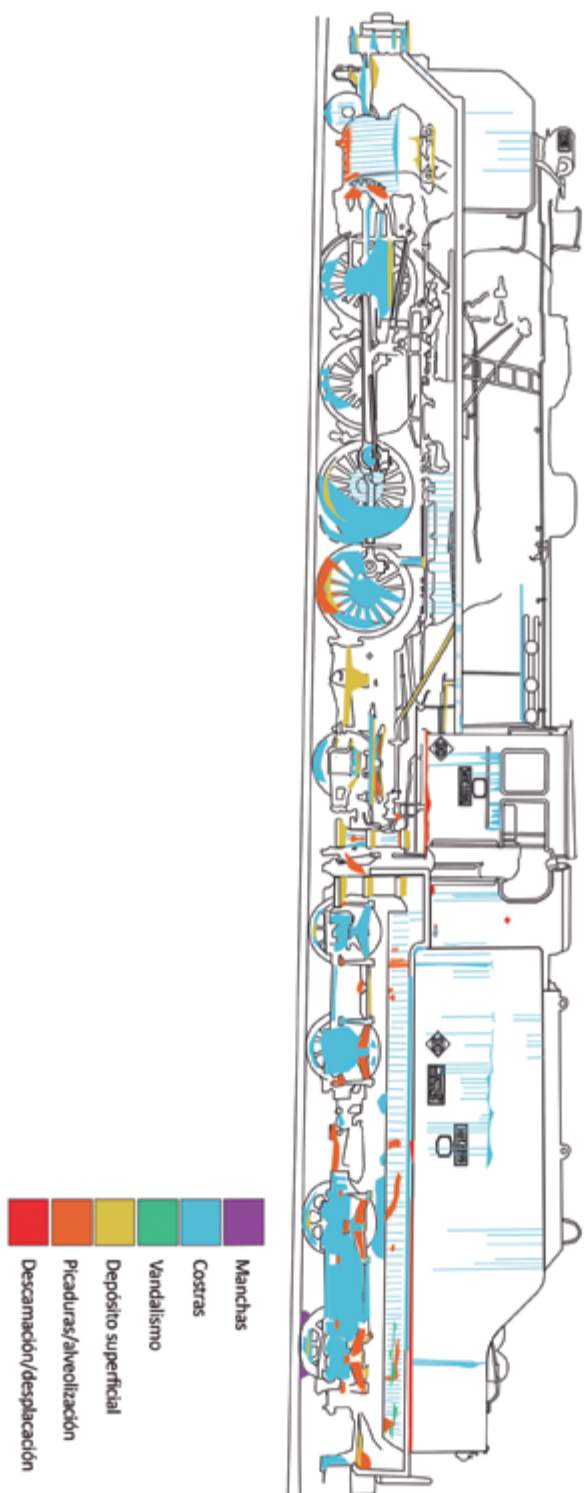


Figura 4.10. Mapa de daños. Vista lateral derecha de la locomotora Mikado 141-F 2295.

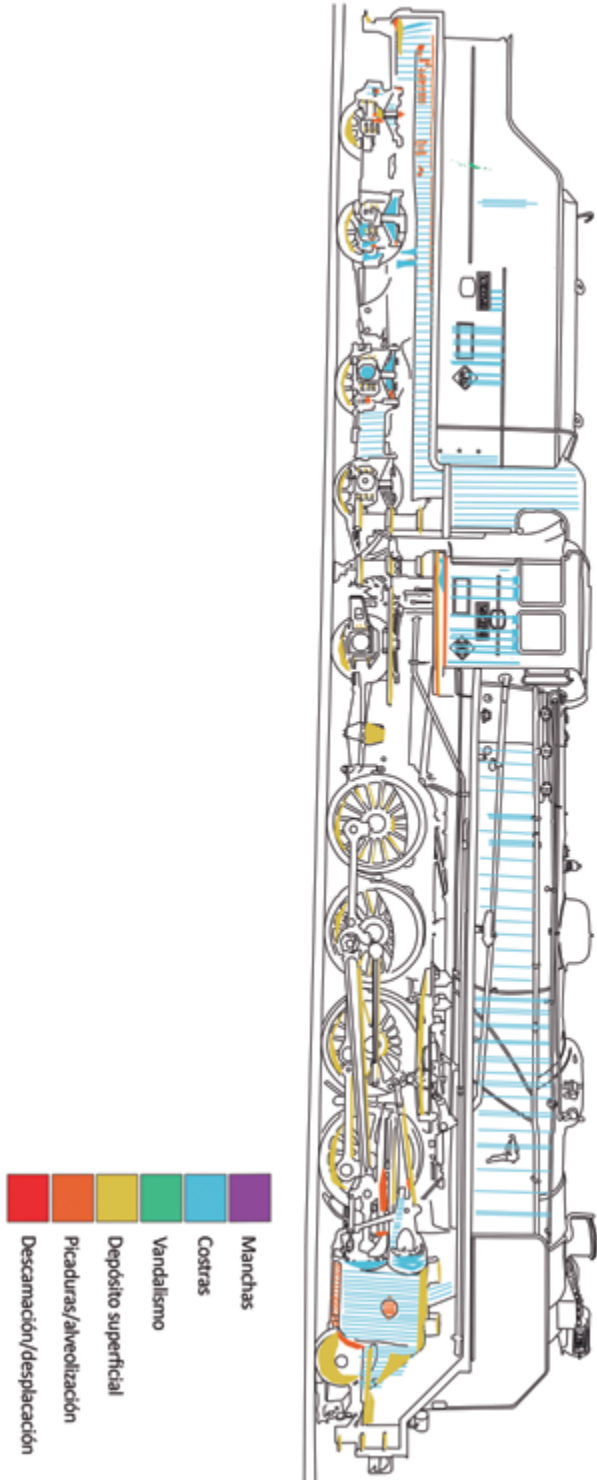


Figura 4.1.1. Mapa de daños. Vista lateral izquierda de la locomotora Mikado 141-F 2295

#### 4.2.4. Valorización

La tabla 4.6. resume las principales actuaciones de valorización llevadas a cabo con la locomotora Mikado 141-F-2295.

**Tabla 4.6.** Actuaciones de valorización llevadas a cabo con la locomotora Mikado 141-F-2295.

<b>6. Actuaciones de valorización</b>	
<b>Identificación</b>	La locomotora está incluida en el inventario del Fondo de Arte y Patrimonio de la UPV.
<b>Protección</b>	<p>La locomotora está sujeta a las medidas de protección establecidas en los Estatutos de la UPV para los bienes culturales integrantes del Fondo de Arte y Patrimonio de la UPV.</p> <p>No es descartable que se acometa la iniciativa de proceder a la incoación de expediente para que la Mikado 141-F-2295 se acoja a las medidas de protección legales y judiciales vigentes a nivel local, autonómico, nacional o internacional.</p>
<b>Recuperación</b>	<p>La conservación sostenible ha sido el criterio básico seguido para la recuperación de la Mikado 141-F-2295. Más específicamente:</p> <p><b>Asignación de uso:</b> por su ubicación en la UPV el uso o función asignado a la locomotora es exclusivamente museístico, excluyéndose la devolución de su completa funcionalidad operativa pero manteniendo todas sus partes y elementos constitutivos para preservar su autenticidad e integridad.</p> <p><b>Valores de no uso:</b></p> <p><b>Existencia:</b> la locomotora tiene un valor intrínseco por sí misma, como vestigio histórico del nivel tecnológico de los medios de transporte en el período en el que estuvo operativa.</p> <p><b>Opción:</b> la locomotora tiene valor porque en la actualidad y en el futuro tiene un uso museístico y educativo.</p> <p><b>Legado:</b> la locomotora es valorada por el deseo de legarla a las futuras generaciones.</p> <p><b>Valor económico:</b> dado que la locomotora ha sido adquirida mediante cesión por parte de RENFE, carece de valor económico lo que impide su participación en los procesos de los mercados financieros.</p>
<b>Difusión</b>	<p>En su función museística, la locomotora desempeña una doble misión difusiva y educativa.</p> <p><b>Difusión:</b> dentro del conjunto patrimonial que constituye el Fondo de Arte y Patrimonio de la UPV, la Mikado 141-F-2295 es uno de los bienes emblemáticos del período industrial de principios-mediados del siglo XX. La UPV pone a disposición de los ciudadanos un programa de visitas guiadas a la colección del Fondo de Arte y Patrimonio que opera de manera similar a un centro de interpretación.</p> <p><b>Educación:</b> el programa de visitas guiadas del Fondo de Arte y Patrimonio de la UPV se extiende a centros educativos de enseñanza primaria y secundaria. Más específicamente, la locomotora es utilizada en la impartición de sesiones docentes en los programas educativos de ingeniería del transporte de la ETSII y de conservación y restauración de bienes culturales de la Facultad de Bellas Artes de la UPV.</p>



### 4.3. Identificación y análisis de vulnerabilidades

La tabla 4.7 resume las vulnerabilidades identificadas para la locomotora Mikado 141-F 2295 y el análisis efectuado mediante el que se ha realizado una clasificación de dichas vulnerabilidades atendiendo a tres criterios:

- Sensibilidad del objeto a la amenaza o proceso acumulativo.
- Grado de exposición de la locomotora a la amenaza o mecanismo de deterioro acumulativo.
- Intensidad del efecto negativo que actúa sobre la locomotora por causa del mecanismo de deterioro acumulativo o si la amenaza se materializa.

**Tabla 4.7.** Identificación y análisis de vulnerabilidad a diferentes agentes de deterioro de la Mikado 141-F-2295.

Factores causales	Sensibilidad	Exposición <sup>a</sup>	Gravedad <sup>b</sup>	Fuentes de información
<b>Climatología-meteorología y Cambio climático</b>				
Temperatura inapropiada	Si	Si	G	GIS, Inventarios históricos, medición in situ, fuentes locales, Agencia Española de Meteorología, Red valenciana de vigilancia y control de la contaminación atmosférica
Humedad relativa inapropiada	Si	Si	G	
Precipitaciones (pluviometría, nieblas)	Si	Si	G	
Precipitaciones (nieve, índice de heladas)	Si	No	G	
Insolación	Si	Si	L	
Otras radiaciones	Si	Si	L	
Aerosoles marinos	Si	Si	G	
Otros aerosoles	Si	Si	L	
Catástrofes (huracanes)	Si	No	MG	
Catástrofes (tormentas)	Si	Si	MG	
Catástrofes (inundaciones)	Si	No	MG	
Catástrofes (incendios)	Si	No	MG	

Viento	Si	Si	G	
Partículas sólidas	Si	Si	L	
Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	Si	Si	L	
Ozono	Si	Si	L	
Óxidos de nitrógeno	Si	Si	L	
Dióxido de carbono	Si	Si	L	
Dióxido de azufre	Si	Si	L	
<b>Geogénicos</b>				
Sismicidad	Si	Si	L	GIS, Inventarios históricos, medición in situ, fuentes locales
Terremotos	Si	No	MG	
Vulcanismo	Si	No	MG	
Tsunamis	Si	No	MG	
Deslizamientos del terreno	Si	No	MG	
<b>Biogénicos</b>				
Flora y microflora	Si	Si	L	Estudios científicos, estudios de campo, fuentes locales
Fauna y microfauna	Si	Si	L	
<b>Antropogénicos</b>				
Uso y gestión inapropiados	Si	No	G	Documentación de la institución, Documentación jurídica, estudios de campo, fuentes locales, estudios científicos
Iluminación	Si	Si	L	
Manipulación	Si	No	L	
Transporte	Si	No	L	
Almacenamiento	Si	No	L	
Obras y reformas	Si	No	G	
Hurtos, robos y expolios	Si	No	G	

Actos vandálicos	Si	Si	G-MG	
Conflictos armados	Si	No	MG	
Ruido	Si	Si	L	

L: leve; G: grave; MG: muy grave.

<sup>a</sup>En la tabla “Si” indica que en el pasado reciente y en el presente la locomotora ha estado expuesta a esa amenaza o proceso o si es altamente probable que esté expuesta en el futuro próximo.

<sup>b</sup>En la tabla se indica el grado de severidad del impacto negativo en procesos en curso o en caso de que la amenaza se materializase.

#### 4.4. Evaluación de vulnerabilidad

La tabla 4.8 resume los resultados obtenidos en la evaluación de la vulnerabilidad realizada para la Mikado 141-F-2295 utilizando el método de riesgo-gravedad (Ministerio de Cultura, 2011; Herráez *et al.*, 2017y 2019).

**Tabla 4.8.** Resultado de la evaluación riesgo-vulnerabilidad para la Mikado 141-F-2295.

Factores causales	Riesgo/ Ocurrencia	Gravedad	Impacto
Cambio climático: climatología-meteorología			
Temperatura inapropiada	Medio/C	G	3
Humedad relativa inapropiada	Medio/C	G	3
Precipitaciones (pluviometría, nieblas)	Medio/C	G	3
Precipitaciones (nieve, índice de heladas)	Bajo/R	G	2
Insolación	Alto/A	L	3
Otras radiaciones	Bajo/R	L	1
Aerosoles marinos	Alto/A	G	5
Otros aerosoles	Medio/C	L	2
Catástrofes (huracanes)	Bajo/R	MG	3
Catástrofes (tormentas)	Bajo/R	MG	3
Catástrofes (inundaciones)	Bajo/R	MG	3
Catástrofes (incendios)	Bajo/R	MG	3
Viento	Medio/C	G	3
Partículas sólidas	Alto/A	L	3
Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	Alto/A	L	3
Ozono	Alto/A	L	3
Óxidos de nitrógeno	Alto/A	L	3
Dióxido de carbono	Alto/A	L	3

Dióxido de azufre	Alto/A	L	3
<b>Geogénicos</b>			
Sismicidad	Bajo/R	L	1
Vulcanismo	Bajo/R	MG	3
Terremotos	Bajo/R	MG	3
Erupciones volcánicas	Bajo/R	MG	3
Tsunamis	Bajo/R	MG	3
Deslizamientos del terreno	Bajo/R	MG	3
<b>Biogénicos</b>			
Flora y microflora	Medio/C	L	2
Fauna y microfauna	Medio/C	L	2
<b>Antropogénicos</b>			
Uso y gestión inapropiados	Bajo/R	G	2
Iluminación	Bajo/R	L	1
Manipulación	Bajo/R	L	1
Transporte	Bajo/R	L	1
Almacenamiento	Bajo/R	No aplica	0
Obras y reformas	Bajo/R	No aplica	0
Hurtos, robos y expolios	Bajo/R	G	2
Actos vandálicos	Bajo/R	MG	3
Conflictos armados	Bajo/R	MG	3
Ruido	Bajo/R	L	1

R: suceso raro; C: suceso común; A: suceso acumulativo.

L: leve; G: grave; MG: muy grave.

#### 4.5. Evaluación de vulnerabilidades en futuros escenarios del cambio climático

La tabla 4.9 muestra los resultados obtenidos para el factor de cambio en la velocidad de corrosión del acero constituyente de la locomotora Mikado 141-F2295 en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 aplicando un modelo de cambio de la corrosividad por cambio climático. Los datos mostrados corresponden a la ciudad de Valencia, en particular, al campus de Vera donde se halla ubicada la locomotora (capítulo 10 del volumen 2 de la serie monográfica). Se ha tomado como referencia para calcular los coeficientes de cambio de la velocidad de corrosión el año 2005.

**Tabla 4.9.** Valores del factor de cambio de la velocidad de corrosión en 2050 y 2100 calculados para los escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5 en la ciudad de Valencia tomando como referencia los valores para el año 2005.

Año	RCP4.5	RCP8.5
2050	0,665	1,563
2100	0,239	0,456

Según el modelo teórico utilizado, la corrosividad atmosférica del acero depende principalmente de tres factores: temperatura, tiempo de humectación y salinidad, los dos últimos medidos a partir de la tasa anual de días con precipitación superior a 20 mm y velocidad media del viento, respectivamente. Agentes de deterioro relacionados directamente con estos tres indicadores aparecen en la tabla 4.10. Combinando los resultados de las tablas 4.8 y 4.9 se obtendrían unos nuevos valores de impacto para cada escenario tal como muestra la tabla 4.10. Para adaptar los valores calculados a la escala lineal 1-5 de impacto se aplican las reglas del redondeo y se aplica el valor 5 para los valores >5.

**Tabla 4.10.** Proyección del impacto de los tres agentes de deterioro responsables de la corrosividad del acero para los escenarios de peligrosidad intermedia RCP4.5 y severa RCP8.5. Resultado en la escala 1-5 de impacto entre paréntesis.

Factores causales	Impacto Año 2005	Factor de cambio climático		Impacto	
		2050	2100		
<b>Escenario RCP4.5</b>					
Temperatura inapropiada	3	1,013	3,039 (3)	1,012	3,036 (3)
Precipitaciones (pluviometría, nieblas)	3	0,428	1,284 (1)	0,143	0,429 (1)
Aerosoles marinos	5	1,673	8,635 (5)	1,255	6,275 (5)
<b>Escenario RCP8.5</b>					
Temperatura inapropiada	3	1,012	3,036 (3)	1,016	3,048 (3)
Precipitaciones (pluviometría, nieblas)	3	1,571	4,713 (5)	0,429	1,287 (1)
Aerosoles marinos	5	1,157	5,785 (5)	0,781	3,905 (4)

Los nuevos valores obtenidos son muy interesantes ya que indican que estas tres variables tienen diferente comportamiento en la evolución temporal de los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. La temperatura no parece modificar su nivel de peligrosidad que permanece en 3 hasta 2100. Las precipitaciones reducen su peligrosidad hasta nivel 1 en el escenario RCP4.5 mientras que en el escenario menos favorable RCP8.5 la peligrosidad se incrementa hasta nivel 5 en 2050 para reducirse a 1 en 2100. Por último, la salinidad, asociada a aerosoles marinos, se incrementa hasta nivel 5 en 2050 en ambos escenarios

de emisión de gases de efecto invernadero y en 2100 presenta valores de 5 y 4 en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respectivamente. La reducción del número de días lluviosos en ambos escenarios y las modificaciones en el régimen de vientos que impulsan la formación y transporte de los aerosoles, justifican estas variaciones observadas en la peligrosidad de estos agentes medioambientales de deterioro.

#### 4.6. Implementación de subprogramas

Como ya se expuso en el capítulo anterior, el programa piloto de conservación preventiva para la locomotora Mikado 141-F 2295 está estructurado en tres subprogramas. Seguidamente se muestra esquemáticamente cómo se ha organizado el conjunto de actuaciones a implementar en cada uno de ellos.

##### 4.6.1. Subprograma I: seguimiento de vulnerabilidades

La tabla 4.11 resume las actuaciones propuestas en la planificación del subprograma I de seguimiento de vulnerabilidades: amenazas y procesos acumulativos.

**Tabla 4.11.** Actuaciones propuestas para el subprograma I de seguimiento de amenazas y procesos acumulativos.

Actuaciones	Descripción
<b>Grupo I. Seguimiento de agentes medioambientales</b>	
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los agentes de deterioro medioambientales con actividad en la locomotora: contaminantes atmosféricos y agentes climáticos</li> <li>• Cuantificar el contenido de agentes medioambientales</li> <li>• Cuantificar los indicadores de los agentes climáticos</li> <li>• Identificar agentes geogénicos con actividad</li> <li>• Identificar agentes biogénicos con actividad</li> <li>• Identificar agentes antropogénicos con actividad</li> </ul>
Parámetros que se incluyen en el programa	<p>Indicadores climático-meteorológicos: temperatura, humedad relativa, precipitaciones (pluviometría, nieblas, nieve, índice de heladas, insolación, aerosoles marinos, viento)</p> <p>Contaminantes atmosféricos: partículas sólidas, ozono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre</p> <p>Indicadores geogénicos: seguimiento de sismicidad</p> <p>Indicador de sismicidad</p> <p>Indicadores de presencia de flora y fauna</p> <p>Indicadores de acciones vandálicas, uso inadecuado, etc.</p>
Normas de evaluación	Valores recomendados por el Ministerio para bienes culturales y para la protección de la salud pública

Elección áreas y/o puntos de medición y densidad de puntos de medición	Valores para la ciudad de Valencia disponibles en Bases de Datos de acceso público Instalación de <i>dataloggers</i> en las inmediaciones de la locomotora
Frecuencia de la medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición periódica (<i>datalogger</i>: 1 hora)</li> </ul>
Procedimiento de obtención	Indicadores climático-meteorológicos: <i>datalogger</i> y Bases de Datos de la Agencia Española de Meteorología (AEMET)  Contaminantes atmosféricos: Red Valenciana de Vigilancia y control de la contaminación Atmosférica de la Generalitat Valenciana (RVVCCA-GVA)  Sismicidad: Instituto Geográfico Nacional  Indicadores de presencia de flora y fauna: inspecciones mensuales  Indicadores de acciones vandálicas, uso inadecuado, otros: inspecciones mensuales
Registro de los datos	Fotografías, gráficos y mapas de daños, tablas numéricas
Informes	Informes anuales de indicadores de amenazas con evaluación de riesgo-gravedad 1 y 2  Informes semestrales de indicadores de amenazas con evaluación de riesgo-gravedad 3  Informes mensuales de indicadores de amenazas con evaluación de riesgo-gravedad 4 y 5
<b>Grupo II. Seguimiento de efectos nocivos en la locomotora</b>	
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la composición y velocidad de avance de la capa de suciedad</li> <li>• Identificar los procesos de alteración y las fuentes o causas</li> <li>• Investigar cualitativa y cuantitativamente el impacto presente y futuro de los procesos de alteración</li> </ul>
Indicadores que se incluyen en el programa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordenadas cromáticas L*, a*, b*</li> <li>• Composición química (elemental y mineralógica) de la capa de suciedad y de los materiales constitutivos.</li> <li>• Cambios morfológicos discernibles mediante imágenes microscópicas del revestimiento pictórico y de los materiales constructivos: metales, principalmente, y otros como madera y vidrio.</li> </ul>
Normas de evaluación	Umbral de discernibilidad por el ojo humano del aspecto visual y apariencia  Identificación de productos de alteración  Identificación de cambios morfológicos  Identificación de cambios estructurales

Elección áreas y/o puntos de medición y densidad de puntos de medición	<p>Se toman muestras o se realizan medidas en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los diferentes colores o pinturas</li> <li>• Los materiales exógenos y productos de corrosión</li> <li>• Las cuatro orientaciones de la locomotora</li> <li>• Posición en altura de los puntos de muestreo únicamente limitada por la accesibilidad sin uso de andamio</li> </ul>
Frecuencia de la medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anual</li> </ul>
Momento de la medición	Primavera-verano
Procedimiento de medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotometría</li> <li>• Espectroscopía FTIR y Raman, Difracción de rayos X</li> <li>• Cromatografía de gases-Espectrometría de masas</li> <li>• Voltamperometría de micropartículas inmovilizadas (VIMP)</li> <li>• Microscopía óptica y electrónica de barrido-microanálisis de rayos X (SEM-EDX)</li> </ul>
Requisitos de calidad	<p>El método de medición colorimétrica sigue ensayos normalizados:</p> <p>UNE-EN ISO 15528:2021. Pinturas, barnices y materias primas para pinturas y barnices. Toma de muestras</p> <p>UNE-EN ISO 2813:2015. Pinturas y barnices. Determinación del índice de brillo especular a 20°, 60° y 85°</p> <p>UNE-EN 13523-22:2017. Metales pintados en banda continua. Métodos de ensayo. Parte 22: Diferencia de color. Comparación visual.</p> <p>UNE-EN ISO/CIE 11664-4:2020. Colorimetría. Parte 4: Espacio cromático L*a*b* CIE 1976</p>
Registro de los datos	Gráficos, tablas numéricas
Informes	<p>Informes anuales de indicadores de amenazas con evaluación de riesgo-gravedad 1 y 2</p> <p>Informes semestrales de indicadores de amenazas con evaluación de riesgo-gravedad 3</p> <p>Informes mensuales de indicadores de amenazas con evaluación de riesgo-gravedad 4 y 5</p>
<b>Grupo III. Campaña de exposición de probetas</b>	
Objetivos	Evaluar cambios en la velocidad de corrosión del acero



Indicadores que se incluyen en el programa	<p>Pérdida de masa de las probetas</p> <p>Micromorfología de productos de corrosión</p> <p>Composición elemental de productos de corrosión</p> <p>Composición mineralógica de productos de corrosión</p>
Normas de evaluación	Las establecidas en los ensayos normalizados
Elección áreas y/o puntos de medición y densidad de puntos de medición	Las establecidas en los ensayos normalizados
Frecuencia de la medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semanal los dos primeros meses, mensual del mes 3 al 12, semestral los dos años siguientes y anual los restantes hasta completar un mínimo de 5 años</li> </ul>
Momento de la medición	No aplica
Procedimiento de medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravimétrico, microscopio electrónico de barrido-microanálisis de rayos X (FESEM-EDX o SEM-EDX), microscopio óptico, difracción de rayos X (XRD)</li> </ul>
Requisitos de calidad	<p>El método de medición sigue ensayos normalizados:</p> <p>Categorías de corrosividad. UNE-EN ISO 9223.</p> <p>Corrosión de los metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Valores de referencia para las categorías de corrosividad. UNE-EN ISO 9224:2012.</p> <p>Corrosión de los metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Medida de los parámetros ambientales que afectan a la corrosividad de las atmósferas. UNE-EN ISO 9225:2012.</p> <p>Corrosión de los metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Determinación de la velocidad de corrosión de las probetas de referencia para la evaluación de la corrosividad. UNE-EN ISO 9226:2012.</p>
Registro de los datos	Gráficos, tablas numéricas
Informes	Informes anuales

#### 4.6.2. Subprograma II: control de amenazas y procesos acumulativos

La tabla 4.12 resume las actuaciones propuestas en la planificación del subprograma II de control de vulnerabilidades.

**Tabla 4.12.** Actuaciones propuestas en la planificación del subprograma II de control de vulnerabilidades.

Amenaza/Proceso acumulativo	Método de control
<b>Grupo I. Actuaciones para la protección estatutaria o legal</b>	
Carencia de protección legal y jurídica.	<p>Incoación de expediente para la inclusión en el inventario de patrimonio cultural local, autonómico o nacional:</p> <p>Si desde el Fondo de Arte y Patrimonio de la UPV se considera que el objeto posee interés patrimonial puede elevarse tal propuesta al órgano rector de la universidad para que se inicien los trámites y acogerse a las medidas de protección que establece la legislación vigente.</p>
Carencia de protección estatutaria en la institución propietaria.	<p>Incorporación de medidas de protección en los Estatutos, Reglamento o Misión de la institución:</p> <p>El Fondo de Arte y Patrimonio puede elevar informes al órgano rector de la UPV donde se muestre la pertinencia de incorporar algún artículo en los Estatutos de la UPV que promueva medidas para la protección de los bienes culturales del Fondo Patrimonial en el que se incluye la locomotora.</p>
<b>Grupo II. Actuaciones de conservación</b>	
Inadecuados valores de variables meteorológico-climáticas.	<p>Minimizar valores inadecuados de parámetros meteorológicos:</p> <p>Reducción del tiempo de humectación mediante la instalación de sistemas de drenaje que eviten la formación de charcos y acumulaciones de agua en la locomotora.</p> <p>Revisión de la locomotora tras episodios de viento intenso para evitar el desprendimiento de partes expuestas o rotura de los elementos y piezas más expuestos.</p>
Valores elevados de concentración de contaminantes atmosféricos.	<p>Minimizar valores inadecuados de concentración de contaminantes atmosféricos:</p> <p>Plantación en el jardín de especies vegetales con propiedades depurativas del aire en las inmediaciones de la locomotora.</p>
Fenómenos adversos causados por agentes geogénicos (sismicidad, terremotos).	<p>Minimizar deterioros por agentes geogénicos:</p> <p>Instalación de medidas específicas de prevención de incendios o terremotos (instalación de extintores en las proximidades, refuerzo de estructuras sustentantes que absorban las ondas sísmicas, instalación de canales de drenaje alrededor de la locomotora)</p>

<p>Fenómenos adversos causados por agentes biológicos.</p>	<p>Minimizar deterioros por agentes biológicos:                  Instalación de cámaras de vídeo y dispositivos disuasorios para aves e insectos que sean respetuosos con el medioambiente y con el bien ferroviario.</p>
<p>Fenómenos adversos causados por agentes antropogénicos.</p>	<p>Minimizar deterioros por agentes antropogénicos:                  Reubicación del sistema de irrigación del jardín para suprimir las salpicaduras.                  Instalación de cámaras de vídeo y dispositivos disuasorios (alarmas sonoras, etc.) de robos y actos vandálicos.</p>
	<p>Deterioros asociados a mal uso y gestión:                  Promoción de la coordinación del personal del Área de Fondo de Arte y Patrimonio de la UPV con otras áreas vinculadas, en particular, el Área de Infraestructuras</p>
<p>Fenómenos adversos causados por el cambio climático</p>	<p>Minimizar deterioros por efecto del cambio climático:                  Implementación de las recomendaciones dadas por el IPCC y por las contenidas en el Plan de Adaptación al Cambio Climático de la Generalitat Valenciana.                  Actualización periódica de las modelizaciones de la corrosión metálica con las nuevas proyecciones climáticas facilitadas por AEMET.                  Información del personal de mantenimiento acerca de las recomendaciones dadas por el IPCC y contenidas en el plan de Adaptación al Cambio Climático de la Generalitat Valenciana.</p>
<p><b>Grupo III. Actuaciones de mantenimiento</b></p>	
<p>Inadecuados valores de variables meteorológico-climáticas</p>	<p>Minimizar valores inadecuados de parámetros meteorológicos:                  Operaciones de mantenimiento a demanda que eliminen la humedad y el agua acumulada tras los días en que se registren precipitaciones.                  Operaciones periódicas de mantenimiento que eliminen el polvo acumulado tras los días en que se registre viento o abundancia de polvo atmosférico.</p>
<p>Valores elevados de concentración de contaminantes atmosféricos.</p>	<p>Minimizar valores inadecuados de concentración de contaminantes atmosféricos:                  Operaciones periódicas de mantenimiento para la eliminación del material particulado y los aerosoles depositados en las superficies de la locomotora expuestas a la atmósfera.</p>
<p>Fenómenos causados por agentes geogénicos</p>	<p>Minimizar deterioros por agentes geogénicos:                  Mantenimiento y revisión periódica de los sistemas de drenaje y anti-seísmos.</p>

Fenómenos causados por agentes biológicos	<p>Minimizar deterioros por agentes biológicos:</p> <p>Refuerzo de las operaciones ordinarias de mantenimiento del jardín en la zona de exhibición de la locomotora con revisiones periódicas a demanda.</p> <p>Mantenimiento de los sistemas de irrigación.</p> <p>Mantenimiento de los sistemas disuasorios de aves, insectos y otras especies.</p> <p>Operaciones de mantenimiento periódico que eliminen excrementos y otros depósitos biológicos.</p>
Fenómenos causados por agentes antropogénicos	<p>Minimizar deterioros por agentes antropogénicos:</p> <p>Refuerzo de las medidas de vigilancia y seguridad en las inmediaciones de la locomotora.</p> <p>Formación del personal de Seguridad y Vigilancia del Campus en materia protección de obras de arte.</p>
Fenómenos causados por el cambio climático	<p>Minimizar deterioros por efecto del cambio climático:</p> <p>Información del personal de mantenimiento acerca de las recomendaciones dadas por el IPCC y contenidas en el plan de Adaptación al Cambio Climático de la Generalitat Valenciana.</p>

#### 4.6.2. Subprograma III: gestión de situaciones de emergencia

En la tabla 4.13 se muestra, de forma esquemática, el procedimiento seguido para elaborar el protocolo para situaciones de emergencia de la locomotora Mikado 141-F 2295. Una vez elaborado, este protocolo se inscribiría en el Programa gestión de situaciones de emergencia de la UPV.

**Tabla 4.13.** Procedimiento a seguir para elaborar el protocolo para situaciones de emergencia de la locomotora Mikado 141-F 2295.

Actividad	Descripción
Establecimiento de un programa de mejoras	<p>Consultar la evaluación de riesgos y adaptar o mejorar los medios de prevención y protección a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmuebles y entorno.</li> <li>• El elemento singular: la locomotora.</li> <li>• La institución: UPV.</li> </ul>
Otorgar un valor de prioridad de protección y salvaguardia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otorgar un valor de prioridad a la locomotora dentro del conjunto de bienes culturales del Fondo de Arte y Patrimonio de la UPV, para su salvaguardia y evacuación en una situación de emergencia.</li> <li>• Identificar su ubicación.</li> <li>• Considerar las posibilidades de evacuación.</li> <li>• Elaborar la ficha de salvaguardia de la locomotora.</li> </ul>

Programación de actuaciones imprescindibles y un plan de evacuación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer rutas de evacuación.</li> <li>• Establecer un lugar de refugio para la locomotora.</li> <li>• Guardar en lugar seguro la documentación relativa al programa de emergencias.</li> <li>• Establecer un sistema sencillo para evaluar los daños y un listado de actuaciones de respuesta inmediata.</li> </ul>
Establecer una red de contactos, un organigrama básico y una hoja de ruta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualizar un directorio de soporte de auxilio y respuesta (interno y externo).</li> <li>• Elaborar una hoja de ruta básica para los primeros momentos.</li> <li>• Establecer responsables de actuación inmediata.</li> <li>• Configurar equipos y asignar funciones.</li> </ul>
Poner a prueba los procedimientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formar al personal para responder según su plan de evacuación.</li> <li>• Configurar un calendario periódico de simulacros de su plan de evacuación.</li> <li>• Revisar y establecer las correcciones a las deficiencias observadas durante el simulacro.</li> </ul>

#### 4.7. Referencias

Herráez, J. A., Durán, D. y García Martínez, E. (2017) *Planes Nacionales de la Conservación Preventiva. Fundamentos de Conservación Preventiva*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Herráez, J. A., Durán, D. y Pastor, M.J. (2019) *Guía para la Elaboración e Implantación de Planes de Conservación Preventiva*. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

Ministerio de Cultura y Deporte (2011) *Plan Nacional de Conservación Preventiva*. Madrid. Ministerio de Cultura y Deporte. Disponible en: <https://ipce.culturaydeporte.gob.es>. [Consultado 05-09-2022].

#### 4.8. Bibliografía

Alcántara, R, (2002) *Standards in preventive conservation: meanings and applications*. ICCROM. Disponible en: <https://www.iccrom.org>. [Consultado 30-08-2022].

Collections Trust (n.d.) *Collections Trust Accreditation Guidance Sheet 1: Collections Management Framework*. Disponible en: <https://collectionstrust.org.uk/wp-content/uploads/2016/10/Collections-Management-Framework.pdf>. [Consultado 12 septiembre 2022].

García Fernández, I. (2013) *La conservación preventiva de bienes culturales*. Madrid: Alianza  
Heritage Care (2019) *Guidelines for Good Practices on Preventive Conservation*. Disponible en: <https://repositorio.iaph.es> [Consultado el 05-02-2022].

Herráez, J.A., Durán, D. y García Martínez, E. (2018) *Fundamentos de Conservación Preventiva*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Herráez, J.A. y Rodríguez Lorite, M.A. (1999) *Conservación Preventiva de las Obras de Arte*. En: *Arbor. Conservación del Patrimonio Artístico*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

ICCROM-UNESCO (2009) *Manual de Gestión de Riesgo de Colecciones*. ICCROM-UNESCO partnership for the preventive conservation of endangered museum collections in developing countries. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org>. [Consultado el 27-01-2023].

ICCROM (2016) *Guía de Gestión de Riesgos para el Patrimonio Museológico*. ICCROM. Disponible en: [https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-01/guia\\_de\\_gestion\\_de\\_riesgos\\_es.pdf](https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-01/guia_de_gestion_de_riesgos_es.pdf). [Consultado el 27-01-2023].

Keene, S. (1996) *Managing conservation in museums*, London: Butterworth Heinemann.

Llop, J.L. y Signes, F. (2008) *Locomotoras, vapor e ingeniería industrial*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

Roy, A. y Smith, P. (eds.) (1994) "Preventive Conservation Practice, theory and research". En: *Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress*. Londres: International Institute for Conservation.

## Capítulo 5: Seguimiento de amenazas y procesos acumulativos

**María Teresa Doménech Carbó**

*Institut Universitari de Restauración del Património. Universitat Politècnica de València*

### Contenidos

- 5.1. Organización del subprograma de seguimiento
- 5.2. Actuaciones de monitorización del medioambiente
- 5.3. Actuaciones de análisis físico-químico de la locomotora
- 5.4. Referencias
- 5.5. Bibliografía

De acuerdo con los objetivos planteados en el proyecto I+D AICO2021/095, durante los tres años de ejecución del mismo se ha implementado el subprograma I de seguimiento de amenazas y procesos de deterioro acumulativos. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el caso de estudio de la locomotora Mikado 141-F 2295 que se exhibe en los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València.

### 5.1. Organización del subprograma de seguimiento

El programa de seguimiento se ha implementado durante los dos últimos años de ejecución del proyecto AICO2021/095. El trabajo a realizar se ha organizado en dos series de acciones (figura 5.1):

- **Acciones de monitorización de variables medioambientales:** Monitorización de parámetros climático-meteorológicos y de calidad del aire. Estas actuaciones responden al propósito de efectuar un seguimiento de la peligrosidad de los agentes medioambientales (tabla 4.11).
- **Acciones de mediciones periódicas en la locomotora.** Muestreo y análisis de los materiales integrantes de la locomotora y de sus productos de alteración. Estas actuaciones responden al propósito de efectuar un seguimiento de los efectos nocivos de los agentes medioambientales en la locomotora (tabla 4.11).

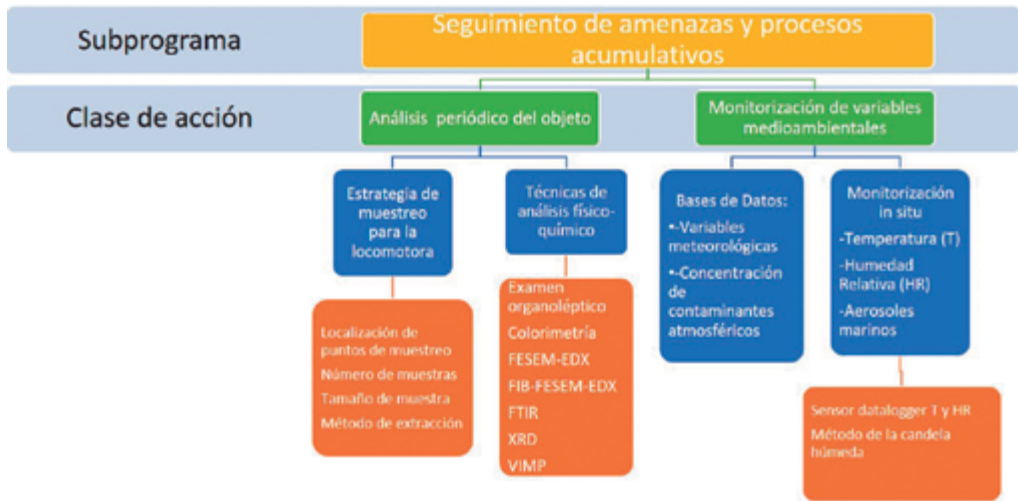


Figura 5.1. Esquema del subprograma de seguimiento de amenazas y procesos acumulativos.

### 5.2. Actuaciones de monitorización del medioambiente

La monitorización del medioambiente se ha realizado mediante la medición *in situ* de la temperatura y la humedad con un sensor *datalogger* suministrado por Quima SL, modelo 88162 que ha efectuado mediciones durante el año 2022

Los valores de otras variables meteorológicas y del contenido en contaminantes atmosféricos se han obtenido a partir de bases de datos ya que AEMET (n.d.) y la Red Valenciana de vigilancia y control de la contaminación atmosférica tiene una estación ubicada en el campus de Vera RVCCA-GVA. (n.d.).

También se han efectuado mediciones *in situ* anuales en 2021 y 2022 de la concentración en aerosoles conteniendo iones cloruro. Se ha seguido el método de la candela húmeda (norma UNE-EN ISO 9225:2012).

### 5.3. Actuaciones de análisis físico-químico de la locomotora

Tal como muestra la figura 5.3, el análisis químico de la locomotora para identificar y cuantificar los mecanismos de deterioro por procesos acumulativos implica planificar la estrategia de muestreo y seleccionar las técnicas instrumentales que se utilizarán para analizarla. La tabla 5.1 muestra los criterios seguidos para realizar el muestreo.

Tabla 5.3. Estrategia de muestreo para la locomotora Mikado 141-F-2295.

Criterio de muestreo	FESEM-EDX	FIB-FESEM-EDX	Espectroscopía FTIR	VIMP	Colorimetría
Número de muestras	1 muestra por punto de muestreo				



<b>Tamaño</b>	1 mm <sup>2</sup> de superficie conteniendo todas las capas de pintura y metal	0,001 mg	No aplica
<b>Método de extracción</b>	Mecánico	Abrasión	No aplica
<b>Localización de puntos de muestreo</b>	1 muestra en puntos seleccionados aleatoriamente en zonas de cada uno de los colores utilizados y en zonas con depósitos de suciedad y procesos de corrosión	Tres puntos por color y zona alterada	

Las técnicas instrumentales se han seleccionado para obtener una caracterización completa de la composición química, morfología y productos de corrosión presentes en la locomotora. La tabla 5.4. resume los criterios seguidos para efectuar dicha selección.

**Tabla 5.4.** Estrategia de muestreo para la locomotora Mikado 141-F-2295.

<b>Criterio de muestreo</b>	<b>Información proporcionada</b>	<b>Carácter invasivo-destructivo</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Periodicidad de medición</b>
Colorimetría	Aspecto visual, cambios en el aspecto visual con el paso del tiempo debido al avance de los procesos de alteración.	No invasiva	Alta	Anual
FESEM-EDX	Estructura estratigráfica, composición elemental de capas de pintura, productos de corrosión, depósitos superficiales.	No destructiva	Alta	Anual
FIB-FESEM-EDX	Análisis de la corrosión en superficie y composición a escala micro-nanoscóptica.	Nanodestructiva	Alta	Anual
Espectroscopía FTIR	Composición molecular de los aglutinantes de las pinturas.	No destructiva	Alta	Anual
XRD	Estructura mineralógica de los productos de corrosión.	No destructiva	Alta	Anual
VIMP	Especiación iónica, perfil de corrosión en profundidad.	No destructiva	Alta	Anual

Los instrumentos y condiciones operativas en las que se han realizado los análisis se describen en capítulos sucesivos.

#### 5.4. Referencias

AEMET (n.d.) Base de datos. Inventarios históricos meteorológicos on-line. Disponible en: <http://www.aemet.es>. [Consultado 06-08-2023].

RVVCCA-GVA. (n.d.) Base de datos. Inventarios históricos de calidad de aire on-line. Disponible en: <http://www.agroambient.gva.es>. [Consultado 06-08-2023].

UNE-EN ISO 9225:2012 (n.d.) Corrosión de los metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Medida de los parámetros ambientales que afectan a la corrosividad de las atmósferas. UNE Asociación Española de Normalización. Disponible en: <http://une.org>. [Consultado 6-05-2023].

#### 5.5. Bibliografía

Herráez, J. A., Durán, D. y García Martínez, E. (2017) *Planes Nacionales de la Conservación Preventiva. Fundamentos de Conservación Preventiva*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Herráez, J. A., Durán, D. y Pastor, M.J. (2019) *Guía para la Elaboración e Implantación de Planes de Conservación Preventiva*. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

Ministerio de Cultura y Deporte (2011) *Plan Nacional de Conservación Preventiva*. Madrid. Ministerio de Cultura y Deporte. Disponible en: <https://ipce.culturaydeporte.gob.es>. [Consultado el 5 de septiembre de 2022].

Ministerio de Cultura y Deportes (2023) Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en el Patrimonio Cultural (PNEGR). Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:5f2ccbaa-69d6-4d40-b1eb-3111131093f0/guia-para-la-elaboracion-de-un-plan-de-gestion-deemergencias.pdf>. [Consultado el 8 abril 2023].

# Capítulo 6:

## Monitorización medioambiental

**María Teresa Doménech Carbó**

*Institut Universitari de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València*

### Contenidos

- 6.1. Monitorización medioambiental in situ
- 6.2. Fuentes de suministro de datos climáticos y de calidad de aire
- 6.3. Análisis de datos
- 6.4. Resultados
  - 6.4.1. Temperatura
  - 6.4.2. Humedad Relativa
  - 6.4.3. Salinidad
  - 6.4.4. Precipitaciones
  - 6.4.5. Contaminantes atmosféricos
- 6.5. Implicaciones para la conservación de la locomotora
- 6.6. Referencias
- 6.7. Bibliografía

Dentro del programa de seguimiento de amenazas la monitorización de parámetros climático-meteorológicos y de calidad del aire resulta esencial para identificar los mecanismos de alteración ya en progreso. En este capítulo se presenta un modelo de programa de monitorización de estos parámetros que combina la consulta de bases de datos y mediciones *in situ*. Este modelo se ha elaborado utilizando el caso de estudio de la locomotora Mikado 141-F 2295 que se exhibe en los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València.

### 6.1. Monitorización medioambiental *in situ*

En el programa de seguimiento de amenazas se ha incluido una sección de monitorización de parámetros medioambientales que incluye datos meteorológicos adquiridos *in situ* junto con aquellos otros obtenidos a partir de estaciones oficiales de control meteorológico y de calidad del aire. La monitorización del medioambiente se ha realizado mediante la medición *in situ* de la temperatura y la humedad relativa con un sensor *datalogger* QUIIMA modelo 88162 suministrado por QUImica y MedioAmbiente SL, que ha efectuado mediciones durante el año 2022. El sensor se instaló en un punto del campus de Vera próximo a la locomotora. Para evitar posibles averías de este sensor que produjesen baches en las mediciones se instalaron otros tres sensores en puntos distintos de los jardines del campus de Vera de la UPV. Los sensores se programaron para proporcionar medidas de ambas variables cada 60 min.

También se han efectuado mediciones *in situ* de la concentración en aerosoles conteniendo iones cloruro. Se ha seguido el método de la candela húmeda (norma UNE-EN ISO 9225:2012). La determinación de iones cloruro se llevó a cabo mediante método volumétrico.

### 6.2. Fuentes de suministro de datos meteorológicos y de calidad de aire

Los valores de precipitación diaria y del contenido en contaminantes atmosféricos se han obtenido a partir de bases de datos ya que AEMET (n.d.) y la Red Valenciana de vigilancia y control de la contaminación atmosférica tienen una estación ubicada en el campus de Vera (RVVCCA-GVA. n.d.).

La tabla 6.1 resume los datos correspondientes a las fuentes de registros meteorológicos y de calidad del aire utilizados en este estudio y de las estaciones medioambientales de las que proceden dichos registros.

**Tabla 6.1.** Bases de datos de registros climáticos y de calidad del aire utilizados en este estudio.

Organismo	Estación	Localización		
		Latitud	Longitud	Altitud
<b>Valencia</b>				
AEMET	Estación automática	UPV 39°28'47" O	0°20'13" O	6 m
RVVCCA	46250046-Politécnic	39°28'56,59" N	0°21'13,624" O	6 m

Cada base de datos presenta métodos distintos de consulta, presentación y extracción de datos. Los datos facilitados por la página web de la AEMET se encuentran disponibles mediante un formulario de búsqueda, cuyos parámetros se pueden programar para obtener las variables climatológicas deseadas en las fechas y estaciones permitidas por el mismo. Para poder acceder a esta base de datos es necesario introducir una clave de acceso (API key) que se puede obtener solicitándolo a través del portal web de AEMET. Los datos relativos a los niveles de concentración en aire de partículas en suspensión y contaminantes atmosféricos fueron extraídos de la base de datos de la RVVCCA-GVA se

descargan directamente de la base de datos donde se puede elegir la fecha y las estaciones a consultar. Los archivos en formato CSV son fácilmente transportable a Excel.

### 6.3. Análisis de datos

Los datos descargados del *datalogger* y obtenidos por el método de la candela húmeda han sido:

- $T$ : temperatura promedio en una hora ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $HR$ : humedad relativa promedio en una hora (%).
- $C_{Cl}$ : concentración de iones cloruros depositados ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ).

Los datos descargados de las bases de datos-fuente han sido:

- $P$ : precipitación acumulada diaria (mm), AEMET.
- $c_{\text{SO}_2}$ : concentración de  $\text{SO}_2$  media diaria ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), RVVCCA-GVA.
- $c_{\text{NO}_2}$ : concentración de  $\text{NO}_2$  media diaria ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), RVVCCA-GVA.
- $c_{\text{O}_3}$ : concentración de  $\text{O}_3$  media diaria ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), RVVCCA-GVA.
- $c_{\text{PM}_{10}}$ : concentración de materia particulada de talla  $10 \mu\text{m}$  media diaria ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), RVVCCA-GVA.
- $c_{\text{PM}_{2,5}}$ : concentración de materia particulada de talla  $2,5 \mu\text{m}$  media diaria ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), RVVCCA-GVA.

Estos datos han sido sometidos a diversos tratamientos seguidamente descritos:

- *Representación gráfica de las series de datos originales horarios, diarios y los promedios mensuales*: estas representaciones permiten visualizar los ciclos diarios, ciclos cortos irregulares de varios días y las tendencias estacionales.
- *Representación gráfica de los promedios mensuales de valores de oscilación diaria*: estas gráficas permiten identificar los periodos en los que las oscilaciones térmicas o de HR exceden los umbrales aceptables para la conservación de patrimonio cultural.
- *Gráfico de dispersión*: proporciona una imagen gráfica de la posible correlación o dependencia entre una pareja de variables.
- *Cálculo de parámetros estadísticos básicos*:
  - a) *Amplitud*: diferencia entre los valores máximos y mínimos correspondientes a un cierto periodo, por ejemplo, un día, un mes, una estación, un año. Si se refiere a temperaturas se denomina amplitud u oscilación térmica. (VV.AA., 2014).
  - b) *Extremos máximo y mínimo*: referidos a un día, y a un año, son los valores máximo y mínimo registrados para la variable en el periodo prefijado.
  - c) *Valor promedio o normal*: media aritmética de los valores correspondientes a un determinado periodo (día, semana, mes, año, decenio). Aunque el valor normal se suele referir en meteorología a periodos de 30 años, en este estudio se considera valor normal al valor medio calculado en un cierto periodo, por ejemplo, un ciclo, un mes, un año.
  - d) *Desviación estándar*: indica el grado de dispersión de los valores contenidos en una muestra.

- e) *Coefficiente de variación de la muestra o error relativo estándar*: expresada en porcentaje y, calculada como cociente entre la desviación estándar y el valor promedio de una variable, permite comparar el grado de dispersión de las diferentes series de datos registrados en una muestra para las variables en estudio.
- f) *Coefficiente de asimetría de Fisher*: indica la mayor o menor tendencia de los valores de la muestra (temperatura, HR, etc.) a situarse por encima o por debajo del valor medio. Valores positivos indican que la mayoría de los datos se sitúan por encima de la media, mientras que los valores negativos indican que la mayoría de valores está por debajo de la media.
- g) *Regresión*: es un método de análisis multivariante, incluido en la estadística inferencial, que permite la caracterización de una muestra sobre la que actúa más de una variable para conocer las relaciones existentes entre las variables y cómo influyen en la muestra. El grado de correspondencia de las variables se expresa numéricamente mediante **el coeficiente de correlación**.

## 6.4. Monitorización del medioambiente

### 6.4.1. Temperatura

La tabla 6.2 resume los valores típicos de interés (VV.AA. 2014) registrados durante el periodo estudiado, a saber, promedios mensuales de temperatura diaria, valores medios de temperaturas máxima y mínima absolutas mensuales y promedio mensual de la oscilación térmica diaria. Asimismo, se han calculado los valores promedio estacionales de los anteriores valores típicos. En el año 2022 se registraron temperaturas medias estacionales de 12,4, 20,6, 27,1 y 17,4 °C en invierno, primavera, verano e invierno, respectivamente. Los valores absolutos máximo y mínimo (37,5 °C y 1,7 °C) se registran en agosto y marzo, respectivamente. Las amplitudes medias estacionales de la oscilación térmica varían entre 8,1 °C en invierno, 7,1 °C en primavera, 6,8 °C en otoño y 6,7 °C en verano. La oscilación térmica diaria máxima absoluta de 21,5 °C se registra en marzo. En 291 días a lo largo de 2022 se registraron oscilaciones diarias superiores a 5 °C, que es el umbral aceptable para conservación de patrimonio en metal establecido por el Ministerio de Cultura y Deporte (2009). Por tanto, respecto a este factor de deterioro es el invierno la estación en la que hay más riesgo de alteración de la locomotora por ser el periodo en el que el cambio de temperatura es más abrupto y tiene lugar más rápidamente (ver más adelante). En 2022 se superó la temperatura de 20 °C (umbral tolerable) durante un total de 3510 h, equivalentes a 146 días. De este total de horas, 2078 h se registraron en los tres meses de verano (87 días). Por consiguiente, respecto a este factor sería el verano la estación con más riesgo.

**Tabla 6.2.** Valores promedios mensuales y estacionales de temperatura diaria, temperaturas máxima y mínima diaria y amplitud de la oscilación térmica diaria.

Mes	Temperatura (°C)			
	Promedio	Máximo	Mínimo	Amplitud
Enero	10,4	15,1	6,5	8,6
Febrero	12,7	16,7	9,2	7,5

Marzo	13,9	18,2	10,0	8,1
<b>Invierno</b>	<b>12,5</b>	<b>16,7</b>	<b>8,6</b>	<b>8,1</b>
Abril	15,0	18,5	11,0	7,5
Mayo	19,5	22,8	15,7	7,1
Junio	27,5	27,5	20,9	6,6
<b>Primavera</b>	<b>20,6</b>	<b>22,9</b>	<b>15,8</b>	<b>7,1</b>
Julio	26,6	29,6	27,2	6,4
Agosto	27,3	30,5	23,8	6,8
Septiembre	24,2	27,8	24,8	6,9
<b>Verano</b>	<b>26,1</b>	<b>29,3</b>	<b>25,3</b>	<b>6,7</b>
Octubre	20,5	23,7	21,1	6,3
Noviembre	17,2	21,0	17,7	7,3
Diciembre	14,6	18,5	11,6	6,9
<b>Otoño</b>	<b>17,4</b>	<b>21,1</b>	<b>16,8</b>	<b>6,8</b>

Las figuras 6.1 a 6.4 muestran la variación en 24 h en cada una de las cuatro estaciones del año de temperatura, obtenida a lo largo del año 2022.

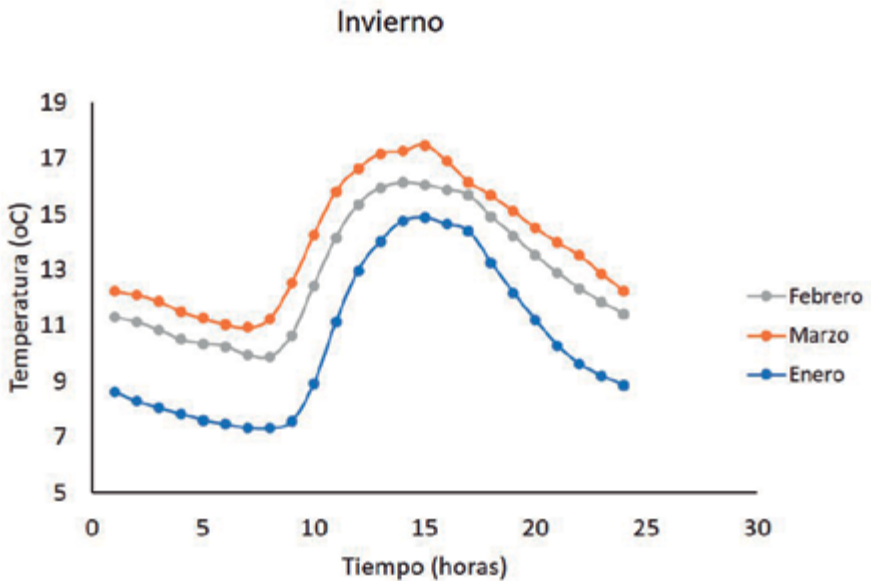


Figura 6.1. Curvas de la temperatura horaria promedio en los meses de la estación de invierno.

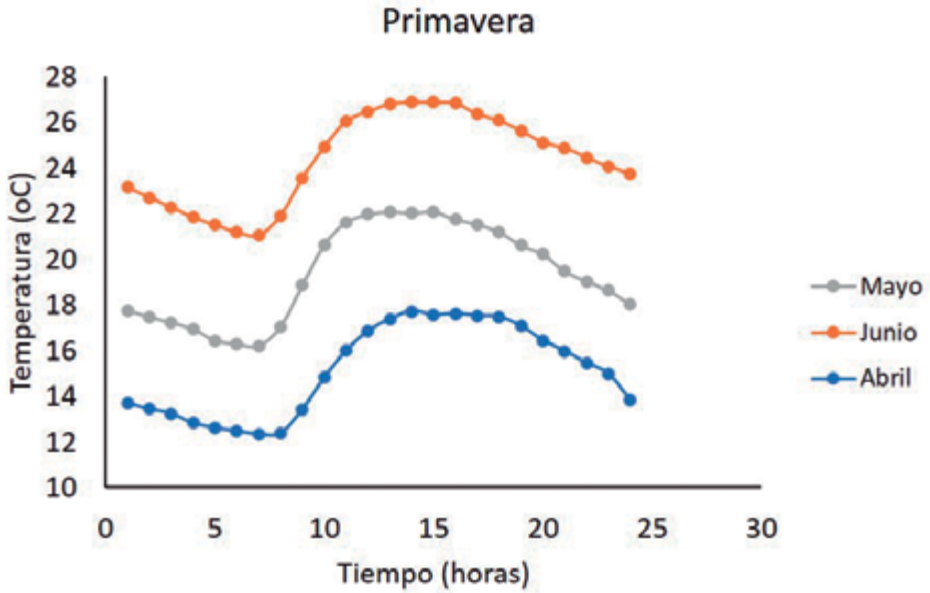


Figura 6.2. Curvas de la temperatura horaria promedio en los meses de la estación de primavera.

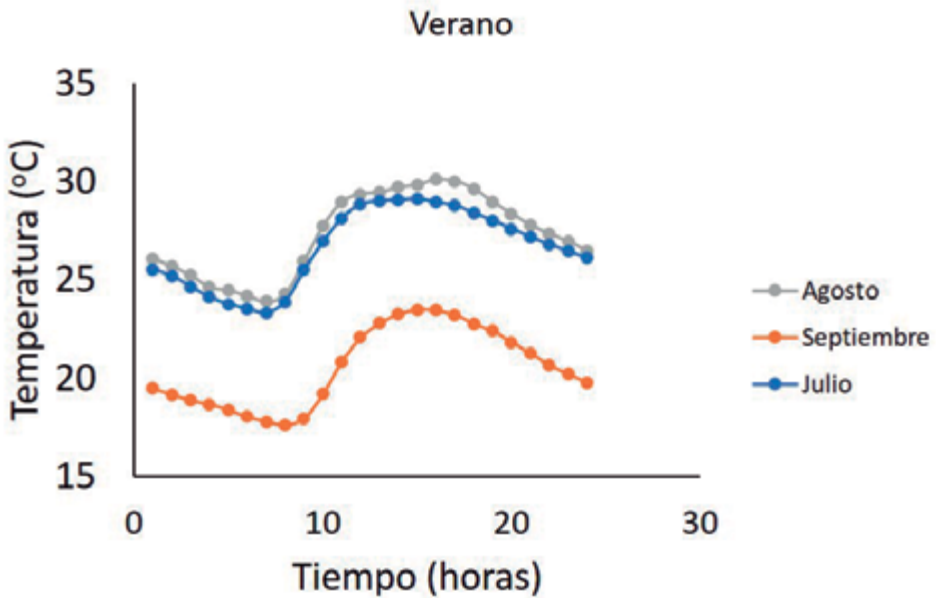
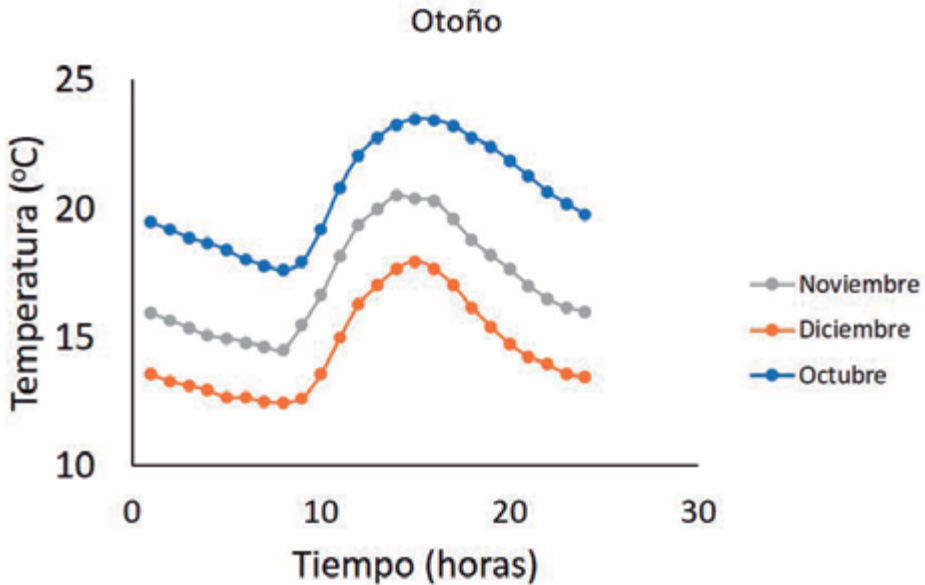


Figura 6.3. Curvas de la temperatura horaria promedio en los meses de la estación de verano.

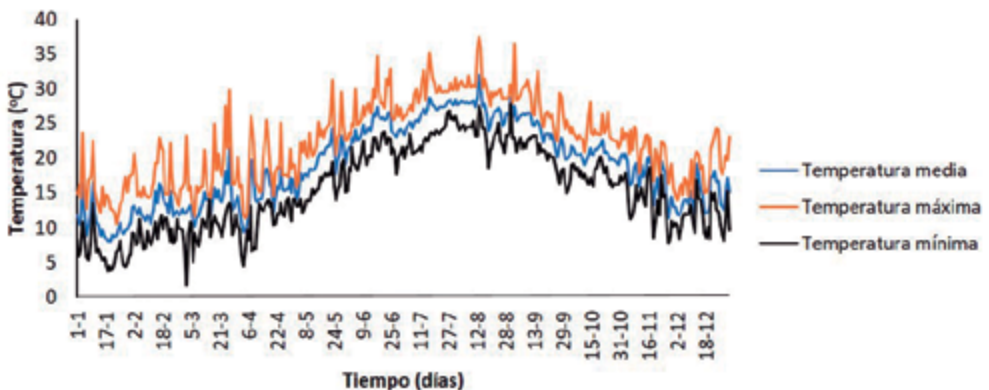




**Figura 6.4.** Curvas de la temperatura horaria promedio en los meses de la estación de otoño.

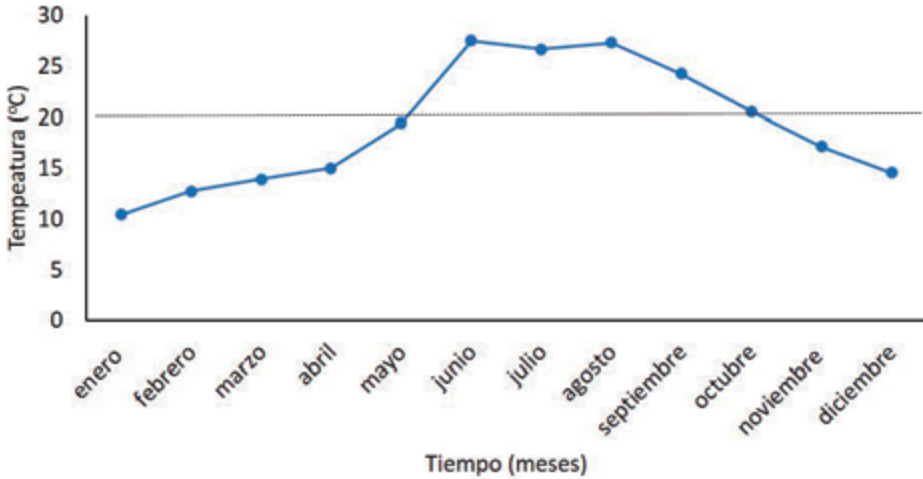
En las gráficas se observa que el ciclo u oscilación diaria de temperatura, independientemente de la estación, alcanza el valor mínimo a las 8 h y el máximo a las 15 h. La velocidad de ascenso es de  $1,14\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$  en invierno,  $0,86\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$  en primavera y verano y de  $0,71\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$  en otoño.

La figura 6.5 muestra la gráfica de temperaturas medias, máximas y mínimas diarias registradas en 2022. En esta gráfica se aprecian los ciclos cortos irregulares de varios días de duración y la variación estacional a lo largo del año.



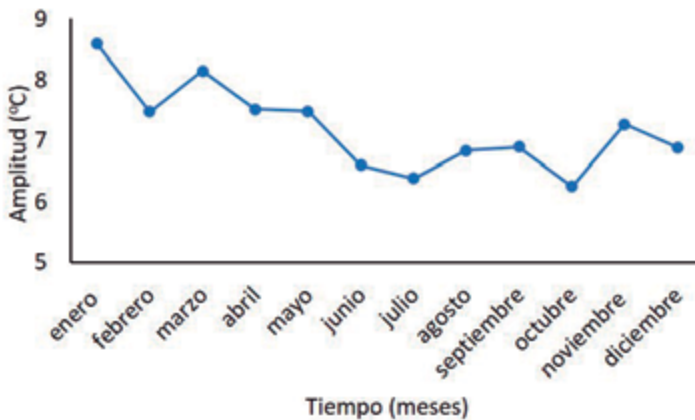
**Figura 6.5.** Variación de la temperatura diaria media, máxima y mínima registrada durante el año 2022 en las inmediaciones de la Mikado 141-F 2295 ubicada en el jardín del campus de Vera de la UPV.

La variación estacional puede observarse mejor a partir de la gráfica de temperaturas medias mensuales registradas durante 2022 mostrada en la figura 6.6. A partir del mes de enero las temperaturas medias (así como las máximas y mínimas, ver figura 6.5) comienzan a aumentar hasta alcanzar sus valores máximos en los meses de julio a septiembre. En octubre comienzan a disminuir hasta alcanzar nuevamente valores mínimos en el mes de diciembre. La línea horizontal muestra los meses en los que la temperatura supera el valor umbral aceptable para la conservación de objetos metálicos.



**Figura 6.6.** Variación de la temperatura mensual media durante el año 2022 en las inmediaciones de la Mikado 141-F 2295 ubicada en el jardín del campus de Vera de la UPV.

La figura 6.7 muestra la variación estacional de la oscilación térmica diaria. El valor de la amplitud de la oscilación térmica mensual media, que alcanza su máximo en enero, va disminuyendo de manera progresiva con algunas fluctuaciones hasta alcanzar valores mínimos en julio y octubre. Estos valores se mantienen durante todo el año por encima del umbral aceptable de oscilación térmica diaria fijado en  $\pm 2,5-5$  °C.



**Figura 6.7.** Variación de la amplitud de la oscilación térmica mensual media a lo largo del año 2022 en las inmediaciones de la Mikado 141-F 2295 ubicada en el jardín del campus de Vera de la UPV.

### 6.4.2. Humedad Relativa

La tabla 6.3 resume los valores típicos de interés (VV.AA. 2014) registrados durante el periodo estudiado. Marzo, mayo, noviembre y diciembre registran días con máximos absolutos de HR de 93 % que se asocian a ciclos cortos de precipitaciones. El mínimo absoluto anual se registra en marzo, cuando se alcanza un 15 %. En 309 días a lo largo de 2022 se registraron oscilaciones diarias superiores a  $\Delta HR = \pm 10\%$ , que es el umbral aceptable para conservación de patrimonio en metal establecido (Michalski, 1994). Las mayores amplitudes de la oscilación diaria se registran en invierno y verano con valores medios mensuales de  $\Delta HR$  de 37 % y 29 %, respectivamente. Por tanto, el invierno, seguido del verano, es la estación en la que hay más riesgo de alteración de la locomotora por ser el periodo en el que el cambio de HR es más abrupto y tiene lugar más rápidamente (ver más adelante). En 2022 se superó una HR del 30 % (umbral tolerable para conservación de metales durante un total de 8696 h, equivalentes a 362 días. Por consiguiente, respecto a este factor, la locomotora tiene un alto riesgo de alteración durante todo el año.

**Tabla 6.3.** Valores promedios mensuales y estacionales de HR diaria, HR máxima y mínima diaria y amplitud de la oscilación diaria.

Mes	Humedad Relativa (%)			
	Promedio	Máximo	Mínimo	Amplitud
Enero	71	86	49	37
Febrero	74	88	52	36
Marzo	74	89	51	37
<b>Invierno</b>	<b>73</b>	<b>88</b>	<b>51</b>	<b>37</b>
Abril	72	87	56	3
Mayo	80	90	63	27
Junio	89	89	77	27
<b>Primavera</b>	<b>81</b>	<b>89</b>	<b>65</b>	<b>28</b>
Julio	76	86	74	26
Agosto	78	89	76	28
Septiembre	86	86	70	32
<b>Verano</b>	<b>80</b>	<b>87</b>	<b>73</b>	<b>29</b>
Octubre	84	90	83	17
Noviembre	70	85	68	34
Diciembre	78	88	61	27
<b>Otoño</b>	<b>77</b>	<b>88</b>	<b>71</b>	<b>26</b>

Las figuras 6.8 a 6.11 muestran la variación diaria de la HR a lo largo del año 2022.

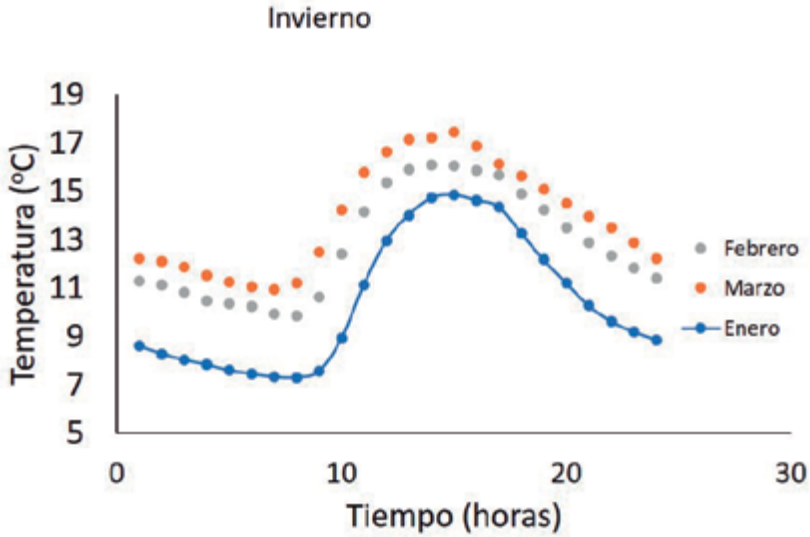


Figura 6.8. Curvas de HR horaria promedio en los meses de la estación de invierno.

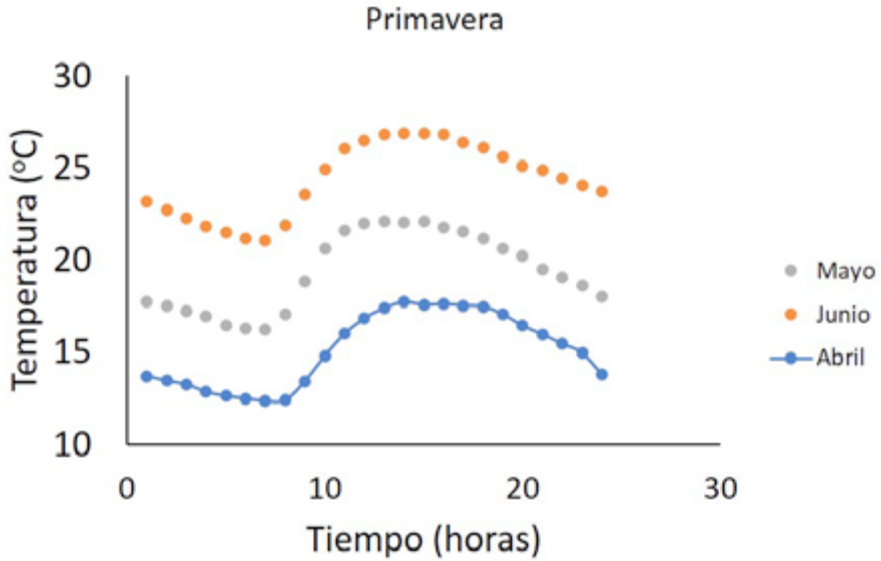


Figura 6.9. Curvas de HR horaria promedio en los meses de la estación de primavera.

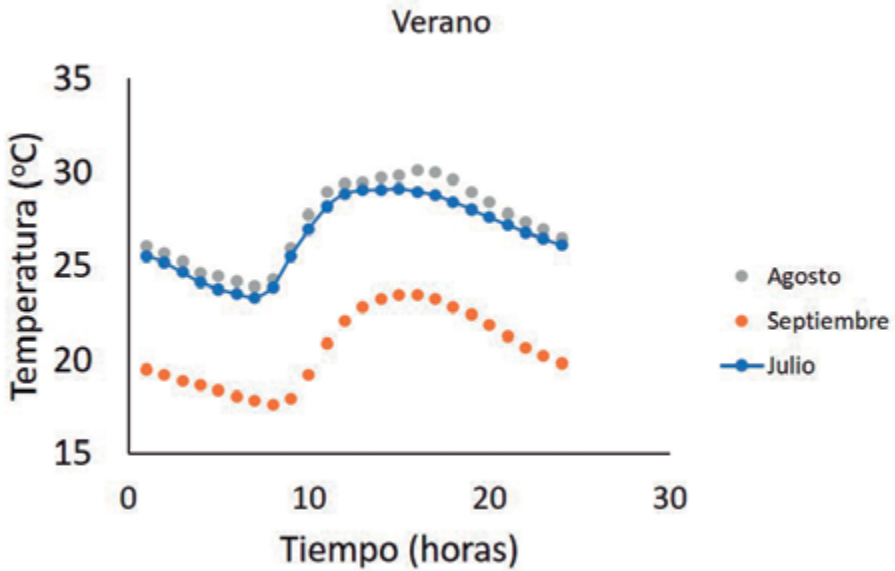


Figura 6.10. Curvas de HR horaria promedio en los meses de la estación de verano.

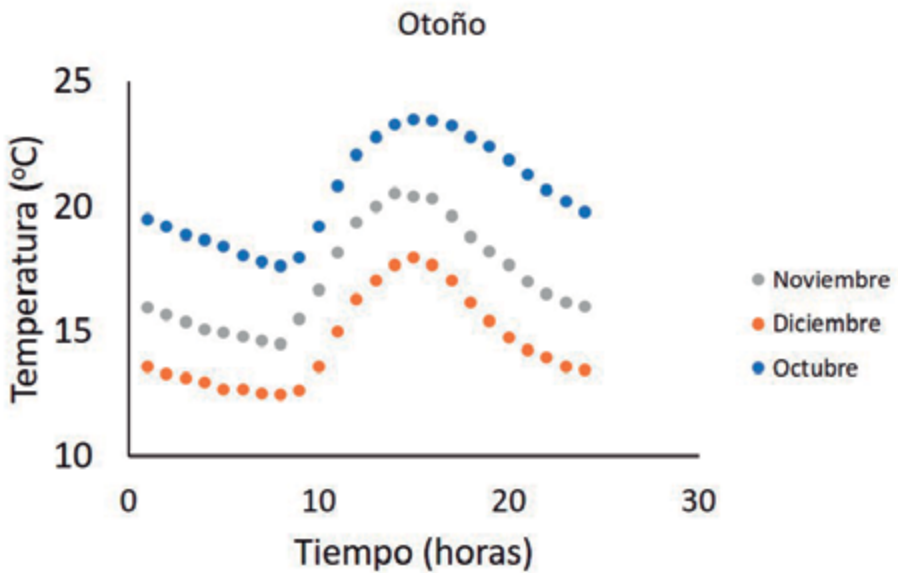
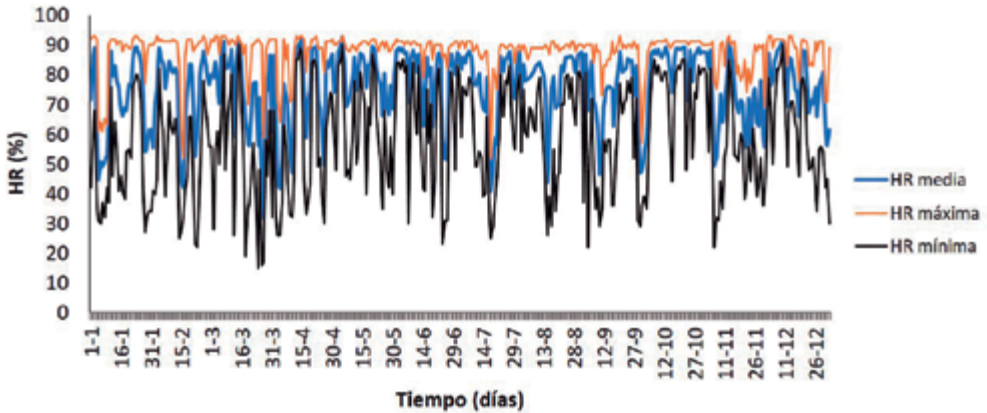


Figura 6.11. Curvas de HR horaria promedio en los meses de la estación de otoño.

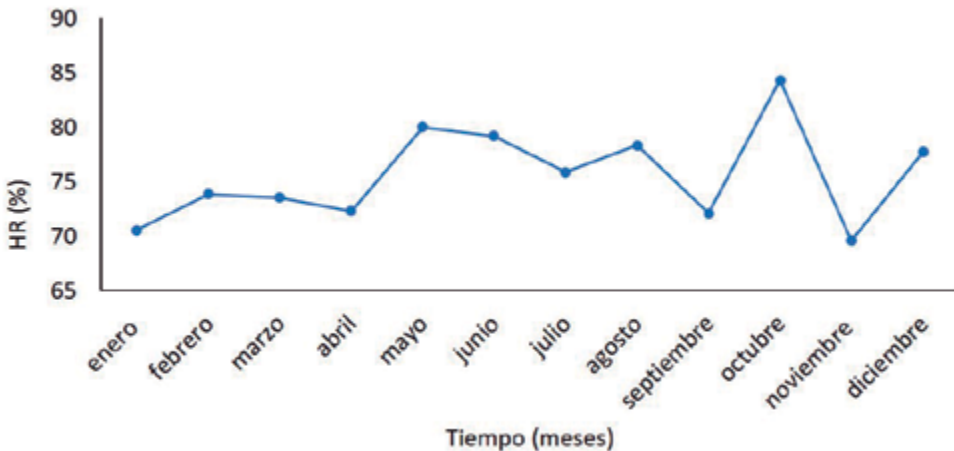
En las gráficas 6.8 a 6.11 se observa que el ciclo u oscilación diaria de HR alcanza el valor mínimo entre las 12 h y las 16 h y el valor máximo en las horas nocturnas (24 h en adelante). La velocidad de descenso es de  $5\% \text{ h}^{-1}$  en invierno,  $4\% \text{ h}^{-1}$  en primavera y verano y de  $3,6\% \text{ h}^{-1}$  en otoño.

La figura 6.12 muestra la gráfica de HR medias, máximas y mínimas diarias registradas en 2022. En esta gráfica se aprecian los ciclos cortos irregulares de varios días de duración. Se puede apreciar cómo los valores de HR mínima son los que experimentan mayor fluctuación en los ciclos cortos irregulares.



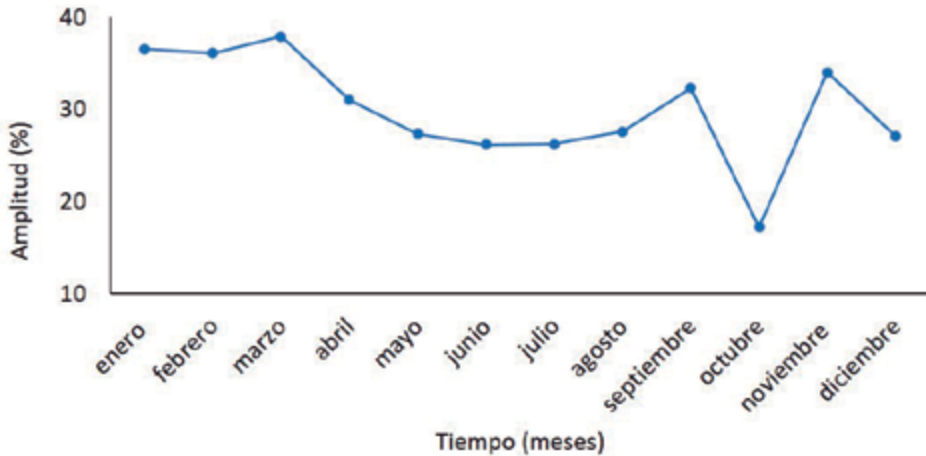
**Figura 6.12.** Variación de la HR diaria media, máxima y mínima registrada durante el año 2022 en las inmediaciones de la Mikado 141-F 2295 ubicada en el jardín del campus de Vera de la UPV.

La variación estacional puede observarse mejor a partir de la gráfica de HR medias mensuales registradas durante 2022 mostrada en la figura 6.13. La curva se caracteriza por presentar fluctuaciones irregulares con mínimos en enero, abril, julio, septiembre y noviembre y máximos en febrero, mayo, agosto, octubre y diciembre. Se comprueba que los valores de HR media mensual se mantienen todo el año por encima del valor umbral aceptable para la conservación de objetos metálicos fijado en  $\pm 30\%$ .



**Figura 6.13.** Variación de la HR mensual media durante el año 2022 en las inmediaciones de la Mikado 141-F 2295 ubicada en el jardín del campus de Vera de la UPV.

La figura 6.14 muestra la variación de la oscilación diaria de HR promediada a un mes durante 2022. El valor máximo es alcanzado en marzo mientras que octubre registra un mínimo de 17 %. Aunque no hay una tendencia clara, la oscilación diaria de la HR tiende a decrecer en los meses estivales. Cabe señalar que estos valores se mantienen durante todo el año por encima del umbral aceptable de oscilación térmica diaria fijado en  $\pm 10$  %.



**Figura 6.14.** Variación de la amplitud de la oscilación diaria de HR promediada a un mes a lo largo del año 2022 en las inmediaciones de la Mikado 141-F 2295 ubicada en el jardín del campus de Vera de la UPV.

### 6.4.3. Salinidad

Se han efectuado mediciones *in situ* durante los periodos de invierno primavera 2022 (tabla 6.4) de la concentración en aerosoles conteniendo iones cloruro. Se ha seguido el método de la candela húmeda (norma UNE-EN ISO 9225:2012). Se observa que el valor promedio calculado para todo el año es de  $2,4 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

**Tabla 6.4.** Valores medios de concentración de cloruros en el campus de Vera.

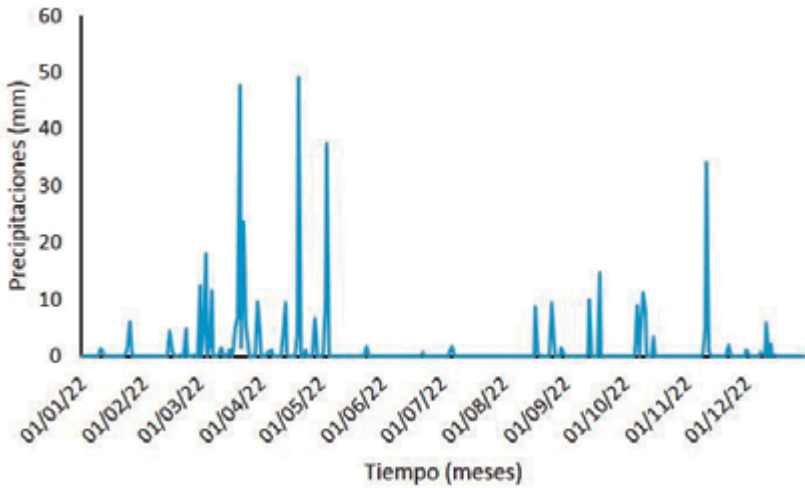
Periodo	Concentración de cloruros ( $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )
Invierno	2,3
Primavera	2,3
Verano	2,5
Otoño	2,4
Promedio	2,4
Desv. estándar	0,1

Los valores más elevados registrados en verano y otoño tienen que ver con la mayor preponderancia de los vientos procedentes del mar que hubo durante esas dos estaciones. No obstante, los valores hallados de salinidad son bajos si se considera la proximidad de la

locomotora al mar (2,5 km). La presencia de edificaciones entre la playa de la Malvarrosa y el campus de Vera, probablemente, está actuando como barrera que retiene gran parte de las nebulizaciones marinas preservando, de este modo, la locomotora.

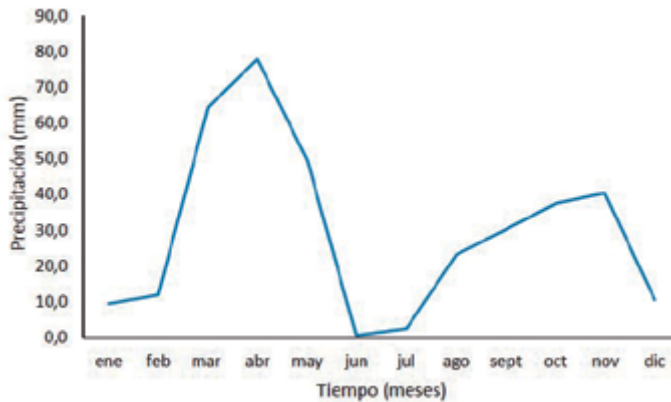
#### 6.4.4. Precipitaciones

La figura 6.15 muestra los valores de precipitación acumulada diariamente, durante el año 2022, en Valencia. Los ciclos de lluvias son cortos, dos o tres días máximo y la intensidad de las precipitaciones no supera los 60 mm día<sup>-1</sup>.



**Figura 6.15.** Variación de las precipitaciones en Valencia en 2022.

La figura 6.16 muestra la variación de las precipitaciones mensuales medias en Valencia en 2022. La tendencia estacional se caracteriza por un notable aumento de las precipitaciones en los periodos de primavera y otoño, llegándose a acumular en un mes valores de 77,7 y 37,3 mm en primavera y otoño, respectivamente. No se ha hallado correlación entre los valores medios de HR mensual y la precipitación acumulada.



**Figura 6.16.** Variación del promedio mensual de precipitación diaria en Valencia en 2022.



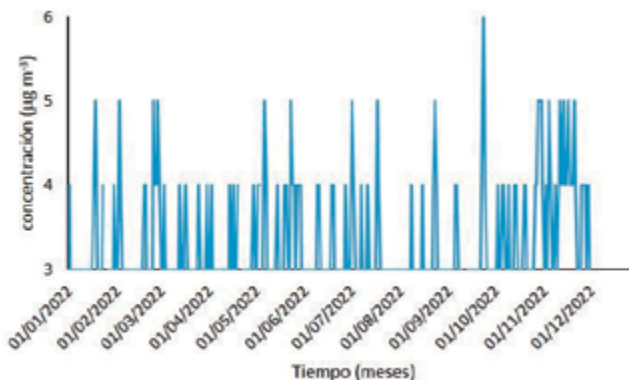
La tabla 6.5 sintetiza los parámetros estadísticos calculados para las variables meteorológicas. Los promedios anuales de temperatura y HR diaria media son 18,8 °C y 76 % con valores máximos de 37,5 °C y 93 % y valores mínimos de 1,7 °C y 15 %. Las oscilaciones diarias promedio son 7,2 °C y 30 % alcanzando valores extremos de 21,5 °C y 77 %. La dispersión de los valores de temperatura media diaria, dada por el error relativo estándar, está en torno al 31 %, sin clara tendencia de los valores a situarse por debajo o por encima del valor medio anual a tenor del pequeño valor absoluto del coeficiente de asimetría de Fisher. La dispersión de los valores medios diarios de HR, calculada a partir de la desviación estándar y el error relativo estándar, se establece en valores de 12 %. El coeficiente de asimetría de Fisher es -1,0, lo que pone de manifiesto la tendencia de la HR diaria media a situarse por debajo de la media anual. Por otra parte, el tiempo de humectación (TOW) reportado es de 83 días con un total de precipitación acumulada de 449,8 mm y un máximo absoluto diario de 49,2 mm.

**Tabla 6.5.** Parámetros estadísticos de variables meteorológicas en el Campus de Vera.

Año	Extremo máximo anual	Extremo mínimo anual	Amplitud anual máxima	Valor medio	Desviación estándar	Error relativo estándar	Coficiente de asimetría de Fisher
<b>Temperatura (°C)</b>							
	37,5	1,7	7,2	18,8	6	31	0,1
<b>Humedad Relativa (%)</b>							
	93	15	30	76	12	16	-1
<b>Precipitación</b>	<b>TOW (días)</b>	<b>Máximo diario anual (mm)</b>		<b>Total anual acumulado (mm)</b>			
	83	49,2		449,8			

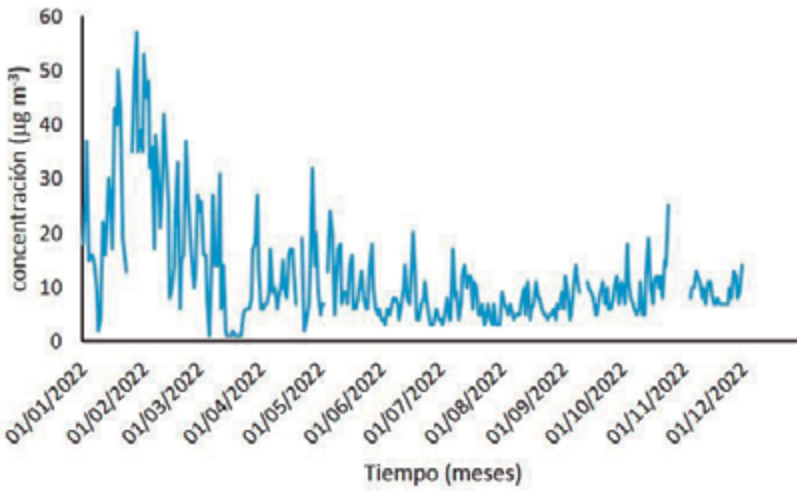
#### 6.4.5. Contaminantes atmosféricos

La figura 6.17, a 6.19, 6.21 y 6.22 muestran la variación de los niveles medios diarios de contaminantes SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM2,5 y PM10 registrados en el campus de Vera de la UPV durante 2022.



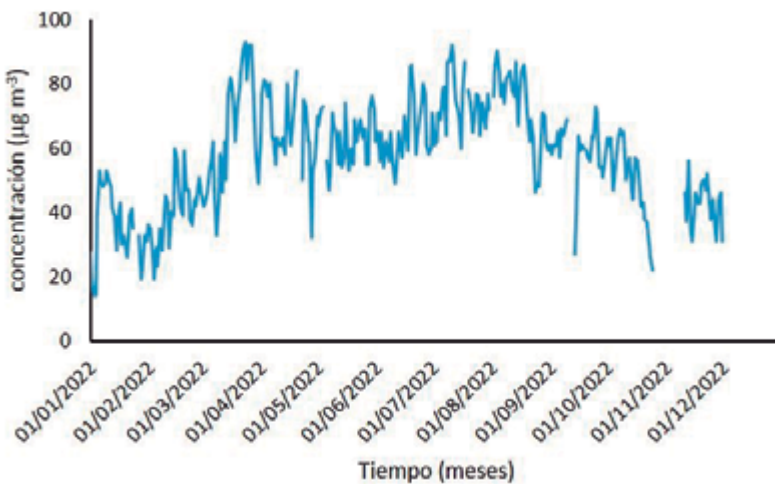
**Figura 6.17.** Variación del nivel medio diario de SO<sub>2</sub>, en aire en 2022.

Estos valores bajos de contaminación atmosférica indican que el denso tráfico y la industrialización del cinturón de la ciudad de Valencia no parecen estar contribuyendo de manera apreciable a la emisión de este GEI. Consecuentemente, este contaminante presenta poca variación diaria y estacional y sus fluctuaciones son aleatorias.



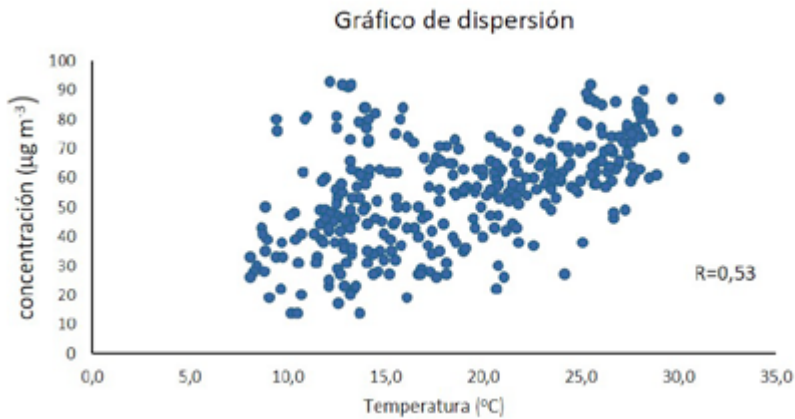
**Figura 6.18.** Variación del nivel medio diario de NO<sub>2</sub>, en aire en 2022.

Los registros diarios de concentración de NO<sub>2</sub>, mostrados en la figura 6.18, presentan una tendencia estacional con máximos en enero y febrero y paulatina reducción de los valores diarios del invierno a la primavera y de esta al verano, y el progresivo aumento en la transición del otoño al invierno.

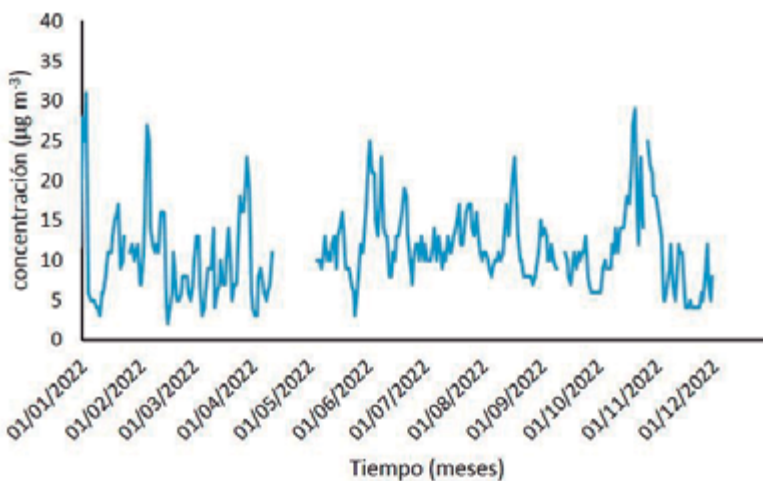


**Figura 6.19.** Variación del nivel medio diario de O<sub>3</sub>, en aire en 2022.

En la figura 6.19 se aprecian fluctuaciones cortas, de tres o cuatro días, en las que la concentración de ozono puede variar del orden de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ . También se observa una variación estacional que exhibe los valores más elevados en primavera y verano y los valores más bajos en otoño e invierno. El factor determinante de este aumento de la concentración en los períodos de primavera y verano es el incremento de la intensidad de la luz solar y el mayor número de horas con insolación. La variación estacional de la concentración de  $\text{O}_3$  también se puede correlacionar, en primera aproximación con las mayores temperaturas registradas en estas estaciones, como pone de manifiesto la gráfica de dispersión de la figura 6.20 en la que se aprecia una cierta tendencia a incrementar los valores de concentración de  $\text{O}_3$  con la temperatura. El coeficiente de correlación es 0,53. No se ha hallado correlación con la concentración de  $\text{NO}_2$ , reactivo implicado en la formación de ozono a nivel del suelo, ya que el  $\text{NO}_2$  muestra sus valores máximos en las estaciones frías.

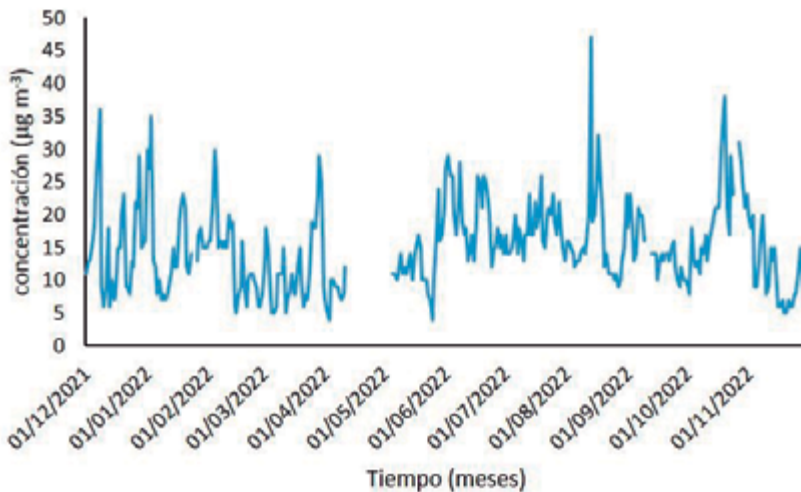


**Figura 6.20.** Gráfico de regresión de la variable concentración de  $\text{O}_3$  frente la temperatura. R: coeficiente de regresión.



**Figura 6.21.** Variación del nivel medio diario de MP2.5, en aire.

En la figura 6.21 se observan fluctuaciones cortas, de tres o cuatro días, en las que la concentración de PM<sub>2,5</sub> puede llegar a variar del orden de 40 µg m<sup>-3</sup>. No se aprecia variación estacional.



**Figura 6.22.** Variación del nivel medio diario de PM<sub>10</sub> en aire.

En la figura 6.22 se observan fluctuaciones cortas, de tres o cuatro días, en las que la concentración de PM<sub>10</sub> puede variar del orden de 40 µg m<sup>-3</sup>. No se aprecia variación estacional.

En la tabla 6.6 se resumen los parámetros estadísticos obtenidos para los registros de variables de calidad del aire en el año 2022 en la estación AEMET UPV-Automática.

**Tabla 6.6.** Parámetros estadísticos.

Año	Extremo máximo anual	Extremo mínimo anual	Valor medio	Desviación estándar	Error relativo estándar	Coficiente de asimetría de Fisher
<b>Nivel de SO<sub>2</sub> (mg m<sup>-3</sup>)</b>						
	6	3	3,4	0,8	17	1,5
<b>Nivel de NO<sub>2</sub> (mg m<sup>-3</sup>)</b>						
	57	1	12,1	10	82	2
<b>Nivel de O<sub>3</sub> (mg m<sup>-3</sup>)</b>						
	93	14	58,6	18	32	-0,2
<b>PM<sub>2,5</sub> (mg m<sup>-3</sup>)</b>						
	34	2	11,3	5	47	1,2
<b>PM<sub>10</sub> (mg m<sup>-3</sup>)</b>						
	47	4	15,1	7	44	1

La concentración media de  $\text{SO}_2$  en 2022 fue  $3,4 \mu\text{g m}^{-3}$ , siendo el valor más bajo registrado  $3 \mu\text{g m}^{-3}$  y el más elevado  $6 \mu\text{g m}^{-3}$ . La dispersión de valores medios diarios, calculada a partir de la desviación estándar y el error relativo estándar, se establece en valores de 0,8 y 17 % en 2022. El coeficiente de asimetría de Fisher calculado es 1,5, lo que pone de manifiesto la tendencia clara de los valores a situarse por encima de la media.

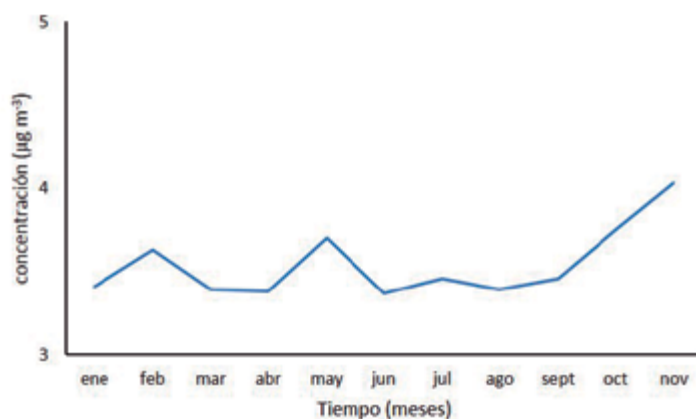
El valor de la concentración media diaria de  $\text{NO}_2$  en 2022 fue  $12,1 \mu\text{g m}^{-3}$  con máximo y mínimo de 57 y  $1 \mu\text{g m}^{-3}$ , respectivamente. La dispersión de valores medios diarios, calculada a partir de la desviación estándar y el error relativo estándar, se sitúa en valores de 10 y 82 %. El coeficiente de asimetría de Fisher es 2, lo que pone de manifiesto el carácter netamente positivo de la distribución de valores.

El contaminante ozono es el que ha mostrado valores más elevados de los cinco considerados en este estudio. La concentración media de  $\text{O}_3$  fue  $58,6 \mu\text{g m}^{-3}$ , siendo el valor más bajo registrado  $14 \mu\text{g m}^{-3}$  y el más elevado  $93 \mu\text{g m}^{-3}$ . La dispersión de valores medios diarios, calculada a partir de la desviación estándar y el error relativo estándar, se establece en valores de 18 y 32 %. El coeficiente de asimetría de Fisher es  $-0,2$ , lo que muestra una tendencia negativa.

En 2022 la concentración media de  $\text{PM}_{2,5}$  fue  $11,3 \mu\text{g m}^{-3}$ , siendo el valor más bajo registrado  $2 \mu\text{g m}^{-3}$ , y el más elevado  $34 \mu\text{g m}^{-3}$ . La dispersión de valores medios diarios, se sitúa en 5 (47 %) para la desviación estándar y el error relativo estándar, respectivamente. El coeficiente de asimetría de Fisher calculado es 1,2, lo que muestra una clara tendencia hacia valores por encima de la media.

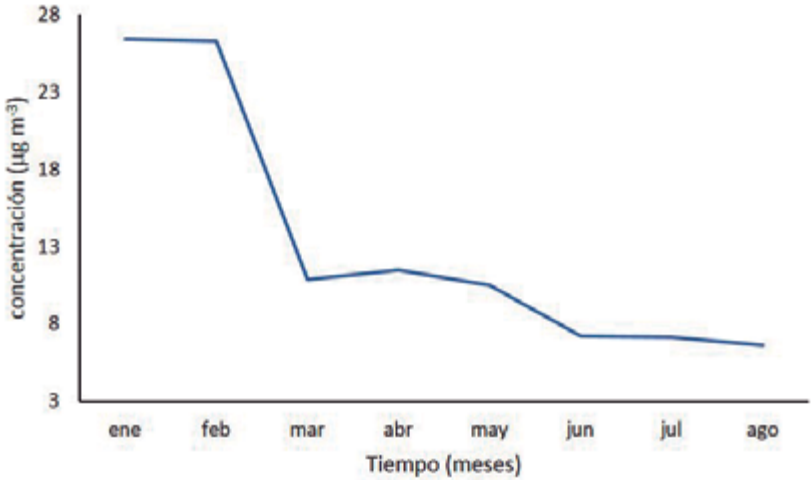
El contaminante  $\text{PM}_{10}$  ha mostrado un valor medio anual de concentración en el aire  $15,1 \mu\text{g m}^{-3}$ , que es ligeramente más elevados que el calculado para  $\text{PM}_{2,5}$ . El valor más bajo registrado fue  $4 \mu\text{g m}^{-3}$  y el más elevado  $47 \mu\text{g m}^{-3}$ . La dispersión de valores medios diarios, se establece en valores de 7 (44 %) para la desviación estándar y el error relativo estándar, respectivamente. El coeficiente de asimetría de Fisher es 1,0, lo que muestra una clara tendencia hacia valores por encima de la media.

Las tendencias estacionales de los agentes contaminantes atmosféricos en estudio pueden reconocerse mejor a partir de las gráficas de valores medios mensuales que se muestran en las figuras 6.23 a 6.27.



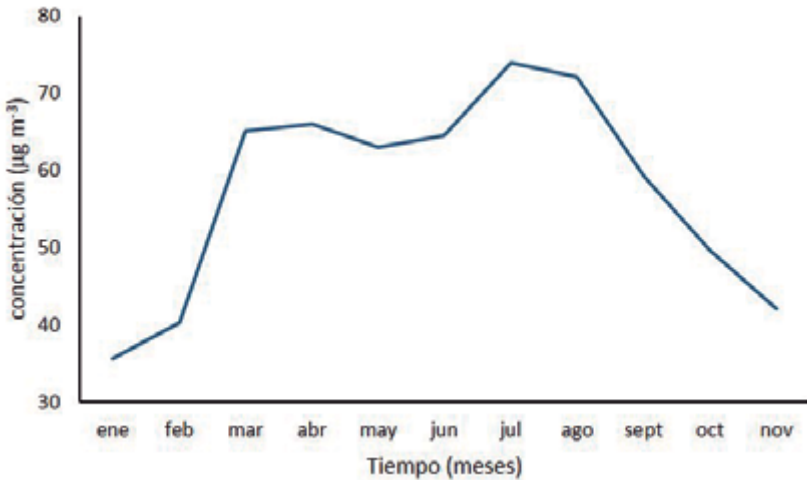
**Figura 6.23.** Variación de la concentración media mensual de  $\text{SO}_2$  en Valencia en 2021 y 2022.

La curva de la figura 6.23 evidencia la ausencia de tendencia estacional debido a los bajos niveles de concentración exhibidos por este contaminante.



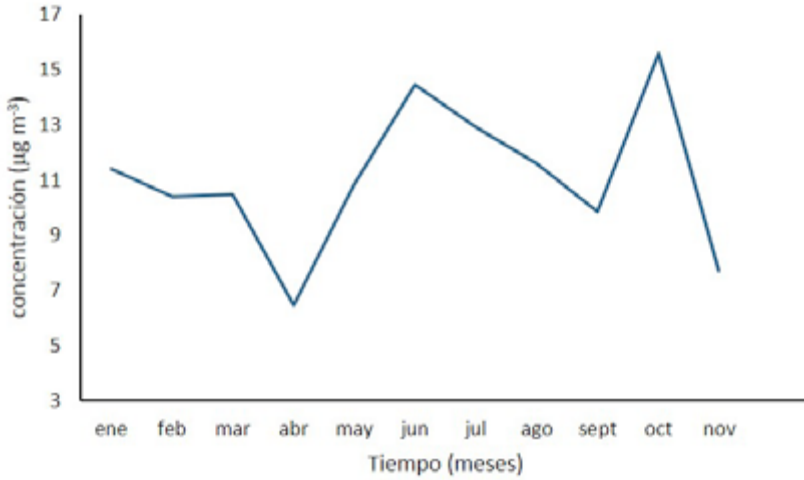
**Figura 6.24.** Variación de la concentración media mensual de NO<sub>2</sub>.

La gráfica de la figura 6.24 confirma el incremento de los valores de concentración de NO<sub>2</sub> en invierno, con progresivo descenso hasta el verano e inversión de la tendencia en otoño.



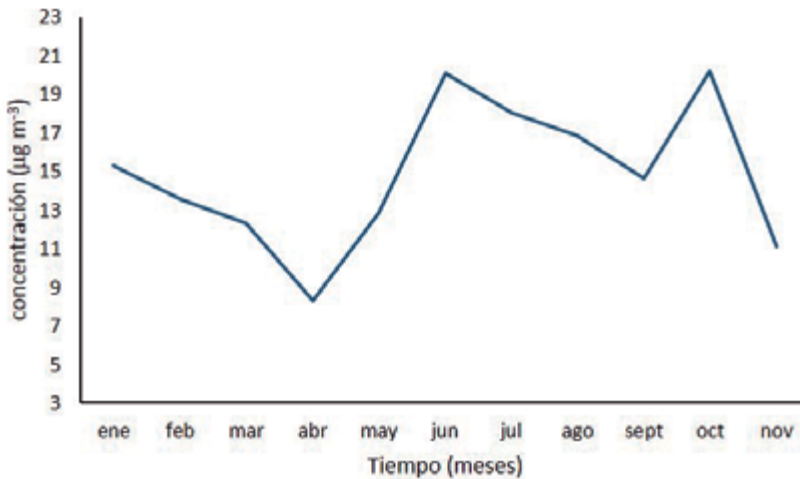
**Figura 6.25.** Variación de la concentración media mensual de O<sub>3</sub>.

La gráfica de la figura 6.25 ponen de manifiesto la clara tendencia del ozono a incrementar sus valores en primavera y verano, y reducirlos en las estaciones frías.



**Figura 6.26.** Variación de la concentración media mensual de PM<sub>2,5</sub>.

La gráfica de la figura 6.26 pone de manifiesto la ausencia de tendencia estacional de la materia particulada PM<sub>2,5</sub> ya que presenta un patrón de ciclos irregulares de varios meses de duración.



**Figura 6.27.** Variación de la concentración media mensual de PM<sub>10</sub>.

La gráfica de la figura 6.27 sugiere, al igual que sucedía con el PM<sub>2,5</sub>, ausencia de tendencia estacional definida para PM<sub>10</sub>. Si se compara las gráficas de ambas figuras 6.26 y 6.27, se comprueba que el perfil de variación anual de ambas clases de partículas es muy similar en ambos años, exhibiendo valores muy próximos de concentración en el aire.

### 6.5. Implicaciones para la conservación de la locomotora

La tabla 6.7 resume el número de días y la tasa anual de tiempo, expresada en porcentaje (valores entre paréntesis), en que los valores medios de las variables meteorológicas registradas fueron superiores a los valores aceptables en conservación del patrimonio metálico.

**Tabla 6.7.** Tasa anual de tiempo en que los niveles de variables meteorológicas superan a los valores aceptables en conservación del patrimonio.

<b>Año</b>	<b>Número de días al año sobrepasando el valor tolerable</b>	<b>Número de días al año sobrepasando el valor tolerable de oscilación diaria</b>
<b>Temperatura</b>	<b>T &gt; 20 °C</b>	<b><math>\Delta T &gt; \pm 2-5</math> °C</b>
	146 (40 %)	291 (77,9 %)
<b>HR</b>	<b>HR &gt; 30 %</b>	<b>HR &gt; 10 %</b>
	362 (99,1 %)	309 (84,7 %)
<b>Precipitaciones</b>	<b>TOW</b>	
	83 días = 1968 h (22,7 %)	
<b>Salinidad</b>	<b>Valor medio de concentración de iones cloruro</b>	
	2,4 mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> .	

Durante el 40 % y el 77,9 % del año la temperatura supera los límites tolerables de temperatura y oscilación térmica diaria. Más grave es la situación respecto a la HR que sobrepasa los valores límite recomendados de HR y de amplitud de la oscilación diaria en el 99,1 y 84,7 %, respectivamente. El resultado referido a las precipitaciones es ligeramente mejor ya que el valor de TOW registrado de 83 días al año indica que la ubicación de la locomotora Mikado 141-F 2295 está clasificada en la categoría  $\tau_3$  de corrosividad moderada que establece la norma UNE-EN ISO 9223:2012. El valor de salinidad inferior a 3 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> sitúa la ubicación de la locomotora en la categoría  $S_0$ , de corrosividad baja, que establece esta misma norma.

Los valores de contaminantes presentan comportamientos diversos. Mientras SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, no superan los valores 12 µg m<sup>-3</sup> y 25 µg m<sup>-3</sup>, correspondientes a la categoría C2 de corrosividad baja según la norma UNE-EN ISO 9223:2012, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> superan ligeramente el valor umbral 10 µg m<sup>-3</sup> para esta categoría y se sitúan en la categoría C3 de corrosividad moderada. Por otra parte, el O<sub>3</sub> supera el límite 2 µg m<sup>-3</sup> fijado por el Ministerio de Cultura y Deporte (2009) para objetos en el interior de edificios y lugares resguardados.

La tabla 6.8 muestra la tasa anual de tiempo en que los niveles de contaminantes atmosféricos superaron los valores aceptables. Se comprueba que las concentraciones de SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, y PM<sub>2,5</sub> consiguen permanecer inferiores al valor tolerable establecido para la conservación de objetos metálicos en el interior de edificios y lugares resguardados durante todo el año. De los otros dos contaminantes destaca el O<sub>3</sub> por superar el umbral de tolerancia casi todo el año seguido del NO<sub>2</sub>.



**Tabla 6.8.** Tasa anual de tiempo en que los niveles de contaminantes atmosféricos superaron los valores aceptables en conservación del patrimonio en interiores y lugares resguardados<sup>1</sup> en 2022.

Número de días al año con concentraciones superiores a las tolerables						
SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM2,5	PM2,5 <sub>umbral alerta</sub>	PM10	PM10 <sub>umbral alerta</sub>
0	123	339	0	0	0	0

Los valores medios obtenidos para el conjunto de contaminantes considerados en este estudio permite clasificar, en términos generales, al campus de Vera en la categoría C2-C3 de corrosividad de objetos metálicos conservados al aire libre (UNE-EN ISO 9223:2012).

## 6.6. Referencias

AEMET (n.d.) Base de datos. Inventarios históricos meteorológicos on-line. Disponible en: <http://www.aemet.es>. [Consultado 06-08-2023].

Michalski, S. (1994) Relative Humidity and Temperature Guidelines: What's Happening? Disponible en: <https://es.scribd.com/document/396814229/Relative-Humidity-and-Temperature-Guidelines-What-s-Happening-By-Stefan-Michalski#>. [Consultado 9-05-2023].

Ministerio de Cultura (2009) *Normas de conservación preventiva para la implantación de sistemas de control de condiciones ambientales en museos, bibliotecas, archivos, monumentos y edificios históricos*. Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:a8616b46-27cb-45fd-b121-79899d8d6907/ipce-normas-climatizacion.pdf>. [Consultado 9-05-2023].

RVVCCA-GVA. (n.d.) Base de datos. Inventarios históricos de calidad de aire on-line. Disponible en: <http://www.agroambient.gva.es>. [Consultado 06-08-2023].

Upham, L.N. (1992) "The Standards Connection", *Journal of Education for Library and Information Science*, 33(1), 72-74.

VVAA. (2014). *Manual de Seguimiento y Análisis de Condiciones Ambientales*. Madrid: MECD. Disponible en: <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/descarga.action>. [Consultado 31-08-2022].

UNE-EN ISO 9223:2012 Corrosión de metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Clasificación, determinación y estimación. UNE Asociación Española de Normalización. Disponible en: <http://une.org>. [Consultado 6-05-2023].

UNE-EN ISO 9225:2012 (n.d.) Corrosión de los metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Medida de los parámetros ambientales que afectan a la corrosividad de las atmósferas. UNE Asociación Española de Normalización. Disponible en: <http://une.org>. [Consultado 6-05-2023].

<sup>1</sup> No se incluyen porcentajes anuales debido a la gran cantidad de días en los que no se obtuvieron registros.

## 6.7. Bibliografía

Herráez, J. A., Durán, D. y García Martínez, E. (2017) *Planes Nacionales de la Conservación Preventiva. Fundamentos de Conservación Preventiva*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Herráez, J. A., Durán, D. y Pastor, M.J. (2019) *Guía para la Elaboración e Implantación de Planes de Conservación Preventiva*. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

Ministerio de Cultura y Deporte (2011) *Plan Nacional de Conservación Preventiva*. Madrid. Ministerio de Cultura y Deporte. Disponible en: <https://ipce.culturaydeporte.gob.es>. [Consultado el 5 de septiembre de 2022].

Ministerio de Cultura y Deportes (2023) Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en el Patrimonio Cultural (PNEGR). Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:5f2ccbaa-69d6-4d40-b1eb-3111131093f0/guia-para-la-elaboracion-de-un-plan-de-gestion-deemergencias.pdf>. [Consultado el 8 abril 2023].

# Capítulo 7: Colorimetría

**María Teresa Doménech Carbó y María Luisa Martínez Bazán**

*Institut Universitari de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València*

## Contenidos

7.1. Materiales y métodos

7.2. Resultados

7.3. Interpretación de resultados

7.4. Bibliografía

Dentro del subprograma de seguimiento de amenazas y procesos de deterioro acumulativos el análisis mediante colorimetría-espectrofotometría es de suma importancia para estudiar la evolución del cambio del aspecto visual que experimentan los objetos expuestos al medioambiente atmosférico por la acción de los agentes medioambientales que causan, entre otros, biodeterioro, deposición de polvo y suciedad (*soiling*) o formación de depósitos de corrosión. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el estudio colorimétrico de la locomotora Mikado 141-F 2295 que se exhibe en los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València.

### 7.1. Materiales y métodos

Para la caracterización del aspecto cromático de la locomotora se ha empleado un espectrofotómetro CM-25cG Konica Minolta. Las condiciones de trabajo utilizadas han sido las siguientes: modo de adquisición SCI and SCE; iluminante D65; geometría 45/ C: 0°; sensor dispuesto a 60°; área de medida SAV 3 mm; fuente de luz, arco de xenón; Xenon flash; velocidad de medición <1s; resolución espectral, 10 nm en el rango 360 -740 nm.

### 7.2. Resultados

En las páginas siguientes se presentan los resultados obtenidos en formato de fichas técnicas.

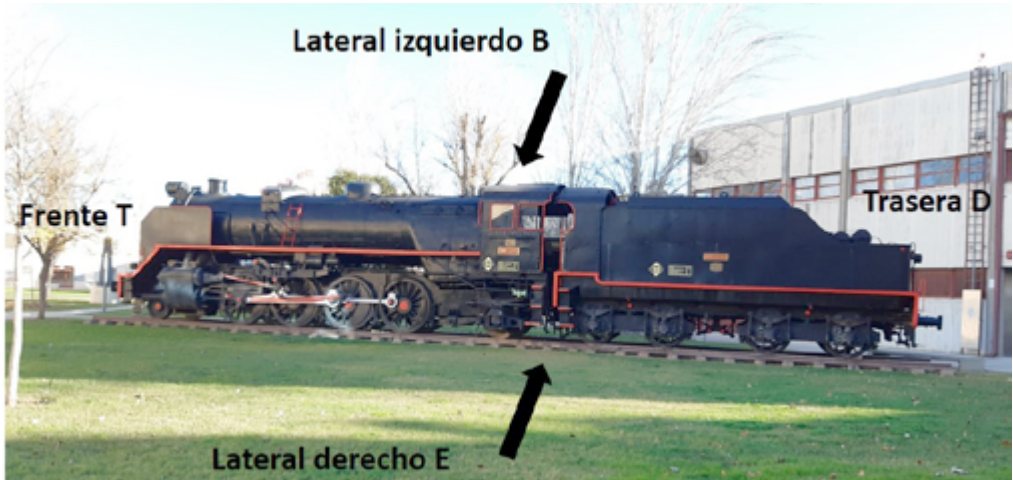


Figura 7.1. Mapa de la locomotora indicando la nomenclatura usada para referenciar las muestras.



Ficha 7.1. Puntos de medición. NB: negro; NM: negro grisáceo; R: rojo; B: blanco; V: verde; D: dorado; C: depósitos superficiales; O: corrosión metálica.



M-B-NM		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	29,1	-0,29	-0,295
	Desvest	0,4	0,01	0,005
SCE	Mean	29,1	-0,37	-0,4
	Desvest	0,4	0,01	0,01
M-B-NB		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	25,33	-0,19	-1,15
	Desvest	0,01	0,01	0,01
SCE	Mean	23,89	-0,51	-1,80
	Desvest	0,01	0,01	0,03
M-B-C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	28,79	-0,32	-1,395
	Desvest	0,03	0	0,007
SCE	Mean	29,2	-0,25	-1,44
	Desvest	0,5	0,02	0,05
M-B-D		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	44,96	5,927	20,26
	Desvest	0,03	0,006	0,03
SCE	Mean	44,61	5,840	20,09
	Desvest	0,03	0,006	0,02
M-B-B		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	81,19	0,907	1,16
	Desvest	0,02	0,006	0,02
SCE	Mean	80,80	0,863	1,17
	Desvest	0,02	0,006	0,03
M-B-V		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	63,5	-9,9	14,13
	Desvest	0,2	0,1201	0,05
SCE	Mean	63,2	-9,95	14,22
	Desvest	0,2	0,13	0,05

Ficha 7.2. Valores de coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en diversas zonas del lateral B.



M-B-R		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	43,56	29,53	49,84
	Desvest	0,03	0,04	0,05
SCE	Mean	39,42	37,18	55,24
	Desvest	0,02	0,05	0,06
M-B-O		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	41,84	24,52	13,08
	Desvest	0,03	0,02	0,006
SCE	Mean	41,77	24,43	13,040
	Desvest	0,02	0,015	0,000

Ficha 7.3. Valores de coordenadas L\*,a\* y b\* en diversas zonas del lateral B.



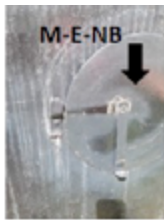
M-D-R		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	43,45	50,06	29,0
	Desvest	0,03	0,13	0,1
SCE	Mean	39,2	55,7	37
	Desvest	0,4	0,5	1
M-D-D		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	45	4,11	11,09
	Desvest	1	0,06	0,19
SCE	Mean	44,4	4,0	11,0
	Desvest	1,3	0,1	0,2
M-D-N		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	25,14	0	-0,46
	Desvest	0,06	0	0,05
SCE	Mean	15,71	-0,36	-1,74
	Desvest	0,3	0,03	0,06
M-D-B		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	96,22	-1,05	2,53
	Desvest	0,05	0,01	0,02
SCE	Mean	94,79	-1,11	2,49
	Desvest	0,02	0,00	0,03

Ficha 7.4. Valores de coordenadas L\*,a\* y b\* en diversas zonas de la parte de delante T.



M-T-N		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	24,94	0,02	-0,65
	Desvest	0,00	0,01	0,01
SCE	Mean	22,38	-0,15	-0,91
	Desvest	0,06	0,01	0,01
M-T-R		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	43,41	49,8	29,4
	Desvest	0,02	0,3	0,2
SCE	Mean	40,6	53,2	33,40
	Desvest	0,2	0,1	0,07
M-T-B		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	96,87	-0,94	2,52
	Desvest	0,01	0,01	0,00
SCE	Mean	95,320	-1,060	2,307
	Desvest	0,000	0,000	0,006
M-T-D		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	45,53	4,91	16,24
	Desvest	0,01	0,00	0,01
SCE	Mean	45,24	4,84	16,12
	Desvest	0,01	0,01	0,01

Ficha 7.5. Valores de coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en diversas zonas de la parte de atrás D.



M-E-NB		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	26,22	-0,02	-0,74
	Desvest	0,04	0,01	0,02
SCE	Mean	8,5	-0,37	-1,6
	Desvest	0,2	0,02	0,1
M-E-NM		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	27,41	-0,03	-1,04
	Desvest	0,04	0,01	0,02
SCE	Mean	21,3	-0,26	-1,80
	Desvest	0,4	0,02	0,09
M-E-D		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	44,61	3,94	13,88
	Desvest	0,04	0,01	0,01
SCE	Mean	44,27	3,86	13,76
	Desvest	0,04	0,01	0,00
M-E-R		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	43,97	47,7	26,7
	Desvest	0,06	0,2	0,1
SCE	Mean	42,38	49,4	28,3
	Desvest	0,08	0,2	0,2
M-E-B		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	80,0	0,37	1,5
	Desvest	0,2	0,01	0,1
SCE	Mean	78,8	0,33	1,5
	Desvest	0,2	0,01	0,1
M-E-C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SCI	Mean	24,94	-0,18	-0,97
	Desvest	0,01	0,01	0,02
SCE	Mean	17,50	-0,46	-2,08
	Desvest	0,01	0,01	0,02

Ficha 7.6. Valores de coordenadas L\*, a\* y b\* en diversas zonas de la parte del lateral B.



### 7.3. Interpretación de resultados

La caracterización colorimétrica de la locomotora se ilustra en las figuras 7.8 y 7.9 que muestran los gráficos de  $b^*$  versus  $a^*$  para los puntos de muestreo. A partir de estas gráficas se extraen las siguientes descripciones cromáticas:

NM: la pintura negra de la locomotora exhibe un tono negro muy puro con baja luminosidad ( $L^* < 30$  cd m<sup>-2</sup>).

NB: en las zonas con procesos de corrosión activos el negro adquiere un tono algo rojizo por la deposición de óxidos de hierro ( $L < 30$  30 cd m<sup>-2</sup>).

R: en las zonas pintadas de rojo el tono es anaranjado al poseer cierta componente amarilla (20-30 30 cd m<sup>-2</sup>).  $L^*$  está en el rango 20-50 30 cd m<sup>-2</sup>.

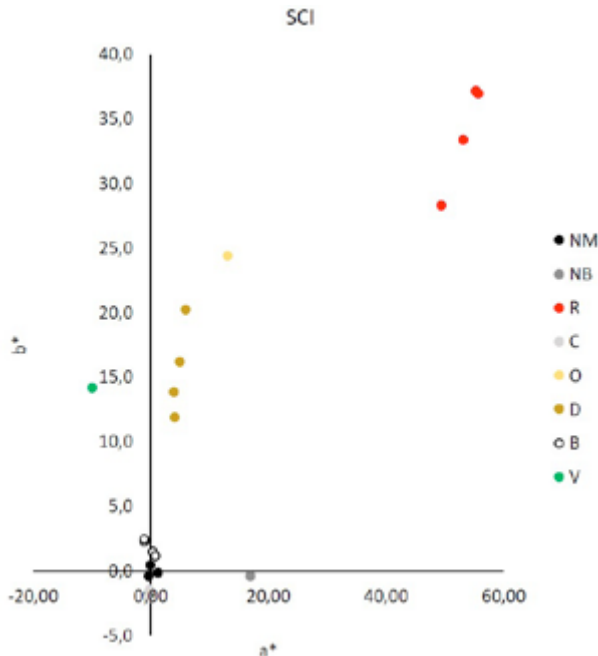
B: la pintura blanca exhibe un tono ligeramente amarillo asociado al envejecimiento de las resinas alquídicas expuestas a la acción solar.  $L^* > 90$  30 cd m<sup>-2</sup>.

V: la pintura verde tiene el tono es anaranjado al poseer cierta componente amarilla (14 cd m<sup>-2</sup>).  $L^*$  está en el rango 60-70 30 cd m<sup>-2</sup>.

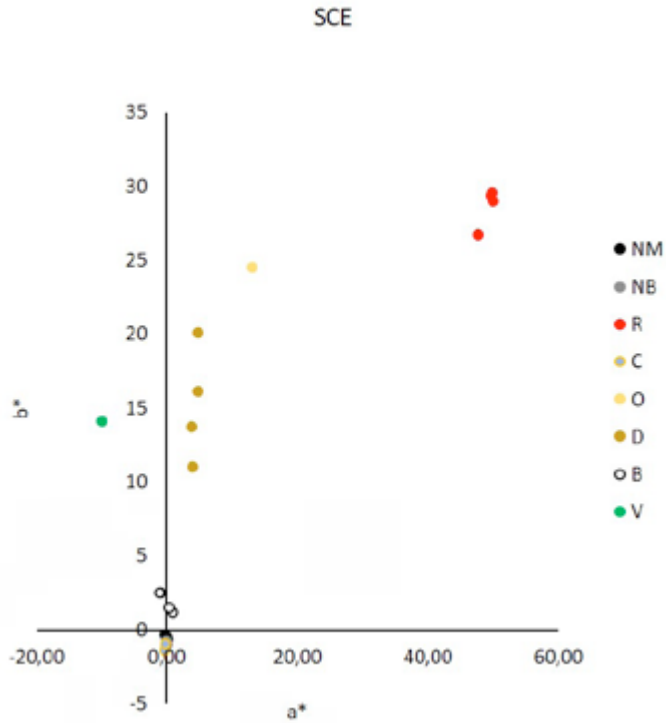
D: la pintura dorada tiene un tono amarillo virando ligeramente al rojo.  $L^*$  está en el rango 44-46 30 cd m<sup>-2</sup>.

C: los depósitos y costras superficiales formados en superficie tienen baja luminosidad  $< 20$  30 cd m<sup>-2</sup> y un tono gris-blanquecino que vira muy tenuemente al verdeazulado y baja luminosidad ( $L^* < 20$  30 cd m<sup>-2</sup>).

O: las zonas de exposición del acero que han formado una pátina de corrosión poseen un tono amarillo anaranjado.  $L^* > 40$  30 cd m<sup>-2</sup>.



**Figura 7.8.** Gráfico de  $b^*$  versus  $a^*$  para la serie de puntos de muestreo analizados obtenida en modo de adquisición SCI.



**Figura 7.9.** Gráfico de  $b^*$  versus  $a^*$  para la serie de puntos de muestreo analizados obtenida en modo de adquisición SCE.

#### 7.4. Bibliografía

Doménech Carbó, M.T. (2018) *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*, Madrid: Síntesis.

## Capítulo 8:

# Microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido por emisión de campo-microanálisis de rayos X

**María Teresa Doménech Carbó**

*Institut Universitari de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València*

### Contenidos

8.1. Materiales y métodos

8.2. Resultados

8.2.1. Análisis de la pintura de recubrimiento en superficie

8.2.2. Análisis de la pintura de recubrimiento en sección transversal

8.2.3. Análisis de la corrosión del acero en sección transversal

8.3. Interpretación de resultados

8.3.1. Superficie de la pintura de recubrimiento

8.3.2. Disposición de estratos

8.3.3. Corrosión del acero

8.4. Bibliografía

Dentro del subprograma de seguimiento de amenazas y procesos de deterioro acumulativos el examen mediante microscopía óptica (MO) combinado con el análisis mediante microscopía electrónica de barrido por emisión de campo con microanálisis de rayos X (FESEM-EDX) constituye una herramienta analítica de gran utilidad para establecer posibles alteraciones en la pintura de protección y en la superficie del metal que, ya *de visu*, presenta indicios de corrosión. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el estudio químico-analítico mediante MO y FESEM-EDX de la locomotora Mikado 141-F 2295 que se exhibe en los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València.

### 8.1. Materiales y métodos

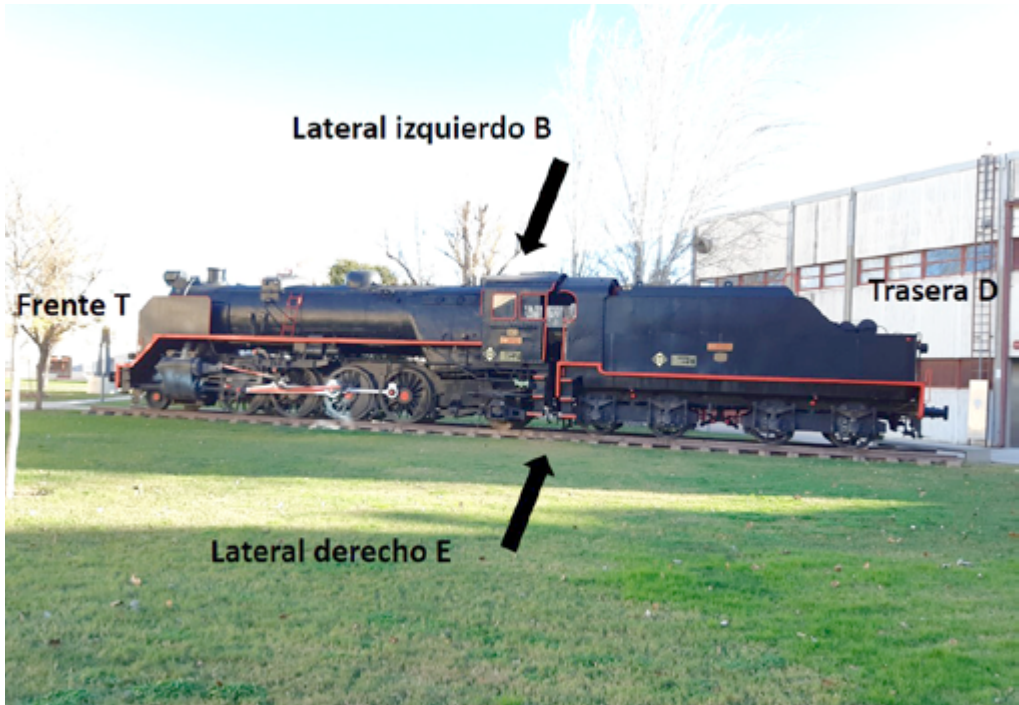
Para realizar la caracterización morfológica de las muestras se ha empleado un microscopio óptico estereoscópico Leica S8AP0 (10x-80x) que lleva acoplada una cámara

Leica Digital *FireWire* Camera (DFC), controlada mediante un software Leica Application Suite (LAS). La superficie de las muestras pudo ser observadas sin la realización de ningún tipo de preparación previa o montaje. Para examinar la sección transversal las muestras se montaron en resina de poliéster y se pulieron con discos abrasivos de CSi de tamaño de grano decreciente.

Se ha utilizado un microscopio electrónico de barrido por emisión de campo Zeiss (Orsay Physics Kleindiek Oxford Instruments) modelo ULTRA 55 con detector para microanálisis de rayos X por dispersión de energías Oxford-X Max controlado por un software Aztec. Las imágenes con electrones secundarios y retrodispersados se han obtenido aplicando un voltaje de 2-3 kV en la fuente de electrones. Para obtener los espectros de rayos X se aplicó un voltaje de 20 kV con el detector situado a 6-7 mm de la superficie de la muestra. El diámetro mínimo del haz de electrones fue <5nm a 20 kV. Las composiciones cuantitativas se obtuvieron mediante del método ZAF de corrección de efectos interelementales. El tiempo de adquisición de los espectros puntuales y de área fue de 100 s. Las muestras se montaron directamente sobre el portamuestras del microscopio y fueron recubiertas con carbono.

## 8.2. Resultados

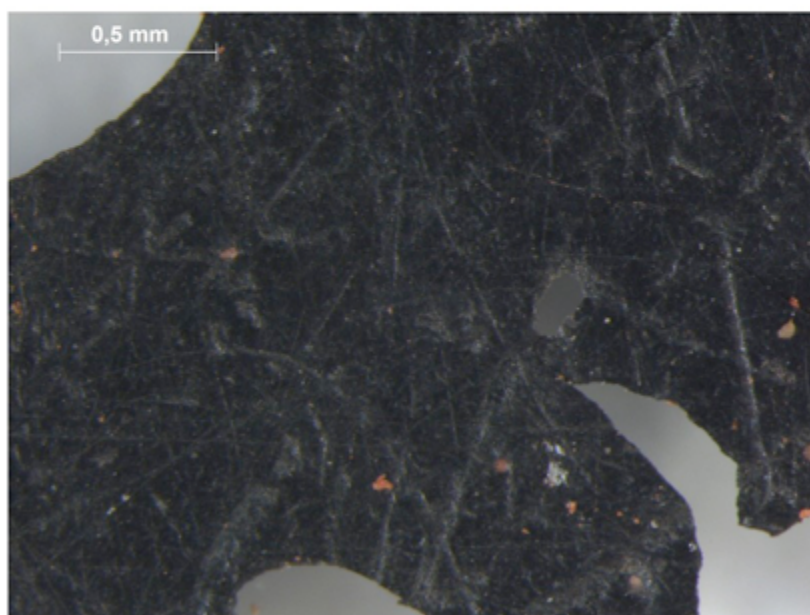
En este apartado se presentan los resultados obtenidos en formato de fichas técnicas y en el apartado siguiente se efectúa la interpretación de los resultados obtenidos.



**Figura 8.1.** Fotografía de la locomotora con indicación de los códigos utilizados en las referencias de las muestras analizadas.

### 8.2.1. Análisis de la pintura de recubrimiento en superficie

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
lado E



**Ficha MIK-2.1.** Imagen al microscopio óptico de la superficie de la muestra de pintura negra.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
lado E

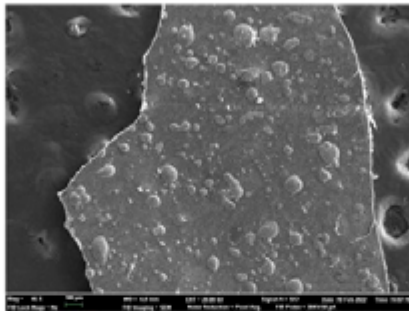


Imagen de la superficie de la pintura obtenida por electrones secundarios

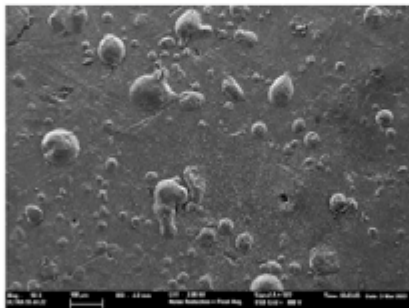


Imagen de la superficie de la pintura obtenida por electrones secundarios

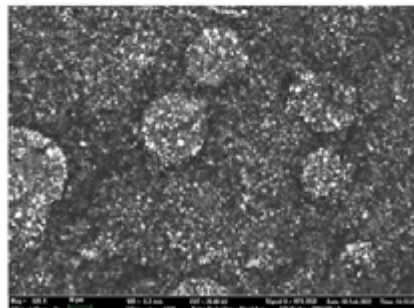


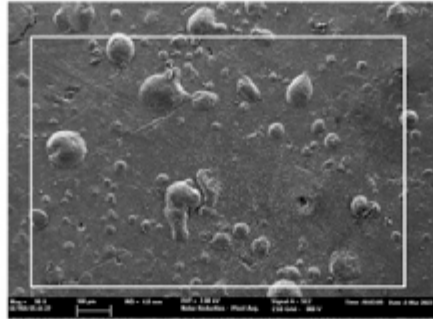
Imagen de la superficie de la pintura obtenida por electrones retrodispersados

**Ficha MIK-2.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) y 3) Imagen en electrones secundarios de la superficie de la muestra; 4) imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra.

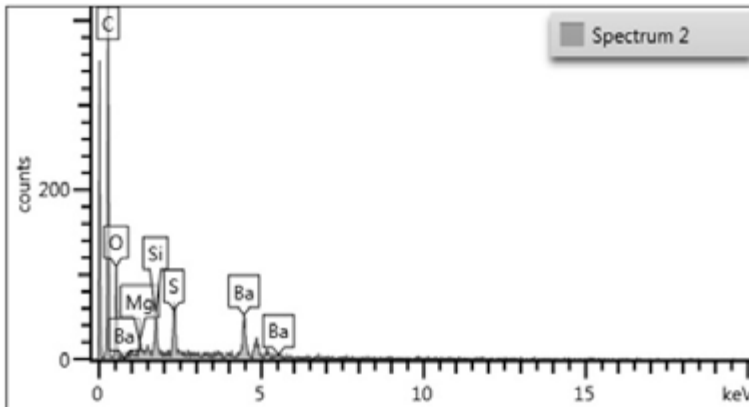
Muestra: pintura negra  
 Ref: MIK-2  
 Punto de muestreo:  
 lado E



Área de adquisición



Espectro de Rayos-X



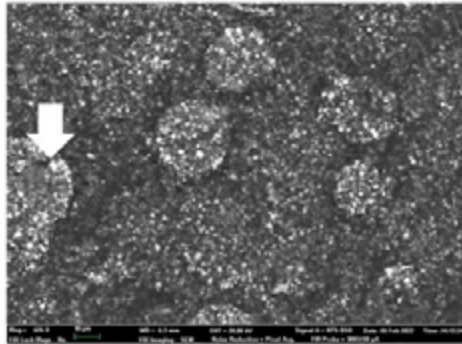
Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
O	33,6		65,77		
Mg	3,24	0,84	4,17	5,36	1,4
Si	7,77	0,9	8,66	16,61	1,92
S	11,71	0,96	11,44	29,25	2,4
Ba	43,69	2,02	9,96	48,77	2,26
Total:	100		100	100	

**Ficha MIK-2.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones secundarios de la superficie de la muestra; 3) espectro de rayos X adquirido en el área encuadrada en la imagen (1,1x1,1) mm y 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

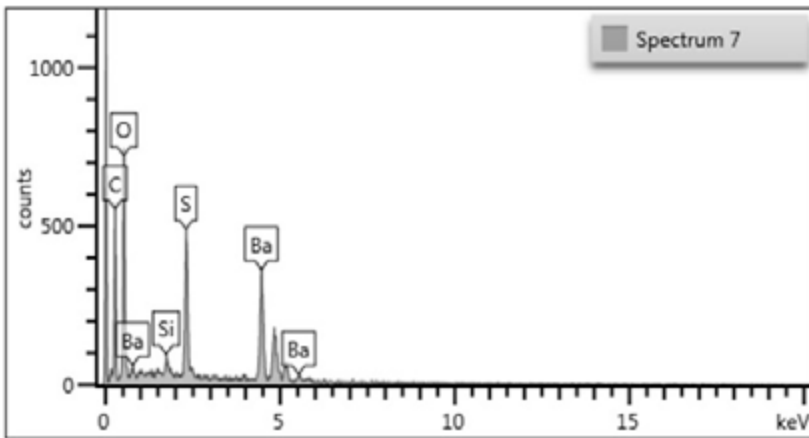
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Punto de adquisición



Espectro de Rayos-X



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
O	29,47		67,24		
Si	1,48	0,24	1,92	3,17	0,51
S	14,3	0,4	16,28	35,71	1,01
Ba	54,75	0,72	14,55	61,13	0,81
Total:	100		100	100	<b>S/Ba = 1,1189</b>

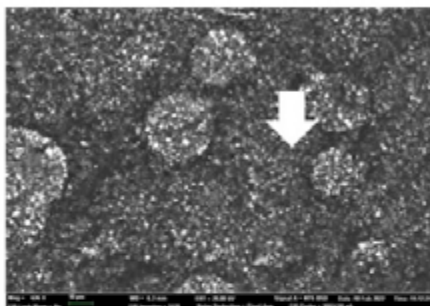
**Ficha MIK-2.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.



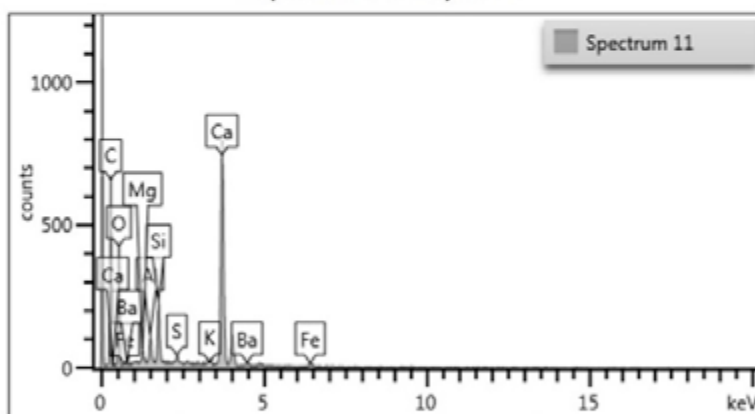
Muestra: pintura negra  
 Ref: MIK-2  
 Punto de muestreo:  
 lado E



Punto de  
 adquisición



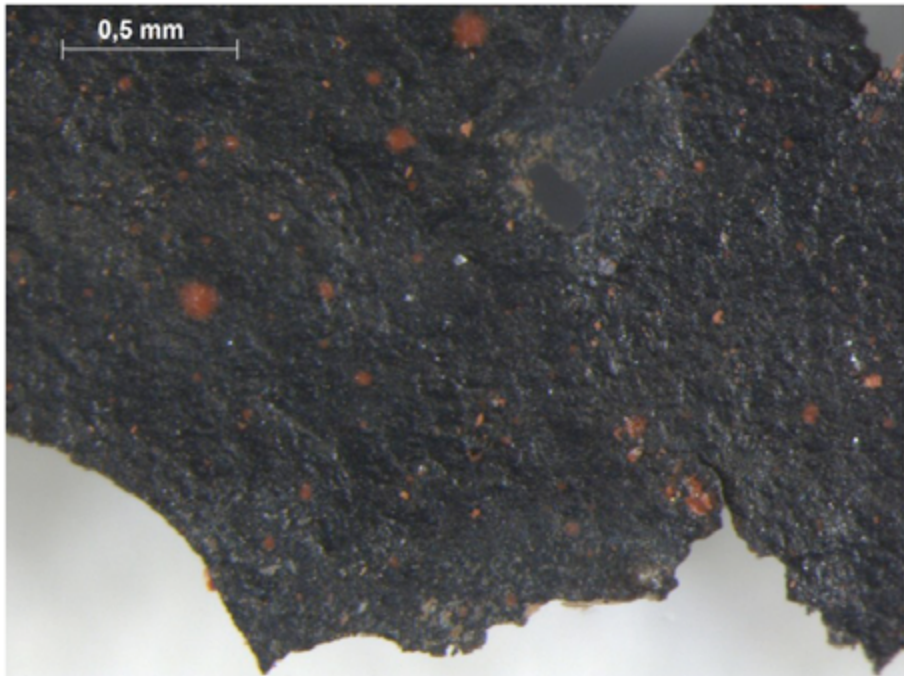
Espectro de Rayos-X



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
O	34,13		55,04		
Mg	1,39	0,27	1,48	2,31	0,44
Al	3,57	0,29	3,42	6,75	0,54
Si	7,68	0,34	7,06	16,44	0,73
S	1,02	0,2	0,82	2,55	0,49
K	0,99	0,2	0,65	1,19	0,24
Ca	46,58	0,74	29,99	65,17	1,03
Fe	2,43	0,4	1,12	3,12	0,52
Ba	2,21	0,67	0,41	2,46	0,75
Total:	100		100	100	

**Ficha MIK-2.5:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
lado E



**Ficha MIK-6.1.** Imagen al microscopio óptico de la superficie de la muestra de pintura negra.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
lado E

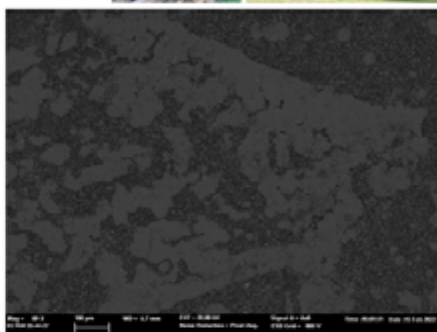


Imagen de la superficie de la pintura obtenida por electrones retrodispersados

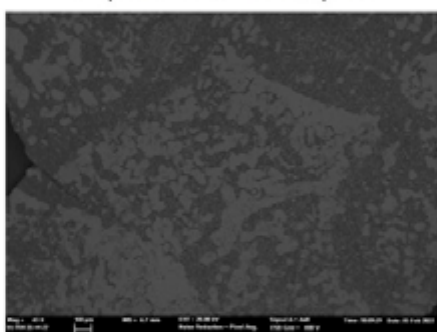


Imagen de la superficie de la pintura obtenida por electrones retrodispersados

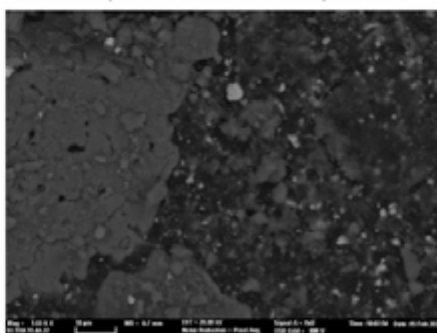


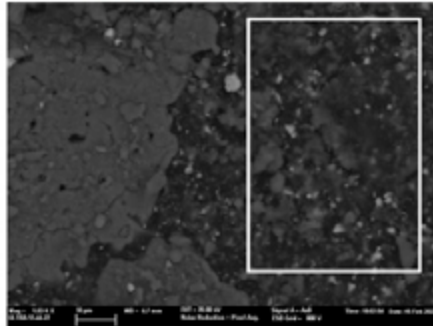
Imagen obtenida por electrones retrodispersados. Detalle de la imagen anterior de la superficie de la pintura.

**Ficha MIK-6.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) a 4) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra.

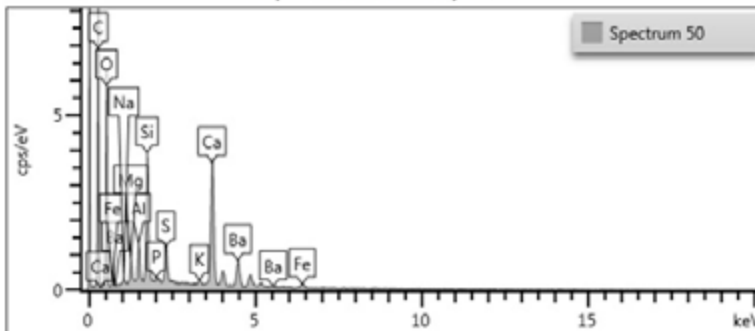
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Área de adquisición



Espectro de Rayos-X



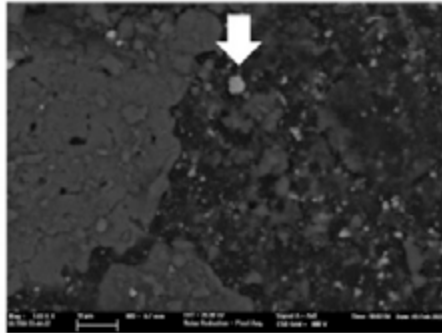
Element	Line Type	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
O		36,79		60,02		
Na	K series	0,64	0,19	0,73	0,86	0,25
Mg	K series	2,66	0,19	2,86	4,42	0,32
Al	K series	4,03	0,2	3,9	7,62	0,37
Si	K series	12,5	0,28	11,61	26,74	0,59
P	K series	0,26	0,14	0,22	0,6	0,33
S	K series	4,13	0,18	3,36	10,31	0,46
K	K series	0,66	0,12	0,44	0,8	0,15
Ca	K series	19,79	0,34	12,89	27,69	0,47
Fe	K series	1,61	0,25	0,75	2,08	0,32
Ba	L series	16,92	0,53	3,22	18,89	0,6
Total:		100		100	100	

**Ficha MIK-6.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra; 3) espectro de rayos X adquirido en el área encuadrada en la imagen (25x40)  $\mu\text{m}$  y 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

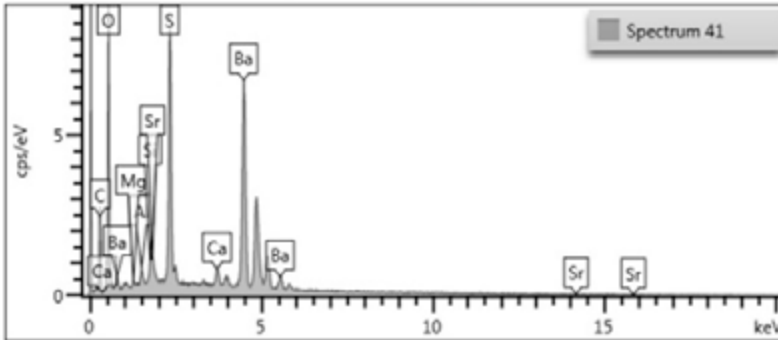
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Punto de adquisición



Spectro de Rayos-X



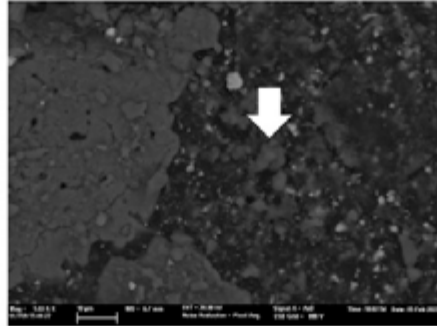
Element	Line Type	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
O		28,39		65,79		
Mg	K series	0,28	0,09	0,42	0,46	0,14
Al	K series	0,88	0,09	1,21	1,66	0,17
Si	K series	1,08	0,11	1,43	2,31	0,24
S	K series	12,78	0,18	14,77	31,91	0,45
Ca	K series	1,15	0,08	1,06	1,61	0,12
Sr	L series	2,27	0,3	0,96	2,69	0,35
Ba	L series	53,16	0,38	14,35	59,36	0,43
Total:		100		100	100	S/Ba = 1,03

**Ficha MIK-6.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

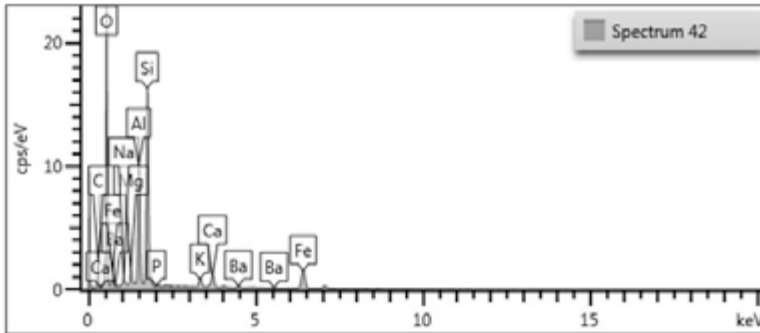
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Punto de adquisición



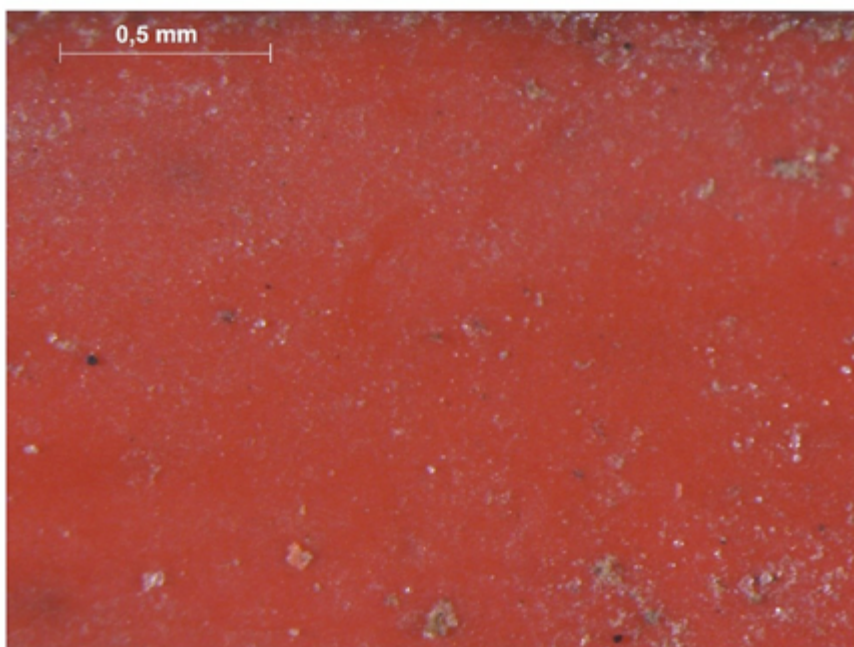
**Espectro de Rayos-X**



Element	Line Type	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
O		44,78		61,62		
Na	K series	0,83	0,15	0,79	1,12	0,2
Mg	K series	1,74	0,13	1,58	2,89	0,21
Al	K series	13,34	0,23	10,89	25,21	0,43
Si	K series	23,69	0,29	18,57	50,67	0,63
P	K series	0,08	0,09	0,05	0,17	0,22
K	K series	1,64	0,11	0,92	1,97	0,13
Ca	K series	2,3	0,13	1,27	3,22	0,18
Fe	K series	10,48	0,31	4,13	13,48	0,39
Ba	L series	1,13	0,24	0,18	1,26	0,27
Total:		100		100	100	

**Ficha MIK-6.5:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

**Muestra:** Pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:**  
lado E



**Ficha MIK-3.1.** Imagen al microscopio óptico de la superficie de la muestra de pintura roja.

**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:**  
 lado E

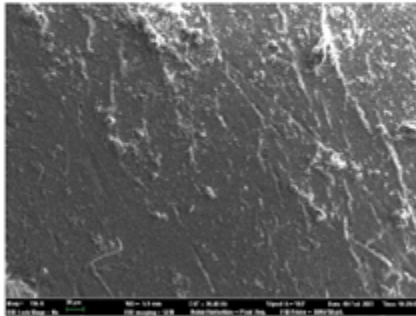


Imagen de la superficie de la pintura obtenida por electrones secundarios

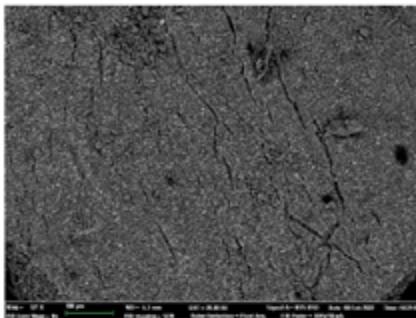


Imagen de la superficie de la pintura obtenida por electrones retrodispersados

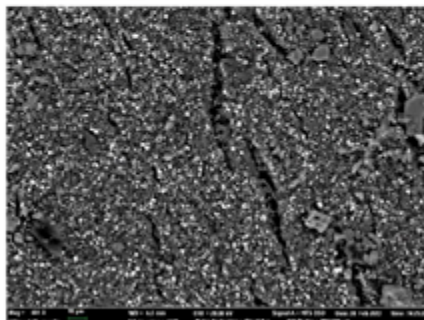


Imagen obtenida por electrones retrodispersados. Detalle de la imagen anterior de la superficie de la pintura.

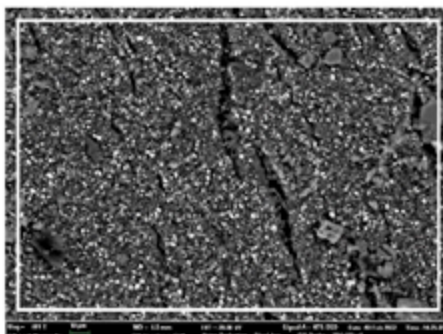
**Ficha MIK-3.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones secundarios de la superficie de la muestra; 3) y 4) imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra.



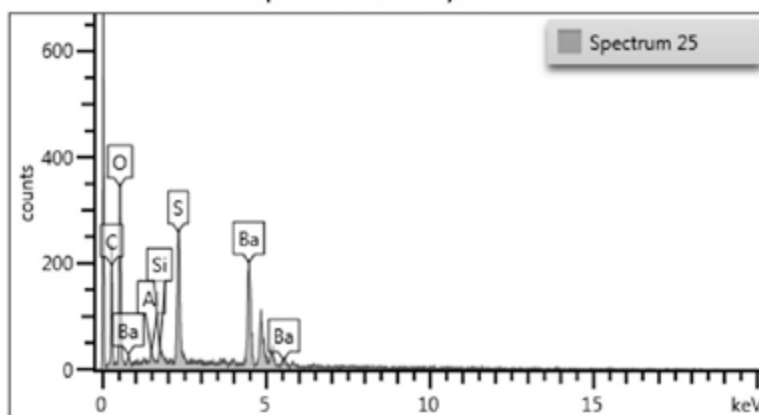
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Área de  
adquisición



**Espectro de Rayos-X**



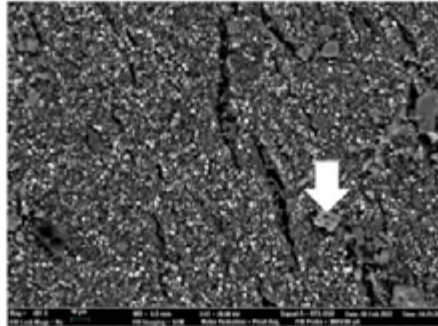
Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
C	16,98	0,81	27,06	62,2	2,98
O	55,6		66,55		
Al	0,37	0,1	0,26	0,69	0,18
Si	0,34	0,09	0,23	0,73	0,19
S	4,74	0,19	2,83	11,84	0,49
Ba	21,97	0,63	3,06	24,53	0,71
Total:	100		100	100	

**Ficha MIK-3.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra; 3) espectro de rayos X adquirido en el área encuadrada en la imagen (210x150)  $\mu\text{m}$  y 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

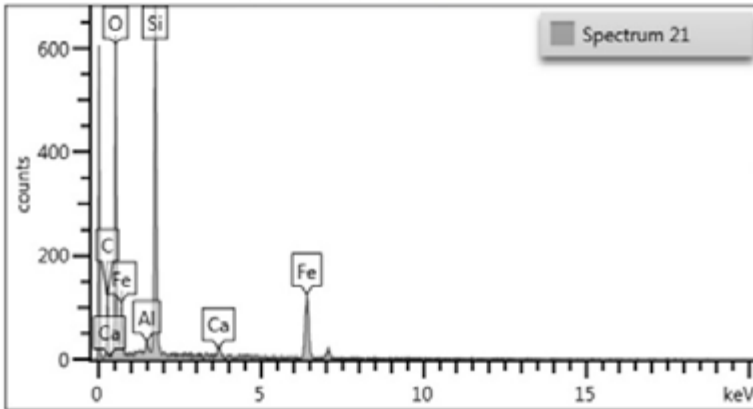
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



**Punto de adquisición**



**Espectro de Rayos-X**



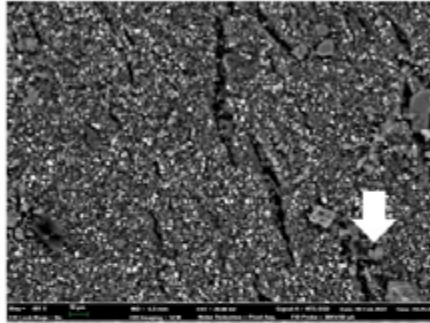
Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
C	15,65	1,06	22,9	57,35	3,9
O	59,45		65,29		
Al	0,37	0,1	0,24	0,69	0,19
Si	12,1	0,38	7,57	25,89	0,81
Ca	0,69	0,1	0,3	0,97	0,14
Fe	11,73	0,48	3,69	15,1	0,61
Total:	100		100	100	

**Ficha MIK-3.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

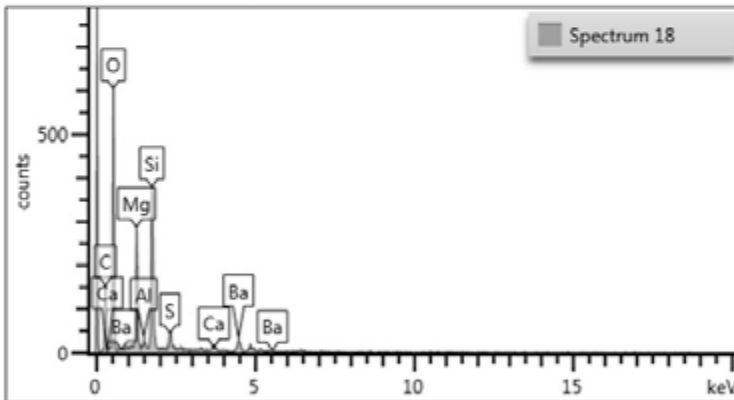
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Punto de adquisición



Espectro de Rayos-X



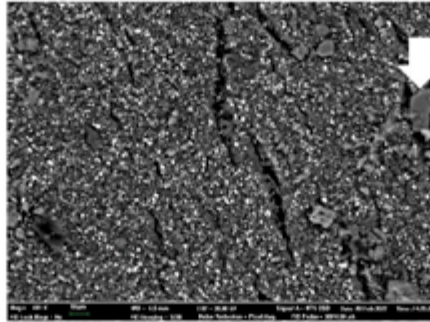
Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
C	18,36	1,12	25,18	67,28	4,12
O	63,35		65,22		
Mg	6,13	0,28	4,16	10,17	0,46
Al	0,36	0,1	0,22	0,69	0,19
Si	7,21	0,28	4,23	15,42	0,6
S	0,89	0,11	0,46	2,23	0,27
Ca	0,34	0,09	0,14	0,47	0,13
Ba	3,36	0,34	0,4	3,75	0,38
Total:	100		100	100	

**Ficha MIK-3.5:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

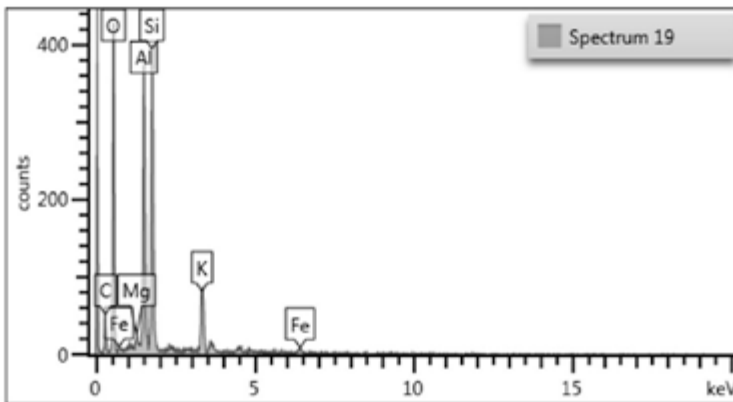
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Punto de adquisición



**Espectro de Rayos-X**



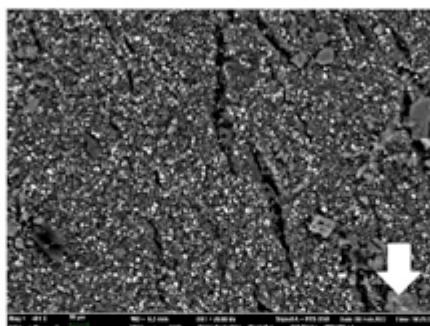
Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
C	12,55	1,68	18,35	46	6,15
O	58,62		64,33		
Mg	0,59	0,14	0,42	0,97	0,23
Al	10,77	0,49	7,01	20,35	0,93
Si	12,37	0,55	7,73	26,46	1,18
K	4,13	0,27	1,86	4,98	0,32
Fe	0,96	0,22	0,3	1,24	0,28
Total:	100		100	100	

**Ficha MIK-3.6:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

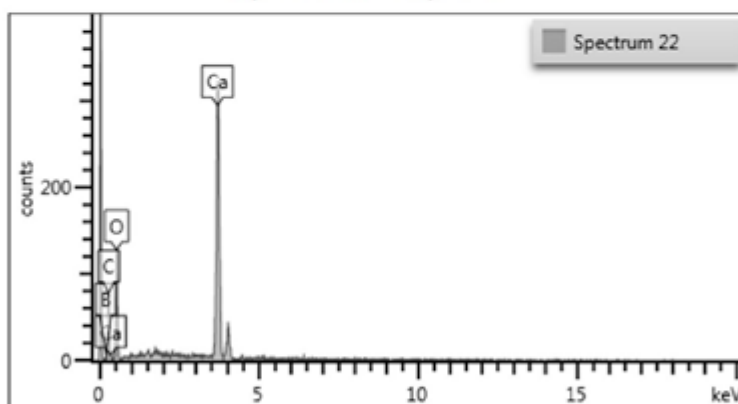
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



**Punto de adquisición**



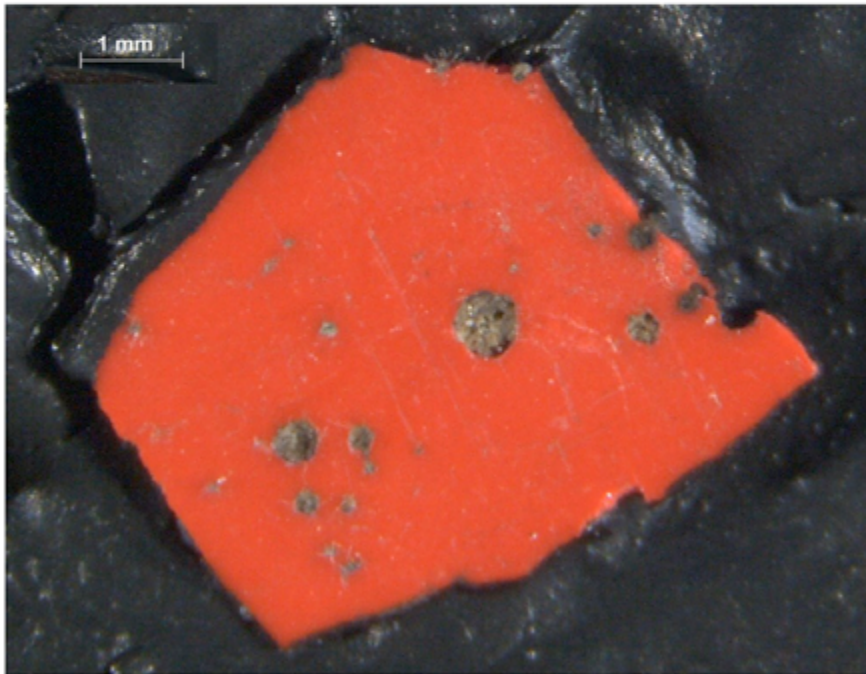
**Espectro de Rayos-X**



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
B	7,33	1,94	11,19	23,6	6,25
C	13,77	1,31	18,92	50,46	4,79
O	60,36		62,26		
Ca	18,54	0,92	7,63	25,94	1,29
Total:	100		100	100	

**Ficha MIK-3.7:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

**Muestra:** Pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
lado E



**Ficha MIK-5.1.** Imagen al microscopio óptico de la superficie de la muestra de pintura roja.

**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E

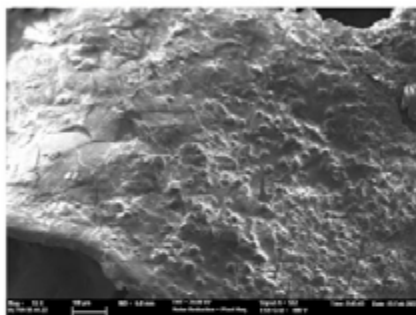


Imagen de la superficie de la pintura  
 obtenida por electrones secundarios

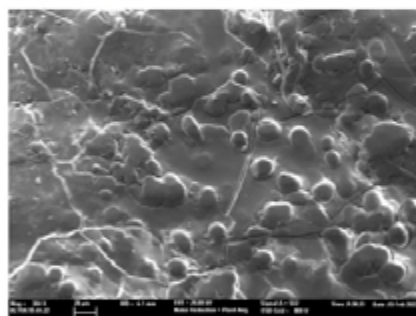


Imagen de la superficie de la pintura  
 obtenida por electrones secundarios

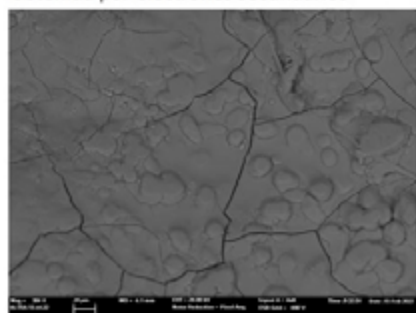
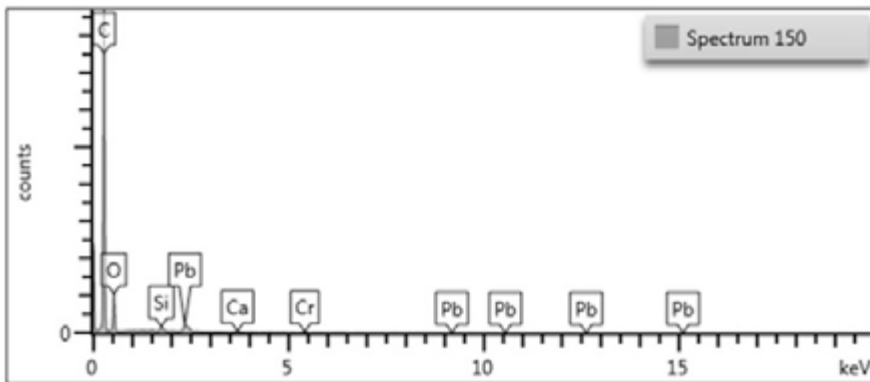
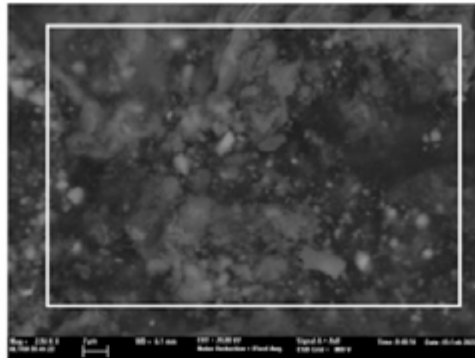


Imagen de la superficie de la pintura  
 obtenida por electrones retrodispersados

**Ficha MIK-5.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) y 3) Imagen en electrones secundarios de la superficie de la muestra; 4) imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra.

**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	WT%	WT% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	19,21			59,6%		
Si	9,89	0,84		17,44%SiO2	21,0%	1,8
Ca	3,11	0,83		3,89%CaO	4,36%	1,17
Cr	3,91	0,89		3,77%Cr2O3	5,71%	1,3
Pb	63,9	2,07		15,37%PbO	68,84%	2,23
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-5.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra; 3) espectro de rayos X adquirido en el área encuadrada en la imagen (30x20)  $\mu\text{m}$  y 4) Análisis elemental obtenido en área analizada.



**Muestra:** costras minerales  
**Ref:** MIK-8  
**Punto de muestreo:** lado E

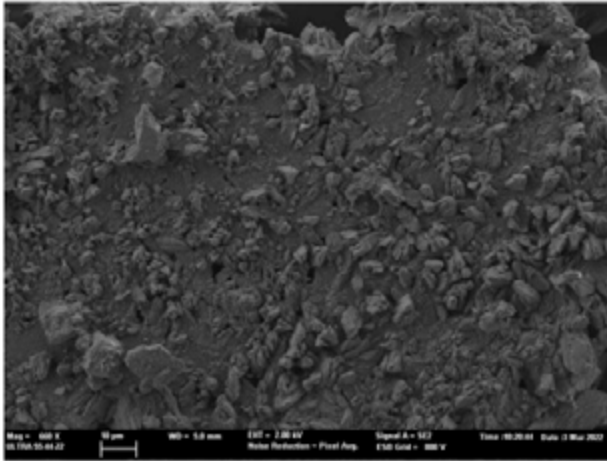


Imagen de electrones secundarios de las costras presentes en la superficie de la pintura

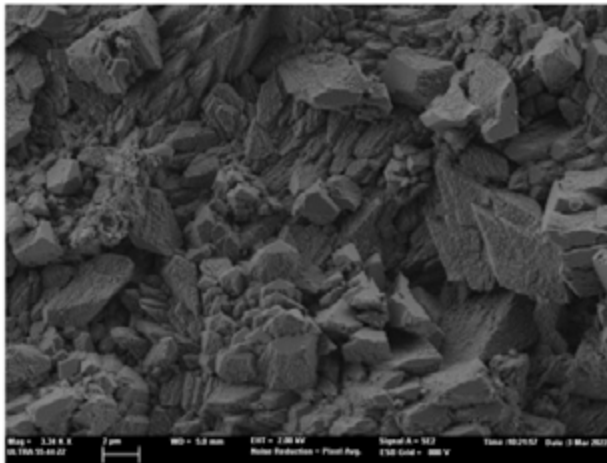


Imagen de electrones secundarios de las costras presentes en la superficie de la pintura: detalle

**Ficha MIK-8.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) y 3) Imagen en electrones secundarios de la superficie de la muestra.

**Muestra:** costras minerales  
**Ref:** MIK-8  
**Punto de muestreo:**  
 lado E

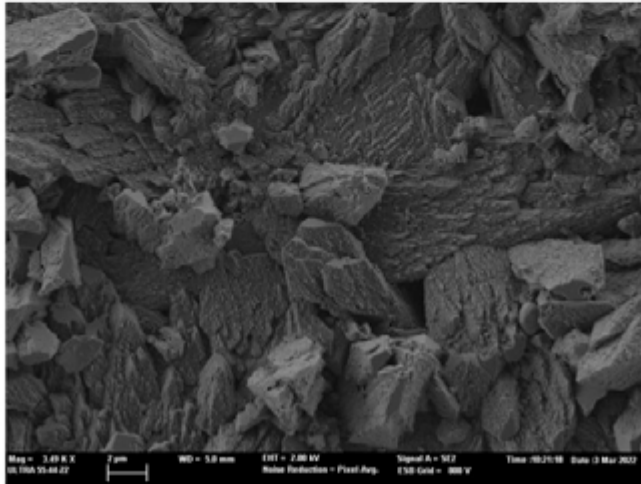


Imagen de electrones secundarios de las costras presentes en la superficie de la pintura. Detalle de los granos criptocristalinos.

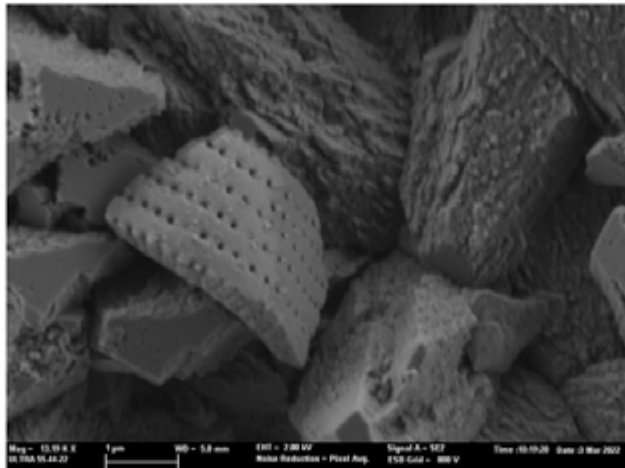


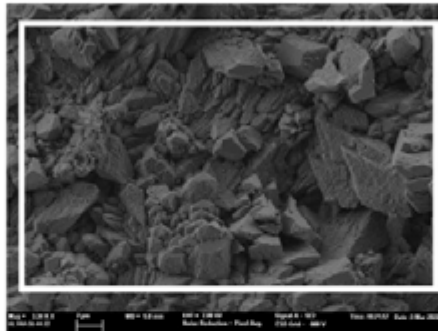
Imagen de electrones secundarios de las costras presentes en la superficie de la pintura. Detalle de un fragmento de diatomea.

**Ficha MIK-8.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) y 3) Imagen en electrones secundarios de la superficie de la muestra.

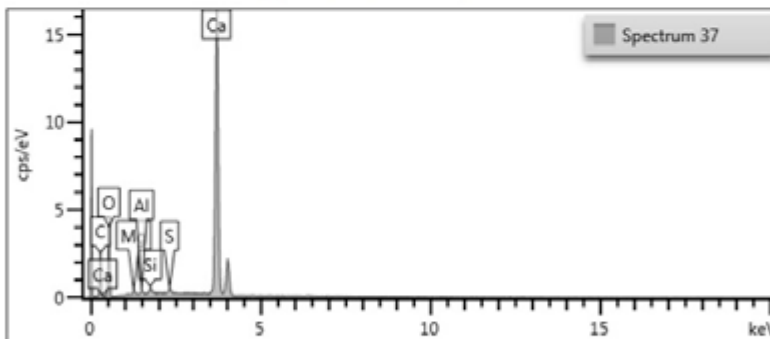
**Muestra:** costras minerales  
**Ref:** MIK-8  
**Punto de muestreo:** lado E



Área de adquisición



Espectro de Rayos-X



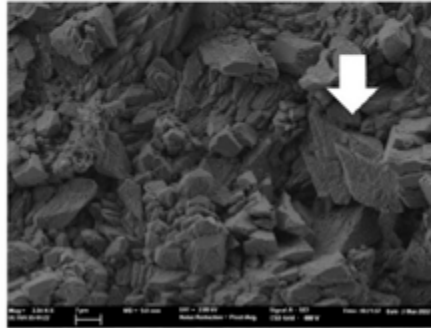
Element	Line Type	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
O		29,79		51,09		
Mg	K series	0,79	0,11	0,9	1,32	0,18
Al	K series	0,45	0,09	0,46	0,85	0,16
Si	K series	0,75	0,09	0,73	1,6	0,19
S	K series	0,71	0,09	0,61	1,78	0,22
Ca	K series	67,51	0,32	46,22	94,46	0,44
Total:		100		100	100	

**Ficha MIK-8.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la superficie de la muestra; 3) espectro de rayos X adquirido en el área encuadrada en la imagen (60x40)  $\mu\text{m}$  y 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

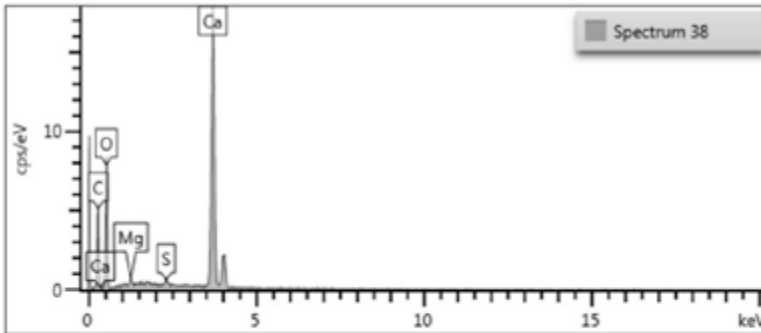
**Muestra:** costras minerales  
**Ref:** MIK-8  
**Punto de muestreo:** lado E



Área de adquisición



Espectro de Rayos-X

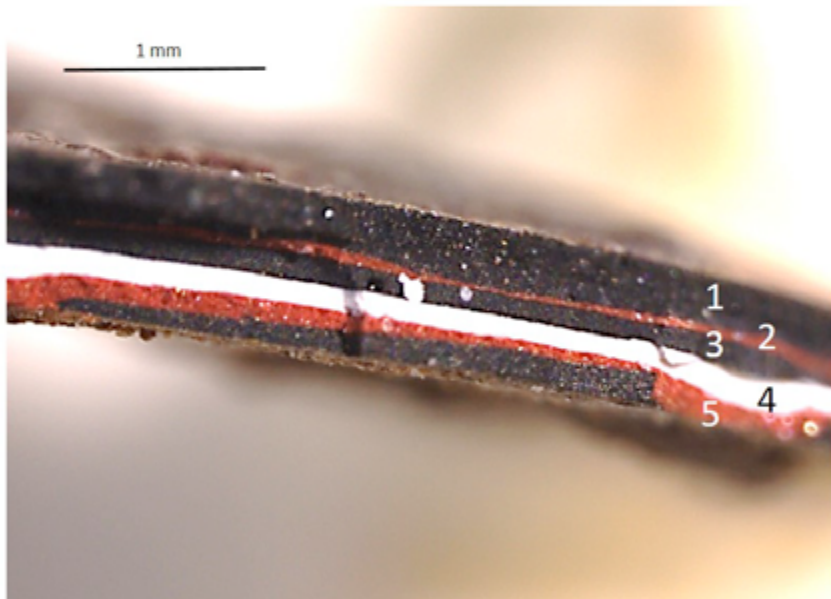


Element	Line Type	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
O		29,43		50,73		
Mg	K series	1,25	0,26	1,41	2,07	0,44
S	K series	0,85	0,18	0,73	2,13	0,46
Ca	K series	68,48	0,59	47,12	95,81	0,83
Total:		100		100	100	

**Ficha MIK-8.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones secundarios de la superficie de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

### 8.2.1. Análisis de la pintura de recubrimiento en sección transversal

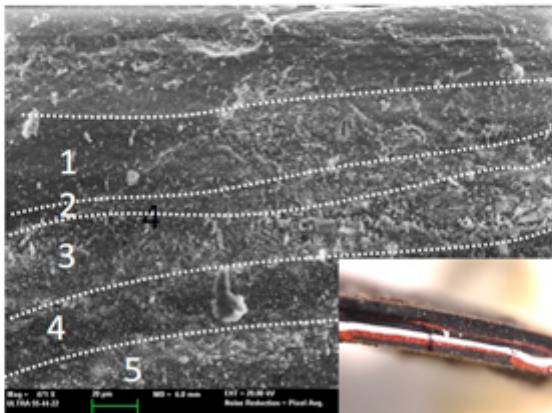
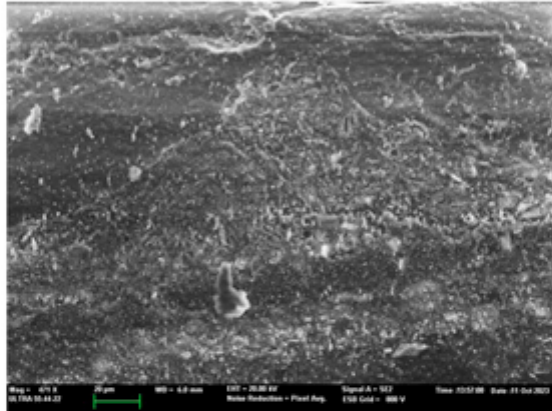
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
lado E



Sección transversal de la muestra de pintura negra. Capa 1: pintura negra (300  $\mu\text{m}$ ); ; capa 2: imprimación naranja (40  $\mu\text{m}$ ); capa 3: pintura negra (100  $\mu\text{m}$ ); capa 4: imprimación blanca (140  $\mu\text{m}$ ); capa 5: imprimación roja (60  $\mu\text{m}$ ).

**Ficha MIK-CS-2.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen con iluminación incidente de la sección transversal.

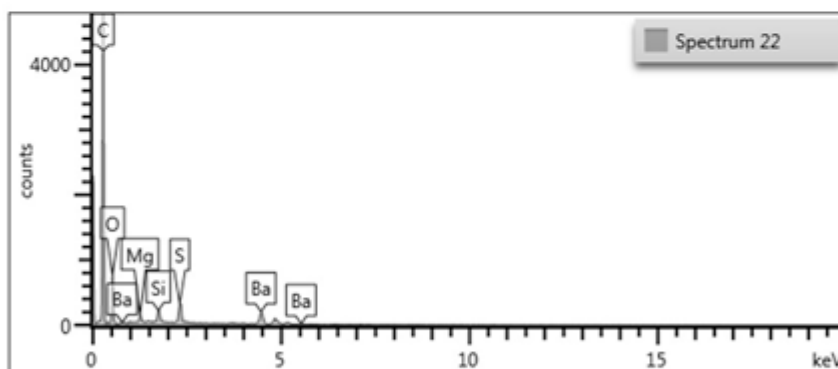
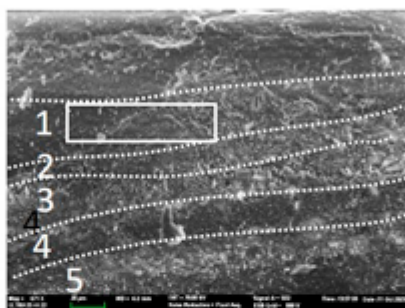
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Sección transversal de la muestra de pintura negra. Capa 1: pintura negra; capa 2: imprimación naranja; capa 3: pintura negra; capa 4: imprimación blanca; capa 5: imprimación roja

**Ficha MIK-CS-2.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones secundarios de la sección transversal de la muestra; 3) imagen en electrones secundarios de la sección transversal de la muestra con indicación de la distribución de capas o estratos.

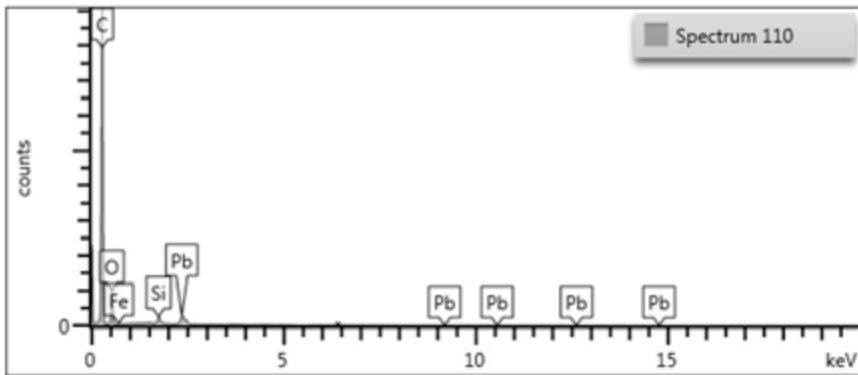
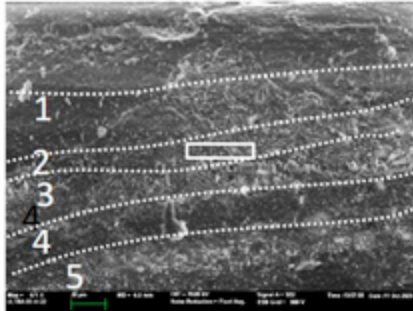
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	35,11		65,64			
Mg	5,2	0,46	6,37	MgO	8,63	0,76
Si	7,13	0,42	7,55	SiO2	15,25	0,85
S	12,79	0,47	11,87	SO3	31,95	1,18
Ba	39,57	0,94	8,57	BaO	44,18	1,05
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-2.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones secundarios de la sección transversal de la muestra; 3) espectro de rayos X adquirido en el área encuadrada en la imagen (80x20)  $\mu\text{m}$  y 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E

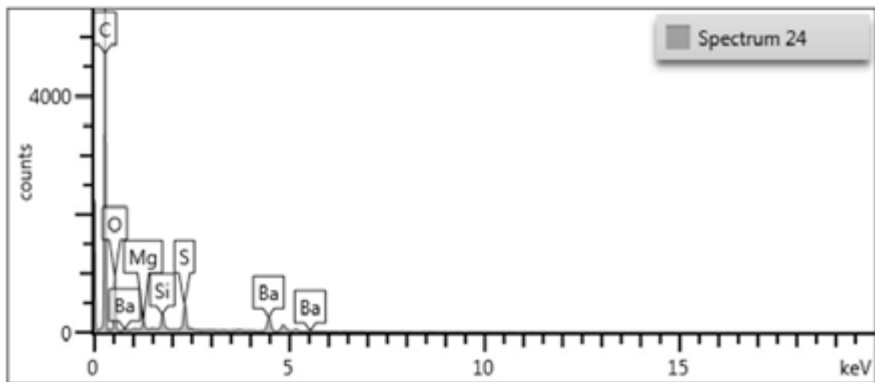
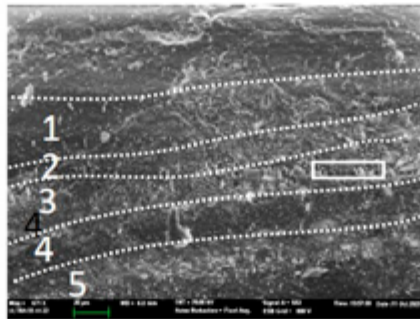


Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	39,66		59,41			
Na	1,15	0,23	1,24	Na <sub>2</sub> O	1,61	0,31
Mg	14,52	0,26	14,31	MgO	24,08	0,43
Si	15,47	0,25	19,25	SiO <sub>2</sub>	33,1	0,53
P	1,83	0,11	1,42	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,19	0,3
S	2,75	0,13	2,06	SO <sub>3</sub>	6,87	0,32
Ca	3,84	0,14	2,21	CaO	5,37	0,3
Fe	6,73	0,26	2,85	FeO	8,65	0,33
Zn	3,81	0,33	1,42	ZnO	4,74	0,41
Ala	10,5	0,36	1,78	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,35	0,4
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-2.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones secundarios de la sección transversal de la muestra con el área donde se adquiere el espectro de rayos X señalada (40x10) μm; 3) espectro de rayos X adquirido en el área indicada en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.



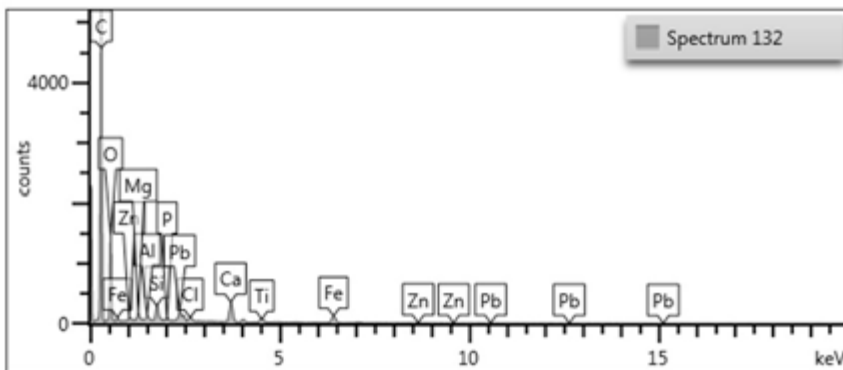
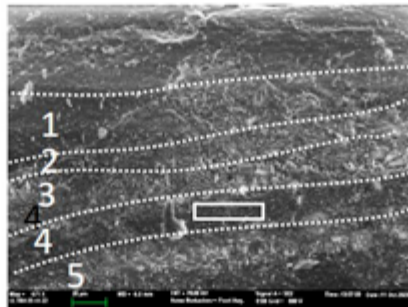
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	35,15		65,8			
Mg	4,85	0,4	5,98	MgO	8,05	0,66
Si	6,9	0,38	7,36	SiO <sub>2</sub>	14,77	0,77
S	12,97	0,41	12,17	SO <sub>3</sub>	32,4	1,04
Ba	40,12	0,82	8,75	BaO	44,75	0,91
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-2.5:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra con el área donde se adquiere el espectro de rayos X señalada (40x10) μm; 3) espectro de rayos X adquirido en el área indicada en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

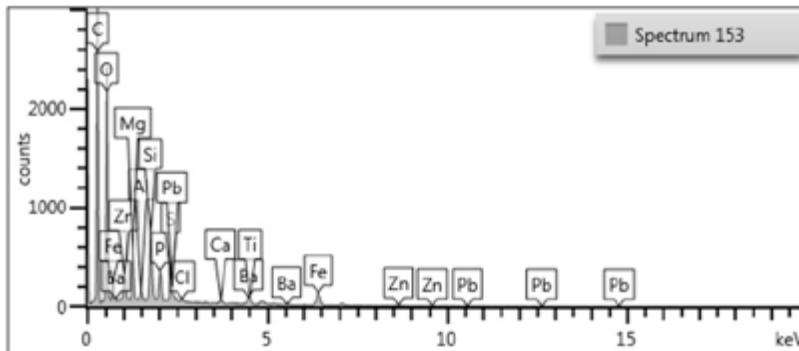
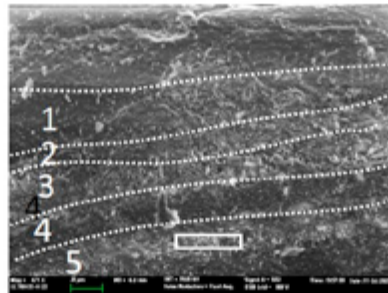
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	WT%	WT% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	29,41		55,51			
Mg	3,64	0,38	4,52	MgO	6,04	0,63
Al	2,22	0,3	2,48	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,19	0,57
Si	7,14	0,36	7,68	SiO <sub>2</sub>	15,27	0,77
P	1,01	0,25	0,99	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,32	0,57
Cl	2,45	0,29	2,08		0	0,29
Ca	17,02	0,54	12,82	CaO	23,81	0,76
Ti	4,29	0,38	2,7	TiO <sub>2</sub>	7,16	0,64
Fe	15,61	0,67	8,45	FeO	20,11	0,86
Zn	0,82	0,53	0,38	ZnO	1,03	0,66
Pb	16,38	1,24	2,39	PbO	17,64	1,33
Total:	100		100		97,55	

**Ficha MIK-CS-2.6:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra con el área donde se adquiere el espectro de rayos X señalada (40x10) μm; 3) espectro de rayos X adquirido en el área indicada en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

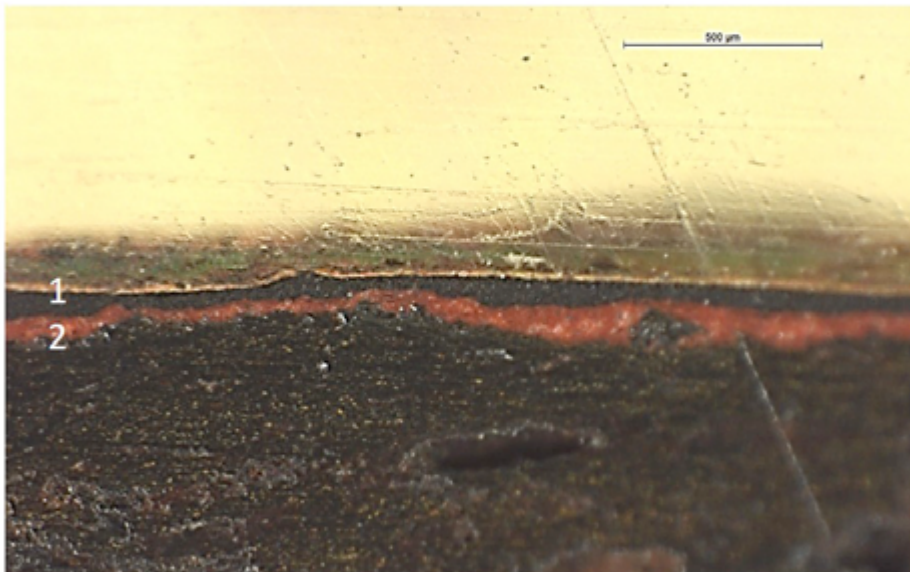
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	40,67		62,14			
Mg	9,57	0,35	9,62	MgO	15,87	0,58
Al	1,8	0,3	1,45	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,02	0,38
Si	11,25	0,34	9,8	SiO <sub>2</sub>	24,09	0,72
P	6,5	0,28	5,13	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14,9	0,65
S	3,94	0,25	3,02	SO <sub>3</sub>	9,84	0,62
Cl	0,75	0,17	0,52		0	0,17
Ca	1,13	0,16	0,69	CaO	1,56	0,22
Ti	1,1	0,28	0,56	TiO <sub>2</sub>	1,84	0,46
Fe	10,3	0,44	4,53	FeO	13,25	0,57
Zn	2,14	0,43	0,82	ZnO	2,66	0,51
Ba	7,87	0,62	1,4	BaO	8,79	0,69
Pb	3,19	1,03	0,37	PbO	3,4	1,11
Total:	100		100		99,25	

**Ficha MIK-CS-2.7:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra con el área donde se adquiere el espectro de rayos X señalada (40x10) μm; 3) espectro de rayos X adquirido en el área indicada en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

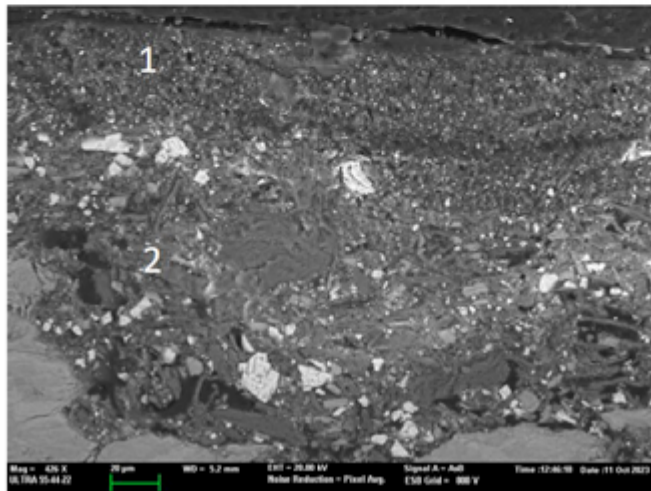
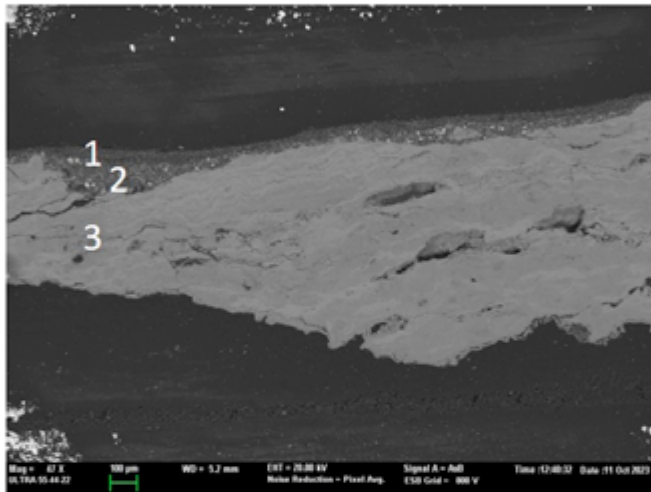
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
lado E



Sección transversal de la muestra de pintura negra. Capa 1: pintura negra (60  $\mu\text{m}$ ) en la superficie se observa una fina capa de partículas de polvo y suciedad.; capa 2: imprimación naranja (100  $\mu\text{m}$ ).

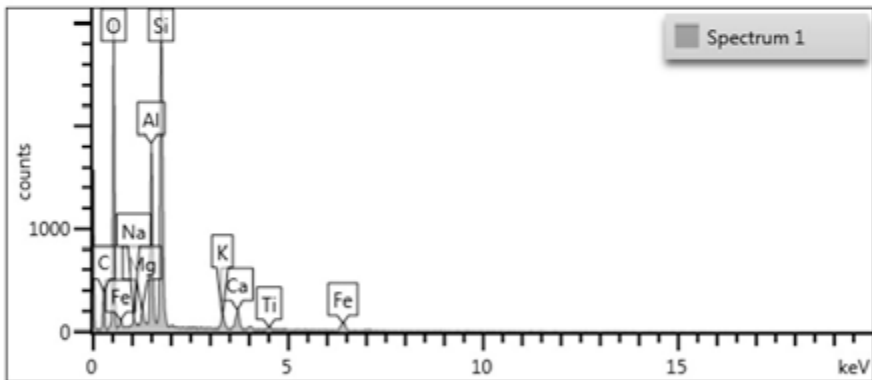
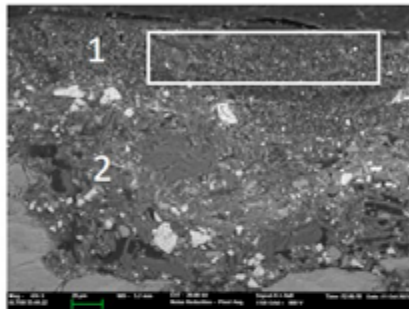
**Ficha MIK-CS-6.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen con iluminación incidente de la sección transversal.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



**Ficha MIK-CS-6.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra con indicación de la distribución de estratos; 3) Ampliación de la anterior en las capas pictóricas.

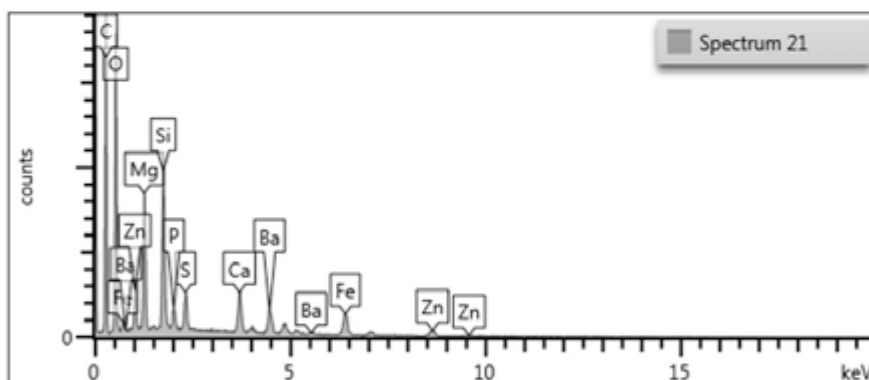
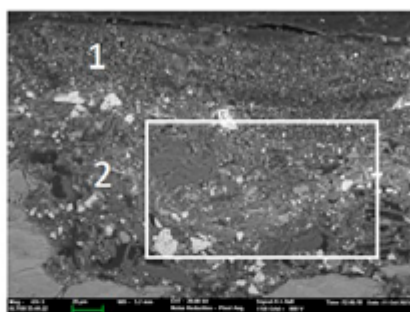
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma	Standard Label
O	47.71		62.66				
Na	0.81	0.13	0.74	Na <sub>2</sub> O	1.09	0.16	Albite
Mg	1.33	0.1	1.17	MgO	2.24	0.17	MgO
Al	13.75	0.2	10.71	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.98	0.98	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Si	27.56	0.27	20.62	SiO <sub>2</sub>	58.97	0.57	SiO <sub>2</sub>
K	1.83	0.11	0.98	K <sub>2</sub> O	2.21	0.13	KBr
Ca	3.14	0.13	1.63	CaO	4.39	0.18	Wollastonite
Ti	0.46	0.09	0.37	TiO <sub>2</sub>	0.73	0.15	Ti
Fe	3.38	0.19	1.27	FeO	4.35	0.25	Fe
Total	100		100		100		

**Ficha MIK-CS-6.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra; 3) espectro de rayos X adquirido en el área encuadrada en la imagen (150x30) μm y 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

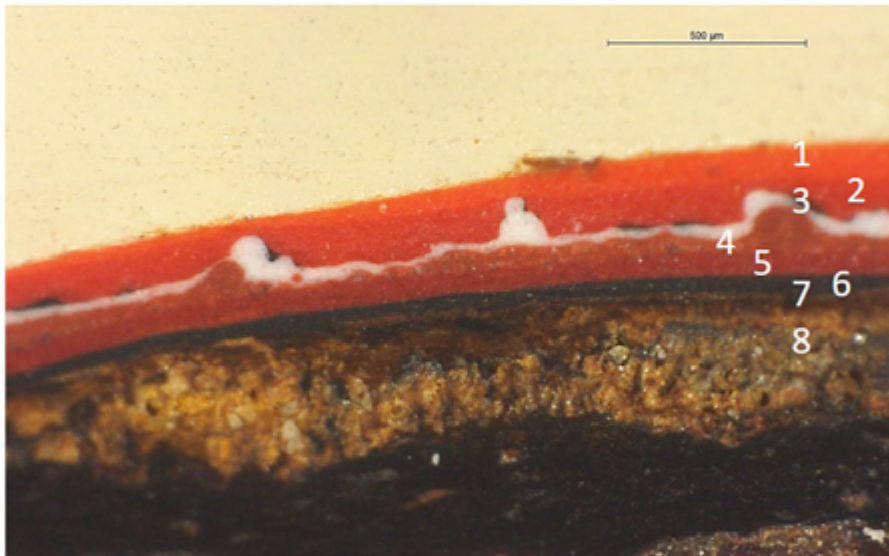
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	38,36		59,74			
Mg	13,25	0,31	13,58	MgO	21,97	0,51
Si	13,06	0,28	11,59	SiO2	27,94	0,6
P	2,01	0,17	1,62	P2O5	4,61	0,38
S	3,52	0,17	2,74	SO3	8,79	0,43
Ca	5,14	0,19	3,2	CaO	7,19	0,27
Fe	7,94	0,33	3,54	FeO	10,21	0,43
Zn	4,86	0,44	1,85	ZnO	6,05	0,55
Ba	11,86	0,47	2,15	BaO	13,24	0,52
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-6.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra; 3) espectro de rayos X adquirido en el área encuadrada en la imagen (150x90)  $\mu\text{m}$  y 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E

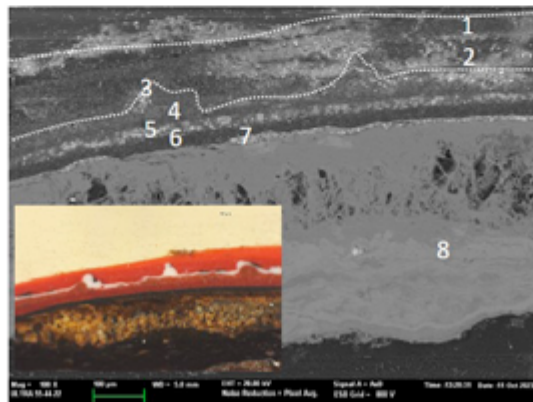
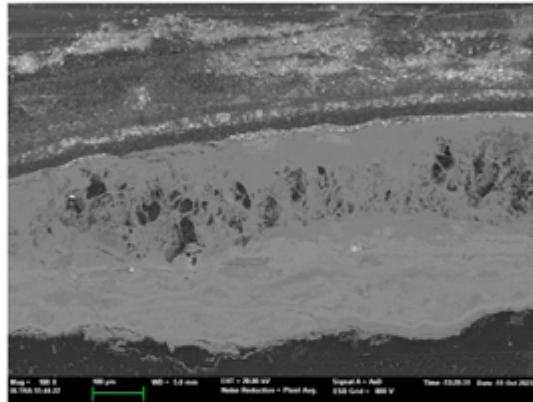


Sección transversal de la muestra de pintura roja. Capa 1: pintura roja-anaranjada (40  $\mu\text{m}$ ); capa 2: pintura roja (160  $\mu\text{m}$ ); capa 3: imprimación blanca (20  $\mu\text{m}$ ); capa 4: imprimación naranja (80  $\mu\text{m}$ ); capa 5: pintura roja (65  $\mu\text{m}$ ); capa 6: imprimación translúcida (35  $\mu\text{m}$ ); 7: capa imprimación rojo-anaranjada (10  $\mu\text{m}$ ); 8: superficie de acero.

**Ficha MIK-CS-5.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen con iluminación incidente de la sección transversal.

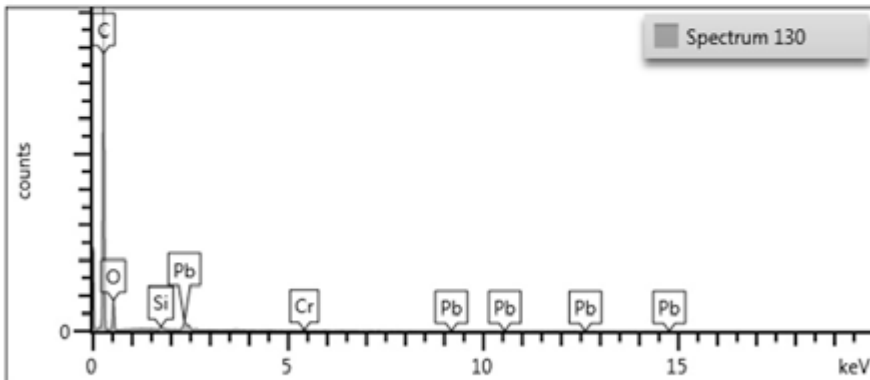
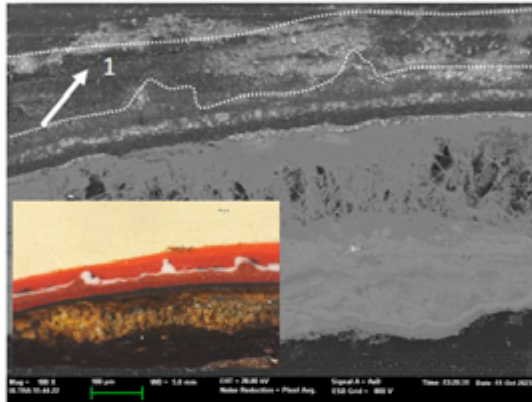


**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



**Ficha MIK-CS-5.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra; 3) imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal con indicación de la distribución de capas o estratos.

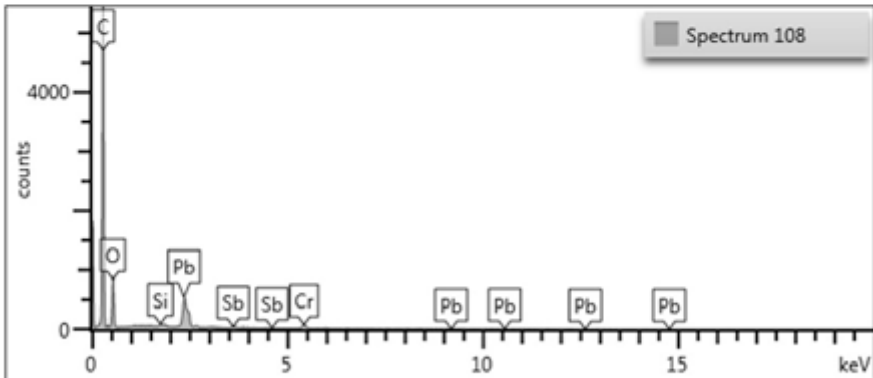
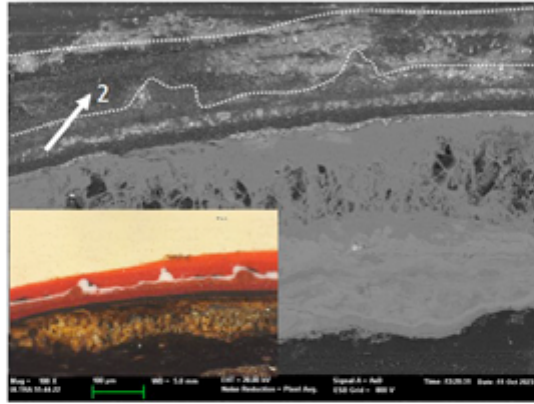
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	15.28		58.14			
Si	5.4	0.69	11.71	SiO2	11.56	1.47
Cr	7.8	0.97	9.13	Cr2O3	11.4	1.47
Pb	71.53	1.84	21.02	PbO	77.05	1.98
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-5.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

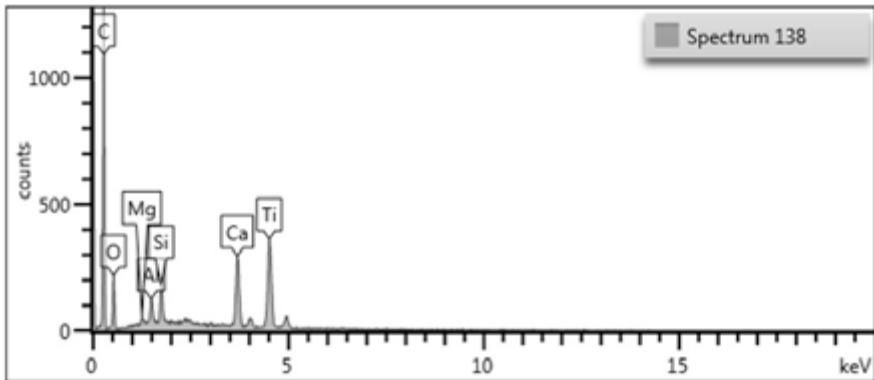
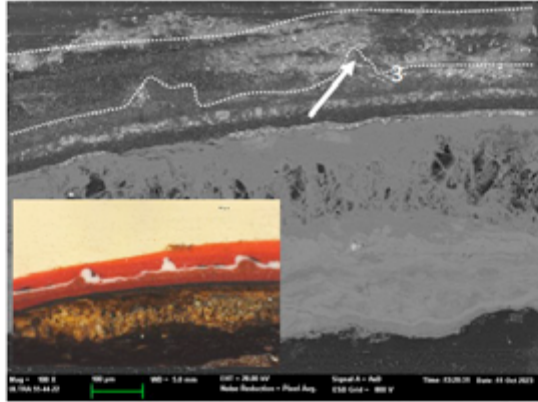
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	12,34		55,66			
Si	1,39	0,33	3,58	SiO <sub>2</sub>	2,98	0,72
Cr	9,25	0,69	12,84	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,52	1
Sb	4,47	1,01	2,65	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,35	1,2
Pb	72,55	1,43	25,27	PbO	78,15	1,55
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-5.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

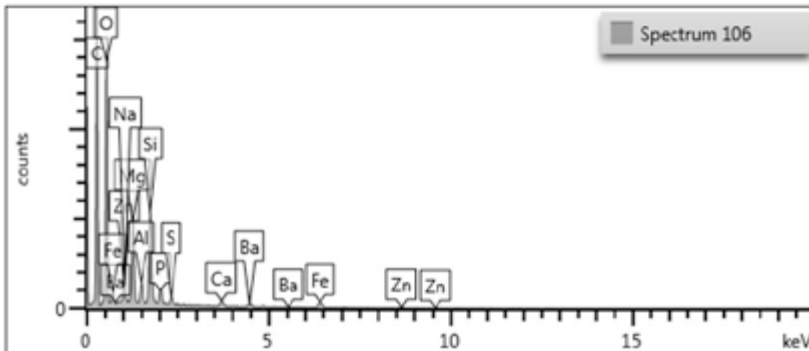
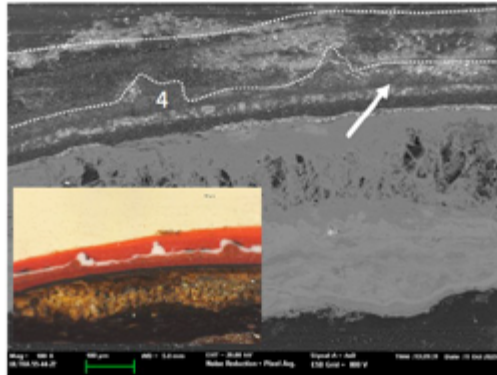
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	WT%	WT% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	39,34		62,13			
Mg	1,34	0,3	1,39	MgO	2,22	0,5
Al	3,58	0,33	3,36	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,77	0,62
Si	5,38	0,33	4,84	SiO <sub>2</sub>	11,51	0,73
Ca	16,72	0,48	10,54	CaO	23,4	0,68
Ti	33,64	0,7	17,74	TiO <sub>2</sub>	56,11	1,16
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-5.5:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

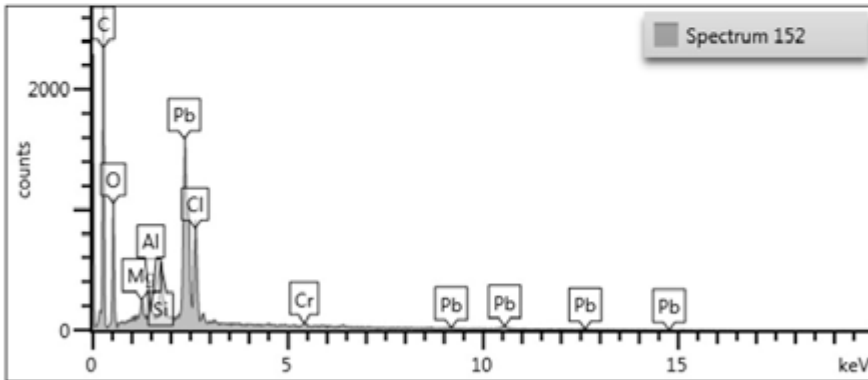
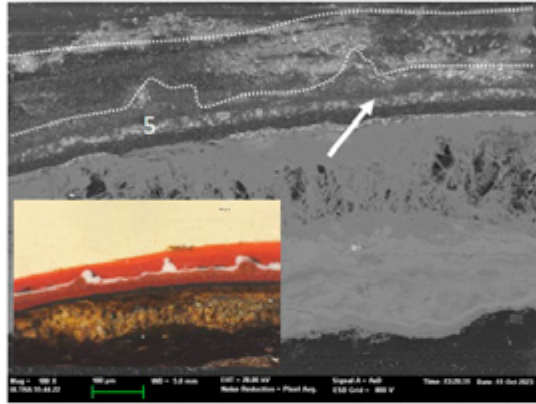
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	44,72		60,54			
Na	1,14	0,35	1,07	Na <sub>2</sub> O	3,54	0,47
Mg	15,45	0,35	13,81	MgO	25,69	0,58
Al	4,17	0,23	3,35	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,88	0,44
Si	17,78	0,36	13,71	SiO <sub>2</sub>	38,04	0,77
P	3,8	0,23	2,66	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8,71	0,53
S	3,66	0,17	1,12	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,13	0,43
Ca	3,58	0,16	0,85	CaO	2,7	0,22
Fe	4,85	0,12	1,83	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,24	0,41
Zn	3,4	0,12	0,46	ZnO	3,74	0,39
Ba	3,42	0,41	0,54	BaO	3,81	0,45
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-5.6:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

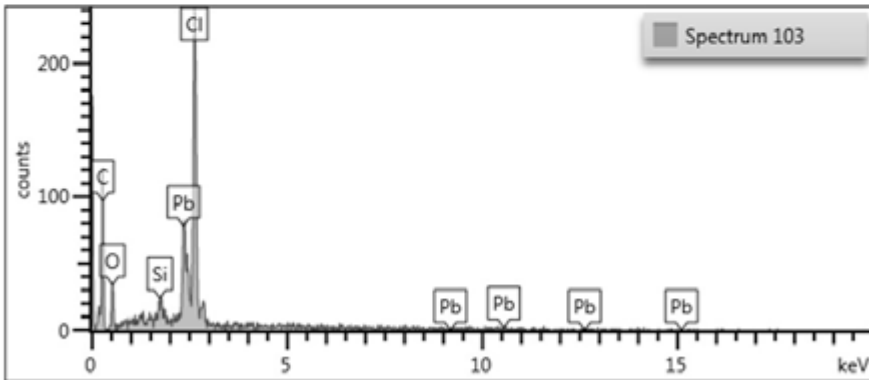
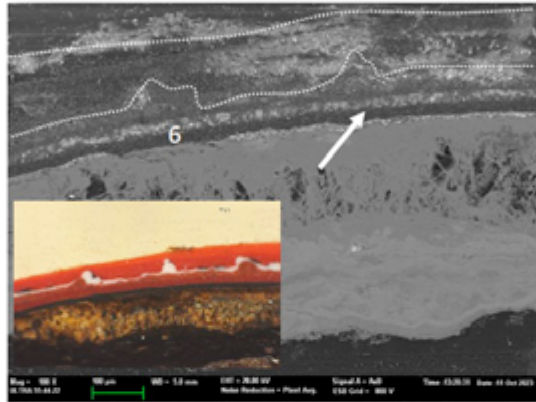
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	12.55		42.76			
Mg	2.05	0.18	4.69	MgO	3.47	0.3
Al	0.55	0.14	1.11	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.04	0.26
Si	4.64	0.19	9.02	SiO <sub>2</sub>	9.94	0.4
Cl	16.02	0.41	24.64	Cl		0.41
Cr	1.13	0.21	1.19	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.65	0.31
Pb	63.02	0.68	16.59	PbO	67.85	0.74
Total:	100		100		83.98	

**Ficha MIK-CS-5.7:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

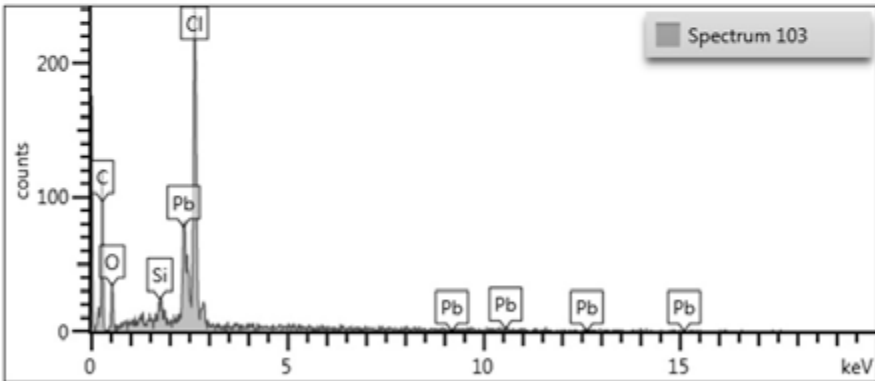
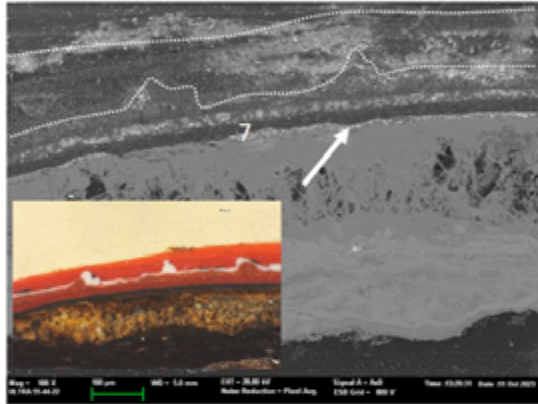
**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	At% Sigma	Atomic % Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma	Standard Label
O	5.16		15.66			
Si	1.77	0.47	3.06	SiO <sub>2</sub>	3.79	1SiO <sub>2</sub>
Cl	52.39	2.39	71.75			2.39NaCl
Pb	40.69	2.56	9.54	PbO	43.83	2.76PbTe
Total:	100		100			

**Ficha MIK-CS-5.8:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.

**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-5  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



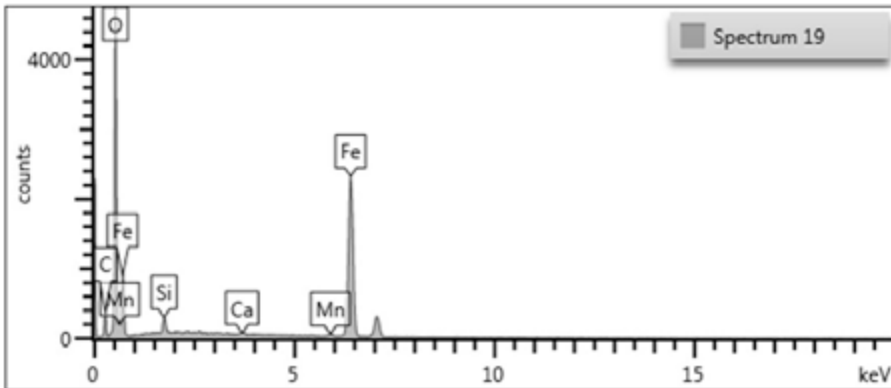
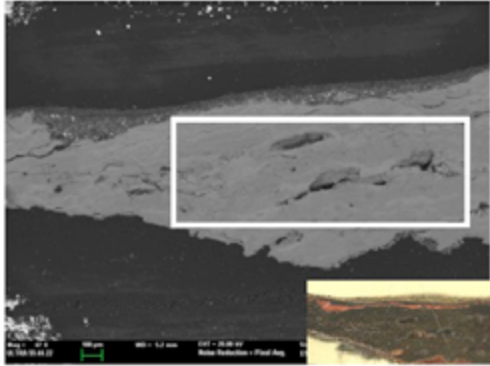
Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	5,16		15,66			
Si	1,77	0,47	3,06	SiO2	3,79	1
Cl	52,39	2,39	71,75		0	2,39
Pb	40,69	2,56	9,54	PbO	43,83	2,76
Total:	100		100		47,61	

**Ficha MIK-CS-5.9:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra. La flecha señala el punto donde se adquiere el espectro de rayos X; 3) espectro de rayos X adquirido en el punto indicado en la imagen 4) Análisis elemental obtenido en el punto analizado.



### 8.2.3. Análisis de la corrosión del acero en sección transversal

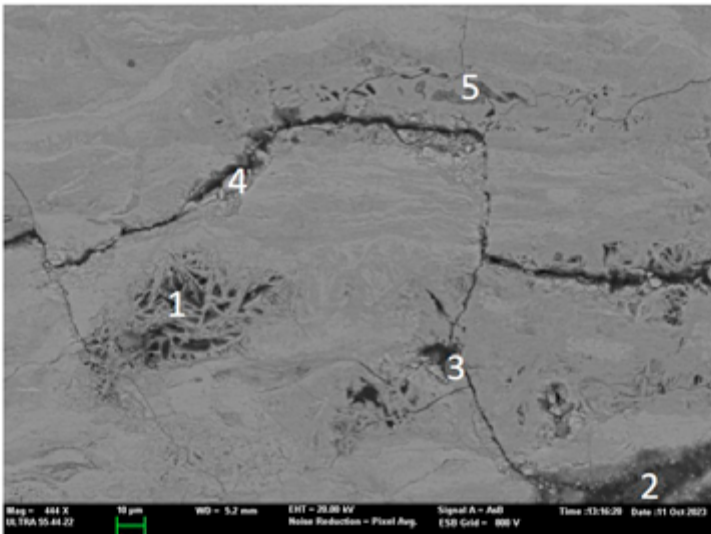
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	23,57		51,15			
Si	1,92	0,11	2,38	SiO <sub>2</sub>	4,11	0,24
Ca	0,34	0,08	0,7	CaO	0,48	0,11
Mn	0,81	0,14	0,51	MnO	1,05	0,18
Fe	73,35	0,35	45,63	FeO	94,37	0,45
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-C-6.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de la sección transversal de la muestra; 3) espectro de rayos X adquirido en el área encuadrada en la imagen (1200x400)  $\mu\text{m}$  y 4) Análisis elemental obtenido en el área analizada.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



**Ficha MIK-CS-C-6.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de una zona en la sección transversal del acero de la muestra MIK-6 y 3) los números indican la posición de los puntos donde se adquiere el espectro de rayos X.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



1

Element	WT%	WT% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	22,31		50			
Ca	0,41	0,09	0,37	CaO	0,57	0,13
Mn	0,76	0,17	0,5	MnO	0,98	0,21
Fe	76,52	0,37	49,14	FeO	98,45	0,48
Total:	100		100		100	

2

Element	WT%	WT% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	26,88		52,69			
Al	1,36	0,29	1,58	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,58	0,55
Si	2,75	0,29	3,07	SiO <sub>2</sub>	5,88	0,61
P	1	0,24	1,02	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,3	0,56
Ca	15,6	0,42	12,21	CaO	21,83	0,59
Fe	52,4	0,75	29,43	FeO	67,41	0,97
Total:	100		100		100	

3

Element	WT%	WT% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	52,89		66,56			
Si	46,2	0,43	33,12	SiO <sub>2</sub>	98,84	0,92
Fe	0,91	0,21	0,33	FeO	1,16	0,27
Total:	100		100		100	

4

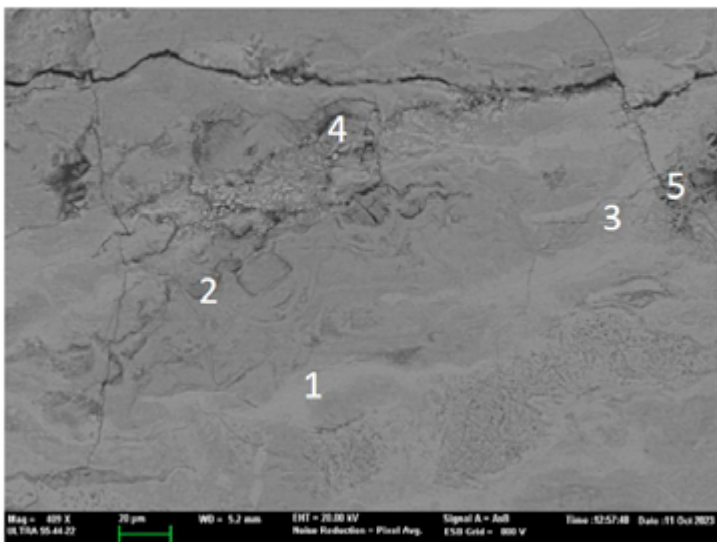
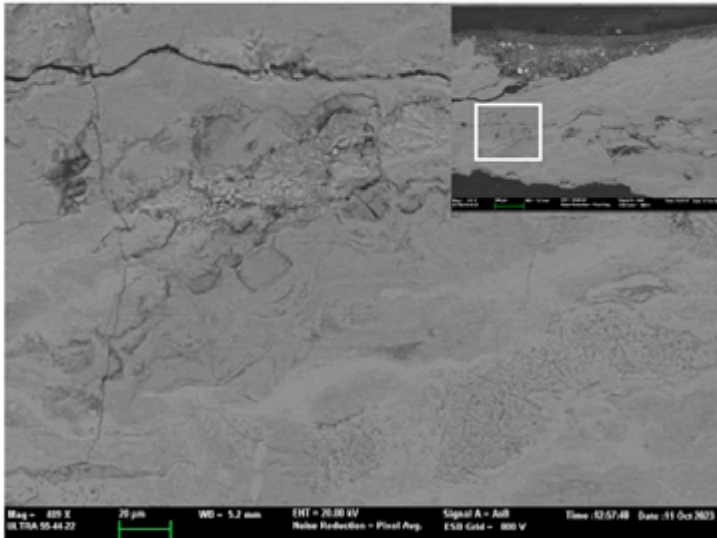
Element	WT%	WT% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	22,73		50,41			
Si	0,65	0,08	0,82	SiO <sub>2</sub>	1,38	0,17
Ca	0,33	0,07	0,29	CaO	0,46	0,1
Mn	0,68	0,14	0,44	MnO	0,87	0,18
Fe	75,62	0,33	48,05	FeO	97,29	0,42
Total:	100		100		100	

5

Element	WT%	WT% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	23,42		51,17			
Si	0,35	0,11	0,49	SiO <sub>2</sub>	0,84	0,25
P	0,55	0,12	0,62	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,26	0,27
S	0,42	0,1	0,46	SO <sub>3</sub>	1,05	0,25
Ca	0,69	0,11	0,6	CaO	0,97	0,15
Mn	1,21	0,19	0,77	MnO	1,57	0,24
Fe	73,31	0,46	45,89	FeO	94,31	0,59
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK- CS-C-6.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Análisis elemental obtenido en los puntos indicados en la imagen de la ficha MIK-C-6-6.2.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-6  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



**Ficha MIK-CS-C-6.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Imagen en electrones retrodispersados de una zona en la sección transversal del acero de la muestra MIK-6 y 3) los números indican la posición de los puntos donde se adquiere el espectro de rayos X.

**Muestra:** pintura negra

**Ref:** MIK-6

**Punto de muestreo:**

lado E



1

Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	22,28		50			
Mn	1,8	0,15	1,17	MnO	2,32	0,19
Fe	75,93	0,31	48,83	FeO	97,68	0,39
Total:	100		100		100	

2

Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	23,55		51,21			
Si	1,87	0,11	2,32	SiO2	4,01	0,23
Cr	0,27	0,09	0,18	Cr2O3	0,4	0,13
Mn	0,6	0,13	0,38	MnO	0,78	0,17
Fe	73,7	0,35	45,91	FeO	94,82	0,45
Total:	100		100		100	

3

Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	28,09		56,33			
Si	1,39	0,09	1,59	SiO2	2,97	0,19
S	5,53	0,12	5,54	SO3	13,81	0,3
Mn	0,88	0,12	0,52	MnO	1,14	0,16
Fe	52,72	0,36	30,28	FeO	67,82	0,47
Cu	11,39	0,32	5,75	CuO	14,25	0,4
Total:	100		100		100	

4

Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	24,79		52,31			
Si	3,12	0,14	3,75	SiO2	6,68	0,29
S	0,42	0,08	0,44	SO3	1,04	0,21
Ca	0,63	0,09	0,53	CaO	0,88	0,12
Mn	2,54	0,17	1,56	MnO	3,27	0,22
Fe	68,5	0,38	41,41	FeO	88,13	0,49
Total:	100		100		100	

5

Element	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide	Oxide %	Oxide % Sigma
O	22,96		50,67			
Si	0,41	0,1	0,52	SiO2	0,88	0,22
P	0,48	0,1	0,55	P2O5	1,11	0,24
Ca	0,44	0,09	0,38	CaO	0,61	0,13
Mn	1,32	0,18	0,85	MnO	1,7	0,23
Fe	74,39	0,41	47,03	FeO	95,7	0,53
Total:	100		100		100	

**Ficha MIK-CS-C-6.5:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Análisis elemental obtenido en los puntos indicados en la imagen de la ficha MIK-C-6-6.4.

### 8.3. Interpretación de resultados

#### 8.3.1. Superficie de la pintura de recubrimiento

El análisis de la superficie de las muestras mediante FESEM-EDX ha permitido identificar los pigmentos usados en las pinturas usadas en el recubrimiento de la locomotora.

*Muestra MIK-2, pintura negra:*

- Morfología (MO): la superficie de la pintura presenta abundantes estrías y poros de diámetro hasta 500  $\mu\text{m}$  de diámetro. La presencia de pequeños poros permite ver la imprimación/preparación aplicada debajo.
- Morfología (FESEM): la superficie de la pintura presenta abundantes abolsamientos que alcanzan 100  $\mu\text{m}$  de diámetro.

*Muestra MIK-6, pintura negra:*

- Morfología (MO): la superficie de la pintura presenta abundantes estrías y poros de diámetro hasta 500  $\mu\text{m}$  de diámetro. La presencia de pequeños poros permite ver la imprimación/preparación aplicada debajo.
- Morfología (FESEM): la superficie de la pintura presenta una distribución heterogénea del aglutinante y el pigmento que se puede apreciar claramente en las imágenes obtenidas con electrones retrodispersados.
- Composición química (EDX): la pintura negra que recubre la mayor parte de la locomotora está realizada con pigmento negro carbón al que se le ha aportado una carga de pigmento blanco de sulfato de bario para darle más cuerpo. Se identifican abundantes microcristales de minerales arcillosos, carbonáticos, sulfatos y fosfatos que se han depositado en la superficie de la pintura.

*Muestra MIK-3, pintura roja:*

- Morfología (MO): la superficie de la pintura presenta abundantes agregados crip-tocristalinos translúcidos en superficie como consecuencia de la cristalización de sales solubles.
- Morfología (FESEM): la superficie de la pintura presenta abundantes microfisuras de escasa profundidad.
- Composición química (EDX): la pintura roja que recubre algunas zonas de la locomotora está realizada con pigmento rojo de Marte (ver capítulo 8) al que se le ha aportado una carga de pigmento blanco de sulfato de bario para darle más cuerpo. Se identifican abundantes microcristales de minerales arcillosos caoliníticos, carbonáticos, sulfatos y fosfatos que se han depositado en la superficie de la pintura.

*Muestra MIK-5, pintura roja:*

- Morfología (MO): presenta poros que alcanzan 100  $\mu\text{m}$  de diámetro.
- Morfología (FESEM): la superficie de la pintura presenta abundantes microfisuras de escasa profundidad formando una red perpendicular que está promoviendo el microcraquelado de la capa superficial de pintura. En otras zonas la pintura se presenta con abolsamientos similares a los observados en la muestra MIK-2.

- Composición química (EDX): la pintura roja que recubre algunas zonas de la locomotora está realizada con pigmento naranja de cromo, minio y amarillo de Nápoles (ver más adelante) al que se le ha aportado una carga de pigmento blanco de sulfato de bario para darle más cuerpo. Se identifican abundantes microcristales de minerales arcillosos caoliníticos, carbonáticos, sulfatos y cloruros que se han depositado en la superficie de la pintura.

### 8.3.2. Disposición de estratos

*Muestra MIK-CS-2, pintura negra:*

La tabla 8.1 resume la composición en pigmentos y cargas identificados en cada estrato pictórico de la muestra.

**Tabla 8.1.** Composición en pigmentos y cargas identificados en cada estrato pictórico de la muestra.

Capa	Composición	Tipo de estrato
1	Negro carbón con carga de sulfato de bario, silicato de magnesio y caolín	Película pictórica negra
2	Minio	Imprimación rojo-anaranjada
3	Negro carbón con carga de sulfato de bario y silicato de magnesio	Película pictórica negra
4	Blanco de titanio con carga de calcita y litopón	Imprimación
5	Pigmento rojo óxido de hierro, carga de silicato de magnesio, fosfato de zinc, sulfato de bario, calcita, dolomita	Imprimación

*Muestra MIK-CS-6, pintura negra:*

La tabla 8.2 resume la composición en pigmentos y cargas identificados en cada estrato pictórico de la muestra.

**Tabla 8.2.** Composición en pigmentos y cargas identificados en cada estrato pictórico de la muestra.

Capa	Composición	Tipo de estrato
1	Negro carbón con carga de sulfato de bario y silicato de magnesio	Película pictórica negra
2	Pigmento rojo óxido de hierro, carga de silicato de magnesio, fosfato de zinc, sulfato de bario, calcita, dolomita	Imprimación rojo-anaranjada

*Muestra MIK-CS-5, pintura roja:*

La tabla 8.3 resume la composición en pigmentos y cargas identificados en cada estrato pictórico de la muestra.

**Tabla 8.3.** Composición en pigmentos y cargas identificados en cada estrato pictórico de la muestra.

Capa	Composición	Tipo de estrato
1	Naranja de cromo	Película pictórica rojo-anaranjada
2	Minio, naranja de cromo, amarillo de Nápoles	Película pictórica roja
3	Blanco de titanio, calcita, caolín, sulfato de magnesio	Imprimación blanca
4	Blanco de titanio con carga de calcita y litopón	Imprimación roja
5	Minio, naranja de cromo con carga de silicato de magnesio y caolín	Imprimación roja
6	Negro carbón con difusión de iones plomo complejados de la capa inferior	Película pictórica negra
7	Minio	Imprimación rojo-anaranjada

**8.3.3. Corrosión del acero**

*Muestra MIK-CS-C-6.2, sustrato de acero alterado:*

La tabla 8.4 resume la morfología y composición química identificadas los puntos de interés de la muestra.

**Tabla 8.4.** Morfología y composición química identificadas los puntos de interés de la muestra.

Localización	Descripción y morfología	Especie mineral
1	Cristales euhedrales de hábito acicular	Estadio avanzado del proceso de corrosión en el que el núcleo de hierro de la zona anódica se ha transformado en goetita.
2	Cristales anhedrales infiltrados en fisura	Calcita, minerales arcillosos.



3	Cristales anhedrales infiltrados en fisura	Sílice.
4	Hierro degradado en la superficie interna de la fisura actuando como ánodo	Estado incipiente del proceso de corrosión. Se forma una zona anódica en la cual el acero inicia la transformación de hierro en óxido de hierro con el concomitante enriquecimiento en manganeso.
5	Zona anódica con hierro degradado en la superficie interna de la fisura	Estado incipiente del proceso de corrosión. Se forma una zona anódica en la cual el acero inicia la transformación de hierro en óxido de hierro con el concomitante enriquecimiento en manganeso.

*Muestra MIK-CS-C-6.4, sustrato de acero alterado:*

La tabla 8.5 resume la morfología y composición química identificadas los puntos de interés de la muestra.

**Tabla 8.5.** Morfología y composición química identificadas los puntos de interés de la muestra.

Localización	Descripción morfología	y Especie mineral
1	Zona en núcleo de acero	Estadio preliminar del proceso de corrosión en el que el núcleo de hierro muestra un empobrecimiento en hierro por probable migración de iones hierro.
2	Zona en núcleo de acero con alteración morfológica muy incipiente	Estadio preliminar del proceso de corrosión en el que el núcleo de hierro muestra un empobrecimiento en hierro por probable migración de iones hierro y enriquecimiento en manganeso y cromo.
3	Zona en núcleo de acero	Estado incipiente del proceso de corrosión. Se forma una zona anódica en la cual el acero inicia la transformación de hierro en óxido de hierro. Se identifica cobre.
4	Zona en núcleo de acero con alteración morfológica por formación de agregados globulares	Zona anódica en fisura con desarrollo de procesos de corrosión en los que el núcleo de hierro muestra un empobrecimiento en hierro por migración de iones hierro y enriquecimiento en manganeso. Presencia de minerales infiltrados calcita, sulfatos y silicatos.



---

5	Zona anódica con hierro degradado a cristales aciculares de goetita en la superficie interna de la fisura	Zona anódica en fisura con desarrollo de procesos de corrosión en los que el núcleo de hierro muestra un empobrecimiento en hierro por migración de iones hierro y enriquecimiento en manganeso. Presencia de minerales infiltrados calcita, apatito, silicatos
---	---	---

---

#### 8.4. Bibliografía

Doménech Carbó, M.T. (2018) *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*, Madrid: Síntesis.

## Capítulo 9:

# Haz de iones focalizado combinado con microscopía electrónica de barrido per emisión de campo- microanálisis de rayos X

**María Teresa Doménech Carbó**

*Institut Universitari de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València*

### Contenidos

- 9.1. Materiales y métodos
- 9.2. Resultados
- 9.3. Interpretación de resultados
- 9.4. Referencias
- 9.5. Bibliografía

Dentro del subprograma de seguimiento de amenazas y procesos de deterioro acumulativos el análisis mediante haz de electrones focalizado acoplado a un microscopio electrónico por emisión de campo con microanálisis de rayos X (FIB-FESEM-EDX, por sus siglas en inglés) es una herramienta analítica de gran utilidad para establecer posibles alteraciones de la pintura de protección y la superficie del metal que presenta indicios de corrosión. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el estudio químico-analítico mediante FIB-FESEM-EDX de la locomotora Mikado 141-F 2295 que se exhibe en los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València.

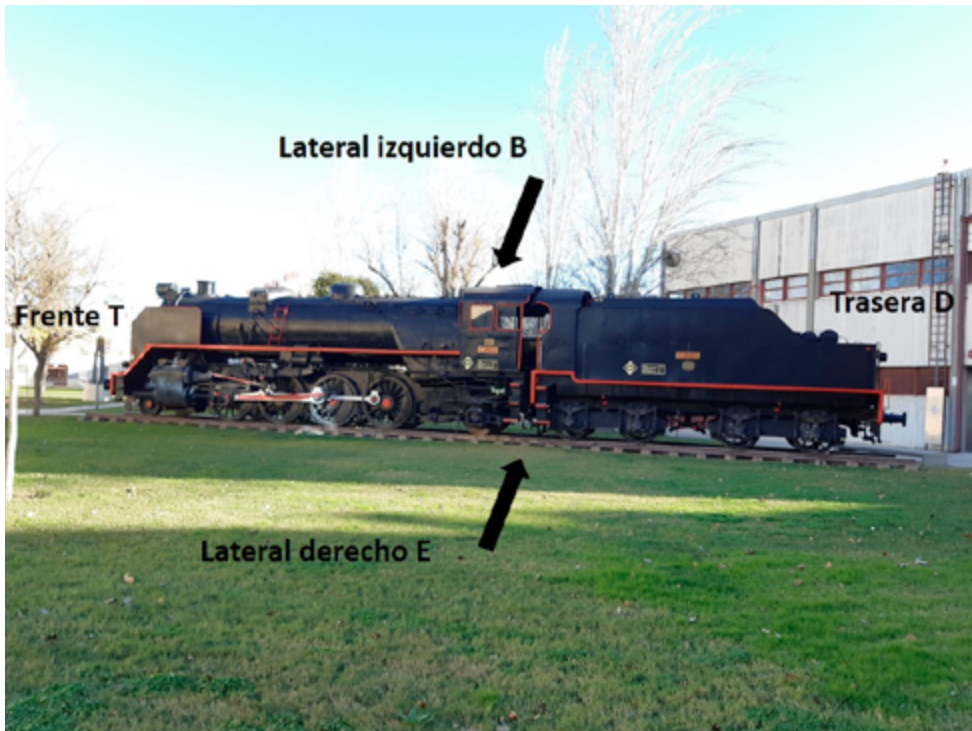
### 9.1. Materiales y métodos

Se ha utilizado un microscopio electrónico de barrido por emisión de campo Zeiss (Orsay Physics Kleindiek Oxford Instruments) modelo Auriga compact con detector para microanálisis de rayos X por dispersión de energías Oxford-X Max controlado por un software Aztec. El haz de iones focalizado se ha operado a 30 kV, and 500  $\mu$ A. Para practicar las secciones transversales en forma de trincheras se ha operado a 20 nA para generar el haz de iones galio. Las imágenes con electrones secundarios se han obtenido aplicando un voltaje de 2kV en la fuente de electrones. Para obtener los espectros de rayos X se aplicó un voltaje de 20 kV con el detector situado a 6-7 mm de la superficie de la muestra. El

diámetro mínimo del haz de electrones fue  $<5\text{nm}$  a 20 kV. Las composiciones cuantitativas se obtuvieron mediante del método ZAF de corrección de efectos interelementales. El tiempo de adquisición de los espectros puntuales y de área ( $300\times 300\mu\text{m}$ ) fue de 100 s. Las muestras se montaron directamente sobre el portamuestras del microscopio y fueron recubiertas con carbono.

## 9.2. Resultados

En las páginas siguientes se presentan los resultados obtenidos en formato de fichas técnicas.



**Figura 9.1.** Fotografía de la locomotora con indicación de los códigos utilizados en las referencias de las muestras analizadas.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E

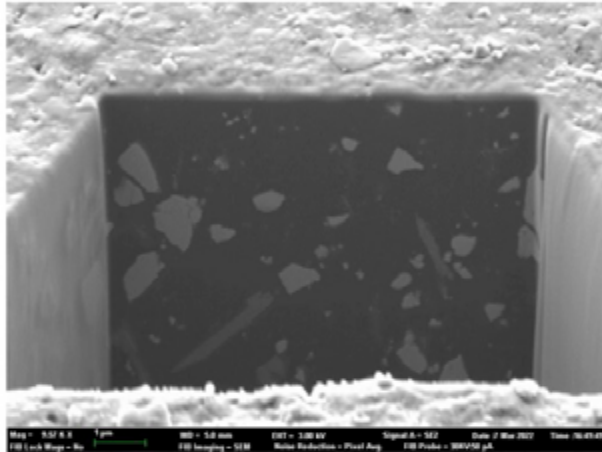


Imagen de electrones secundarios de la trinchera

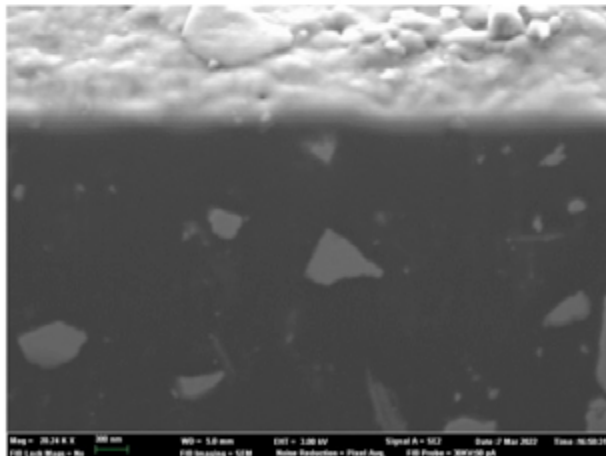


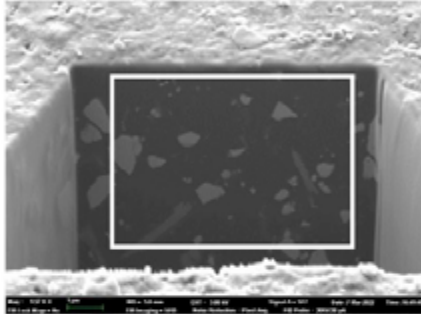
Imagen de electrones secundarios de la trinchera. Detalle de la parte superior de la trinchera

**Ficha MIK-T-2.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) imagen en electrones secundarios de la trinchera; 3) imagen ampliada de la parte superior de la trinchera.

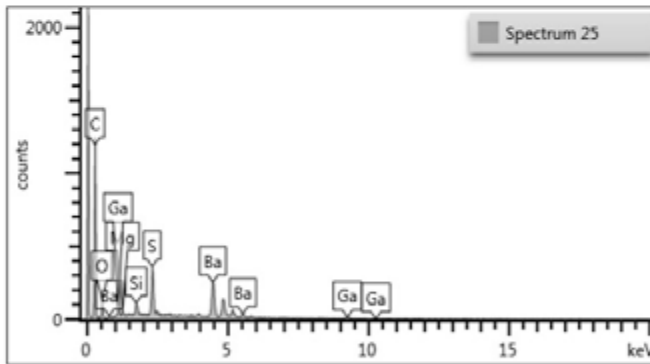
**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



Área de adquisición



Espectro de Rayos-X



Element	Line Type	Wt%	Wt% Sigma	Atomic %	Oxide %	Oxide % Sigma
C	K series	19,8	0,38	29,15	72,56	1,39
O		60,13		66,46		
Mg	K series	0,21	0,05	0,15	0,35	0,08
Si	K series	0,57	0,06	0,36	1,22	0,13
S	K series	2,97	0,1	1,64	7,42	0,26
Ga	K series	1,05	0,27	0,27	1,41	0,36
Ba	L series	15,26	0,37	1,97	17,04	0,42
Total:		100		100	100	

**Ficha MIK-T-2.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) imagen en electrones secundarios de la trinchera indicando el área de adquisición del espectro de rayos X (6x4,5)  $\mu\text{m}$ ; 3) espectro de rayos X adquirido y 4) composición elemental calculada en el área analizada.

**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:**  
 lado E

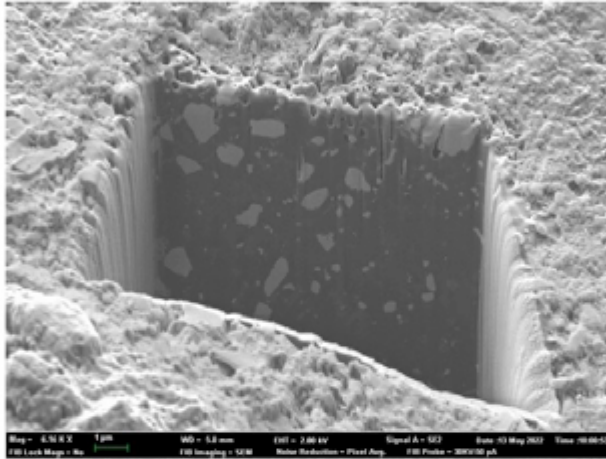


Imagen de electrones secundarios de la trinchera

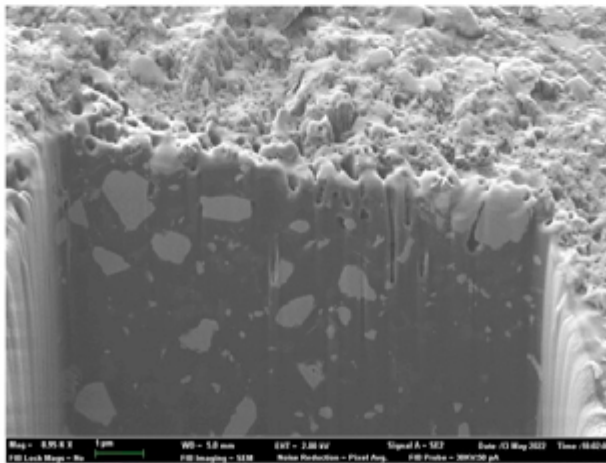


Imagen de electrones secundarios de la trinchera. Detalle de la parte superior de la trinchera

**Ficha MIK-T-3.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) imagen en electrones secundarios de la trinchera; 3) imagen ampliada de la parte superior de la trinchera.

**Muestra:** pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E

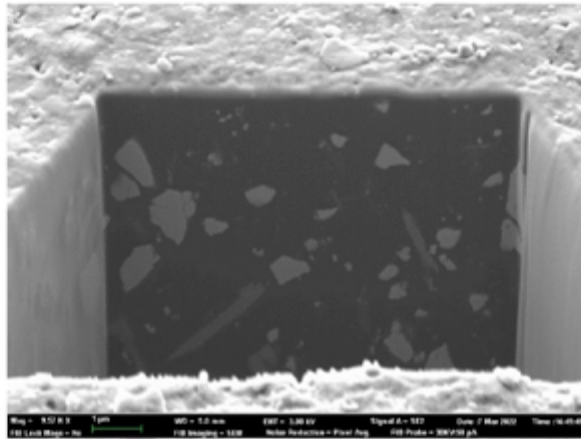


Imagen de electrones secundarios de la trinchera

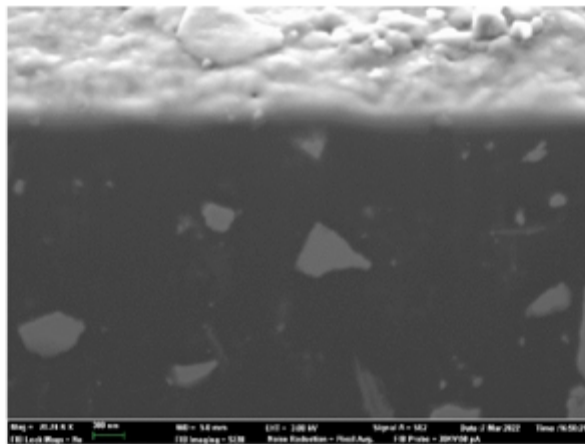


Imagen de electrones secundarios de la trinchera. Detalle de la parte superior de la trinchera

**Ficha MIK-T-3.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) imagen en electrones secundarios de la trinchera indicando el área de adquisición del espectro de rayos X (9,5x3,5) µm; 3) espectro de rayos X adquirido y 4) composición elemental calculada en el área analizada.



### 9.3. Interpretación de resultados

El análisis mediante FIB-FESEM-EDX ha permitido identificar la micromorfología de los pigmentos y cargas utilizados en las pinturas negra y roja usadas en el recubrimiento de la locomotora.

*Muestra MIK-2, pintura negra:*

- Morfología: la pintura presenta abundantes granos de sulfato de bario de talla pequeña  $<2 \mu\text{m}$  de diámetro y hábito subangular (Eastaugh, *et al.*, 2004). También se identifican granos con sección muy alargada que se asocian a negro carbón (Hewig, 2007). Estos granos aparecen dispersados en un aglutinante de textura amorfa.
- Composición química: la pintura negra que recubre la mayor parte de la locomotora está realizada con pigmento negro carbón al que se le ha aportado una carga de pigmento blanco de sulfato de bario para darle más cuerpo.

*Muestra MIK-3, pintura roja:*

- Morfología: la pintura presenta abundantes granos de sulfato de bario de talla pequeña  $<2 \mu\text{m}$  de diámetro y hábito subangular. Estos granos aparecen dispersados en un aglutinante de textura amorfa.
- Composición química: la pintura roja que recubre algunas zonas de la locomotora está realizada con pigmento rojo óxido de hierro al que se le ha aportado una carga de pigmento blanco de sulfato de bario para darle más cuerpo. En la superficie de la trinchera se identifican abundantes microcristales de minerales arcillosos caoliniticos, carbonáticos, sulfatos, cloruros y óxido de hierro que se han depositado en la superficie de la pintura.

### 9.4. Referencias

Eastaugh, N., Walsh, V., Chaplin, T. y Siddall, R. (2004) *Pigment Compendium. Optical Microscopy of Historical Pigments*. Oxford: Elsevier-Butterworth-Heinemann.

Helwig, K. (2007) "Iron Oxide Pigments" En: Berrie, B.H. *Artists' Pigments*. Washington: National Gallery of Art, 39-19.

### 9.5. Bibliografía

Doménech Carbó, M.T. (2018) *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*, Madrid: Síntesis.



# Capítulo 10:

## Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier

**María Teresa Doménech Carbó**

*Institut Universitari de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València*

### Contenidos

10.1. Materiales y métodos

10.2. Resultados

10.2.1. Películas pictóricas

10.2.2. Depósitos criptocristalinos en superficie

10.3. Interpretación de resultados

10.4. Bibliografía

Dentro del subprograma de seguimiento de amenazas y procesos de deterioro acumulativos el análisis mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) es una herramienta analítica de gran utilidad para establecer posibles alteraciones de la pintura de protección, en particular, del aglutinante de la superficie del metal que presenta indicios de corrosión. En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en el estudio químico-analítico de la locomotora Mikado 141-F 22105 que se exhibe en los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València.

### 10.1. Materiales y métodos

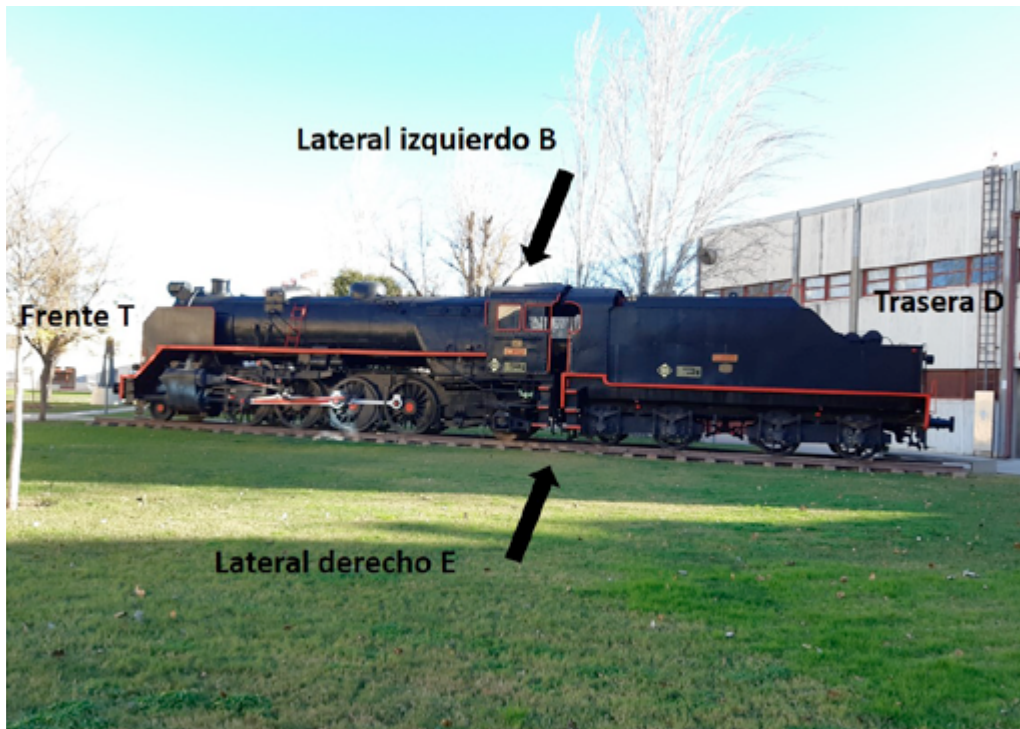
Los espectros de absorción IR fueron obtenidos en modo FTIR-ATR (reflectancia total atenuada) mediante un espectrómetro modelo Vertex70 fabricado por Bruker, el cual dispone de un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) MKII Golden Gate. El sistema de detección utilizado incluye un dispositivo con recubrimiento para estabilización de temperatura FR-DTGS (*fast recovery deuterated triglycine sulphate*). Los espectros IR se adquirieron con un total de 32 scans o barridos para cada uno de ellos y una resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$  y se procesaron con el software OPUS/IR 7.2.

## 10.2. Resultados

Se han analizado mediante esta técnica dos tipos de muestras: películas pictóricas y depósitos criptocristalinos presentes en la superficie de las pinturas y el metal.

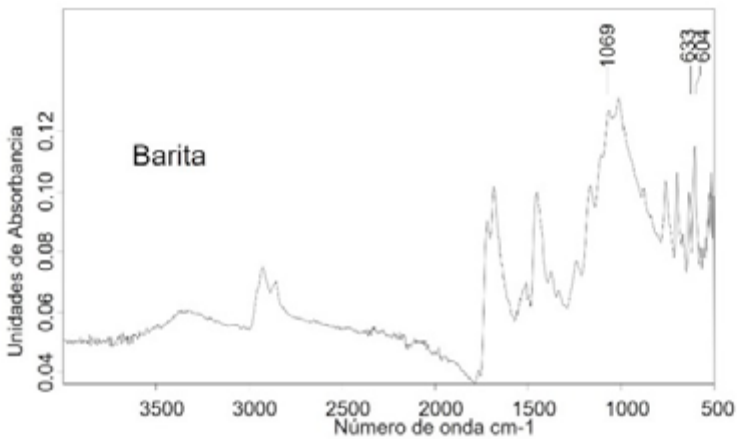
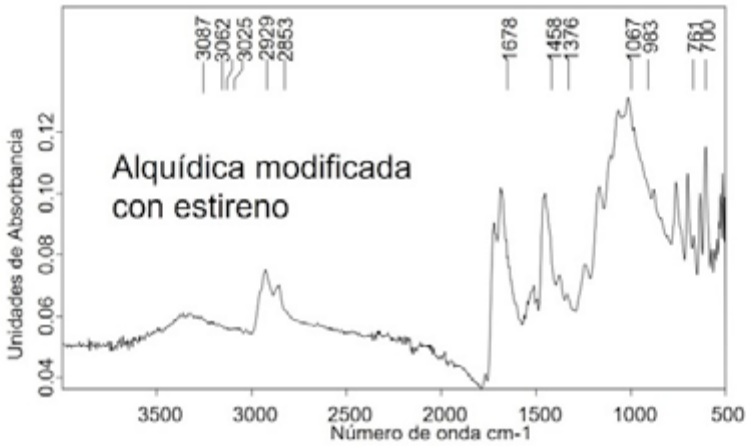
### 10.2.1. Películas pictóricas

En las páginas siguientes se presentan los resultados obtenidos en formato de fichas técnicas.



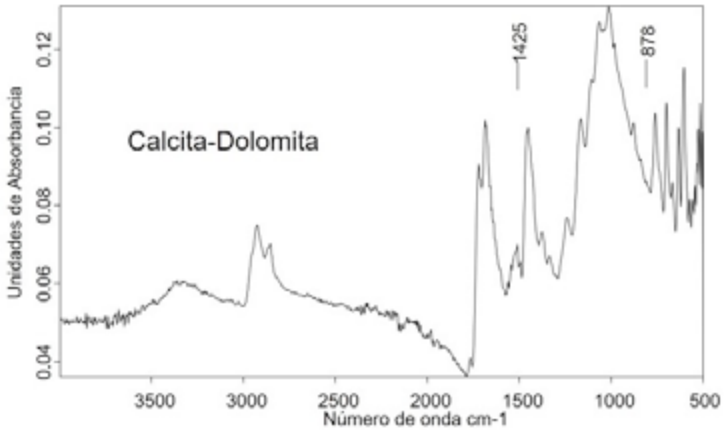
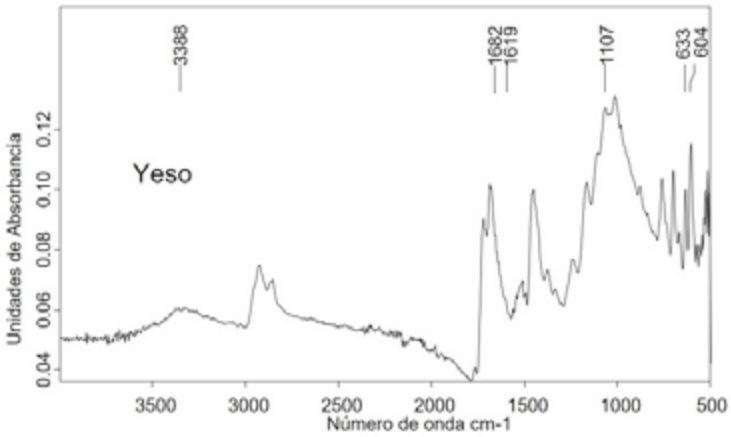
**Figura 10.1.** Fotografía de la locomotora con indicación de los códigos utilizados en las referencias de las muestras analizadas.

**Muestra:** Pintura  
 negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:**  
 lado E



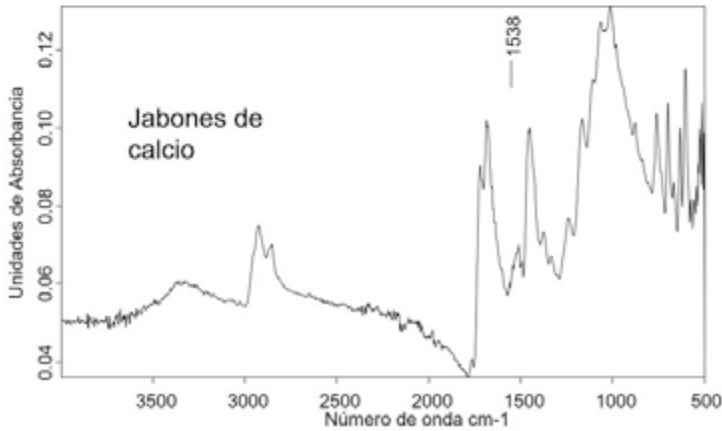
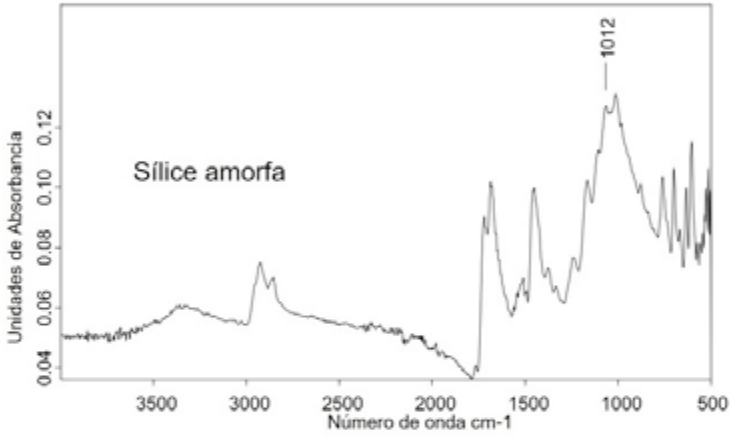
**Ficha MIK-IR-2.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) espectro IR de la muestra de pintura indicando las bandas características de una resina alquídica y 3) espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sulfato de bario identificado.

**Muestra:** Pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:** lado E



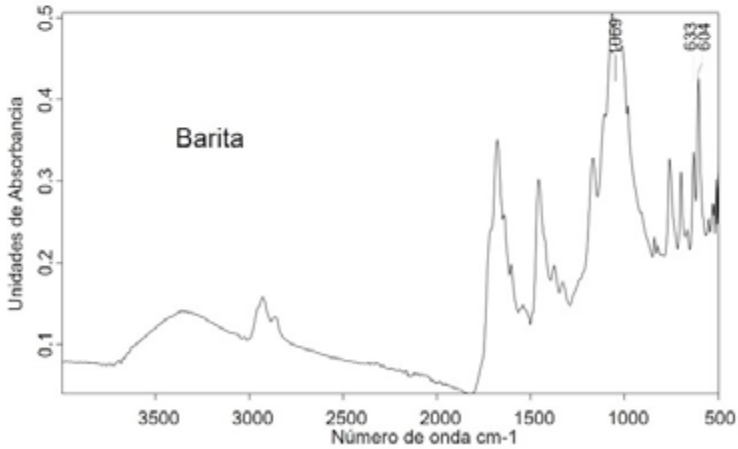
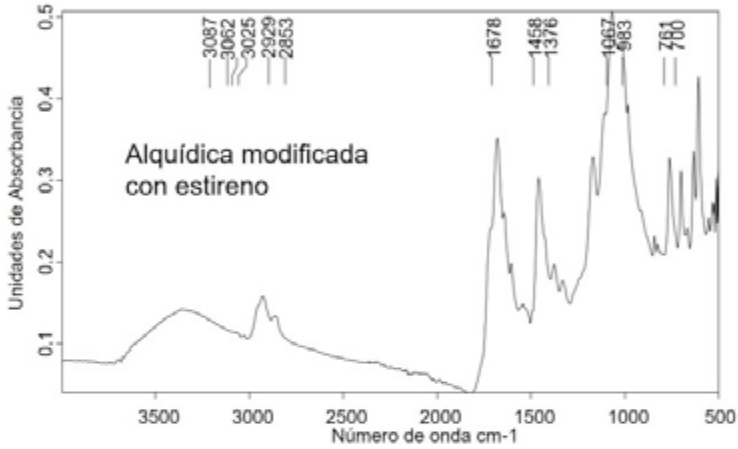
**Ficha MIK-IR-2.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sulfato de calcio identificado y 3) espectro IR de la muestra indicando las bandas características de calcita-dolomita identificada en la muestra.

**Muestra:** Pintura negra  
**Ref:** MIK-2  
**Punto de muestreo:** lado E



**Ficha MIK-IR-2.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sílice amorfa identificada y 3) espectro IR de la muestra indicando las bandas características de jabones metálicos identificados en la muestra.

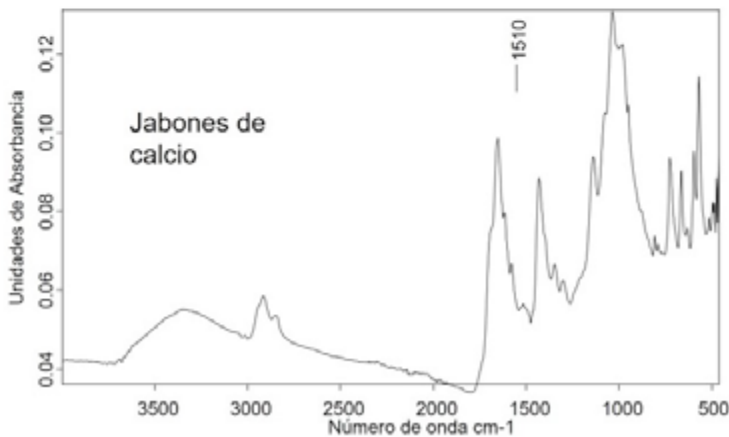
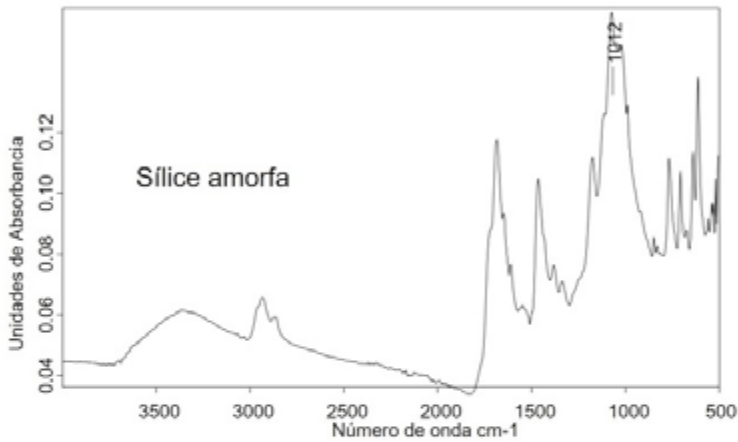
**Muestra:** Pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:** lado E



**Ficha MIK-IR-3.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) espectro IR de la muestra con indicación de las bandas de una resina alquídica identificada y 3) espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sulfato de bario identificado.

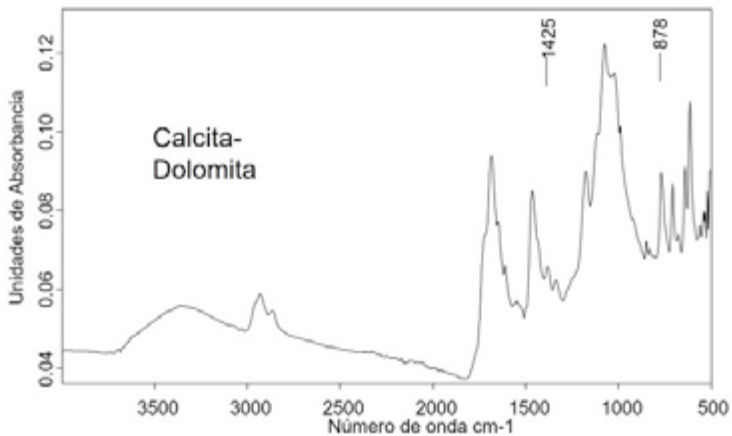
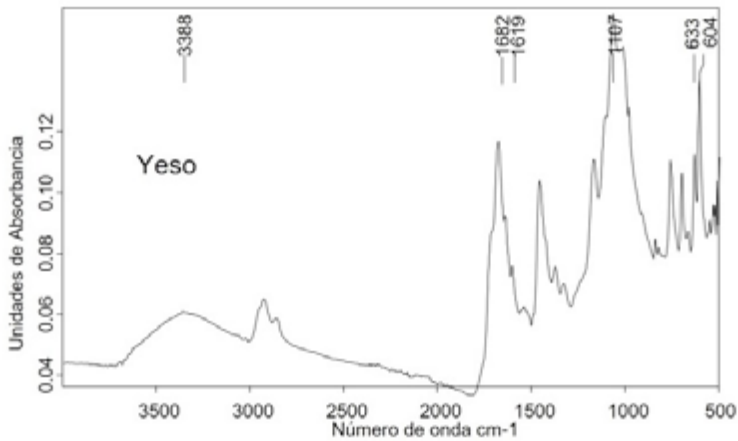


**Muestra:** Pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:** lado E



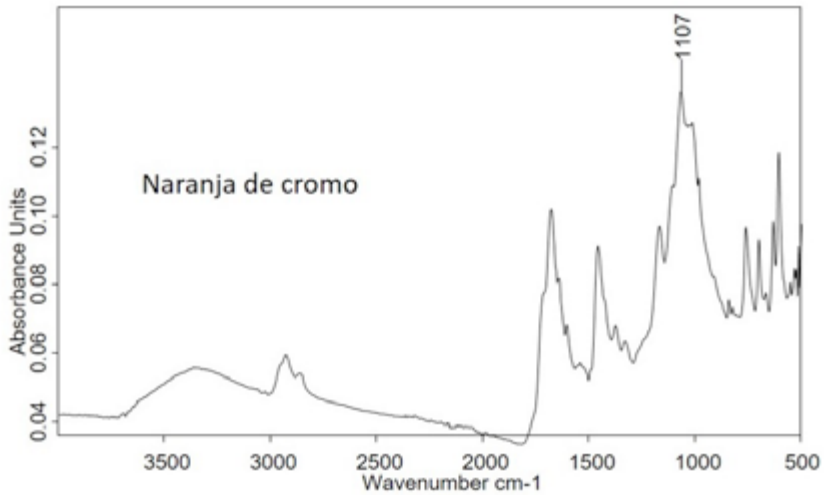
**Ficha MIK-IR-3.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sílice amorfa identificada y 3) espectro IR de la muestra indicando las bandas características de jabones metálicos identificados.

**Muestra:** Pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:** lado E



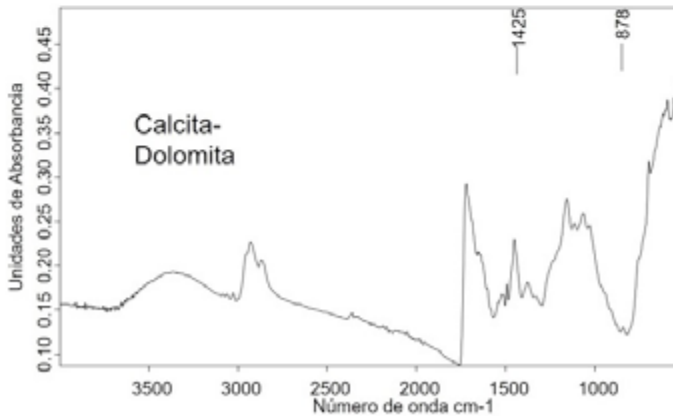
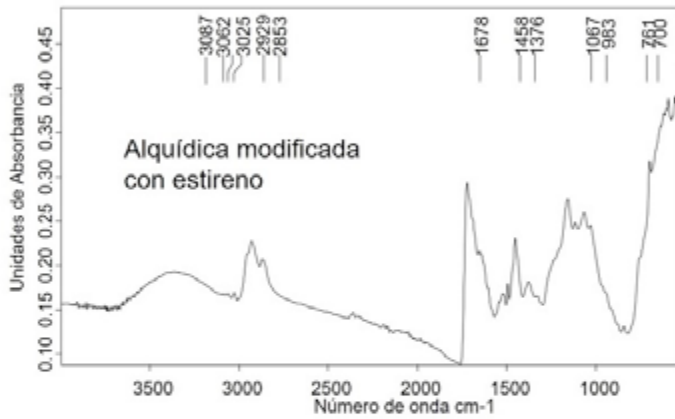
**Ficha MIK-3.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sulfato de calcio y 3) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de calcita-dolomita identificada.

**Muestra:** pintura roja  
**Ref:** MIK-3  
**Punto de muestreo:**  
 side E



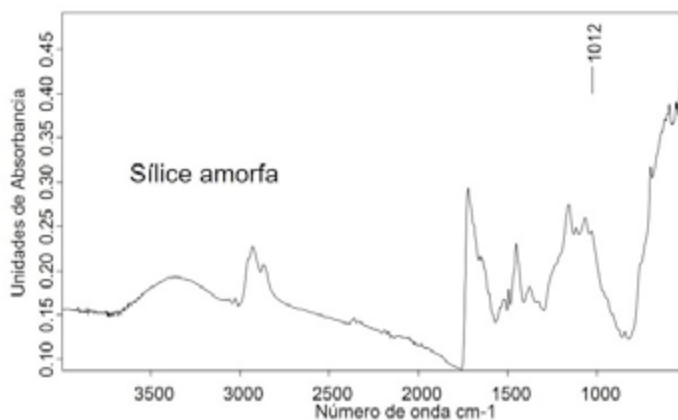
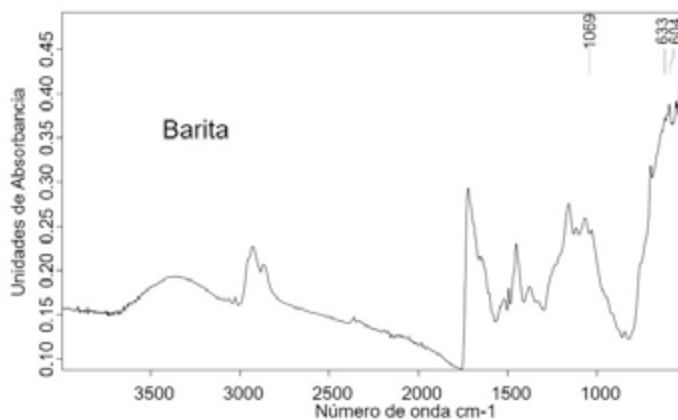
**Ficha MIK-3.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de pigmento naranja de cromo identificado.

**Muestra:** Pintura  
blanca  
**Ref:** MIK-20  
**Punto de muestreo:**  
lado E



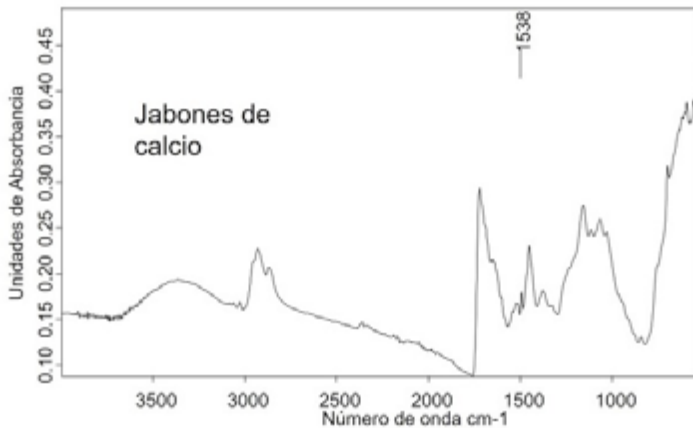
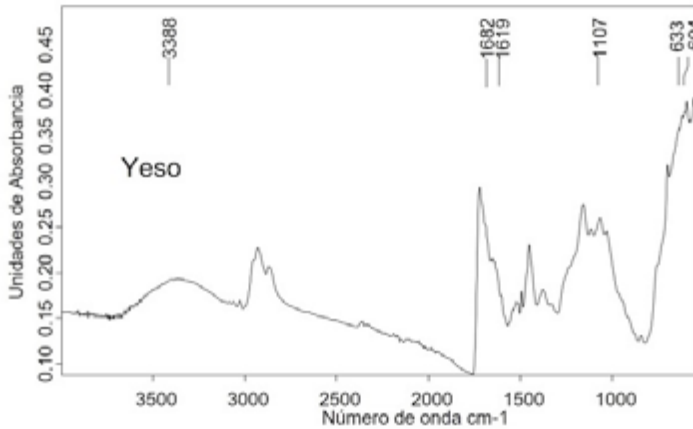
**Ficha MIK-20.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de una resina alquídica modificada con estireno identificada y 3) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de calcita dolomita identificada.

**Muestra:** Pintura  
blanca  
**Ref:** MIK-20  
**Punto de muestreo:**  
lado E



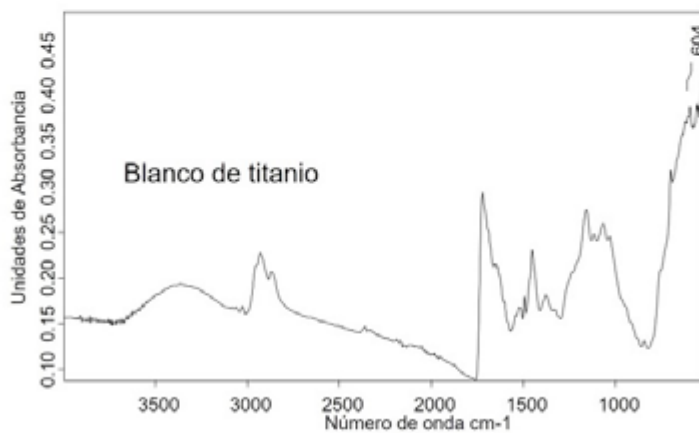
**Ficha MIK-20.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sulfato de calcio dihidrato identificado y 3) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sílice amorfa identificada.

**Muestra:** Pintura  
blanca  
**Ref:** MIK-20  
**Punto de muestreo:**  
lado E



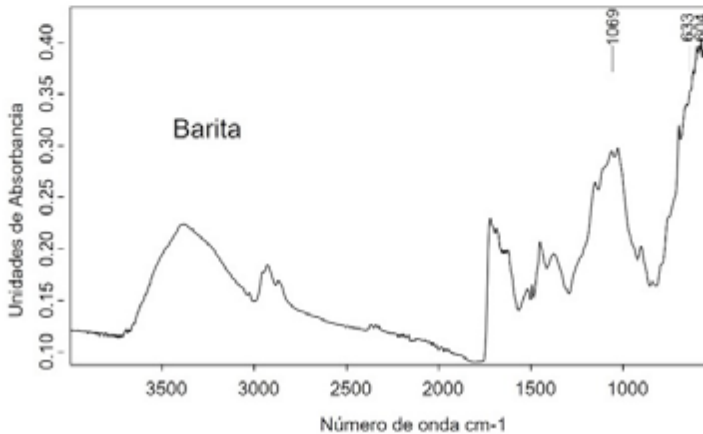
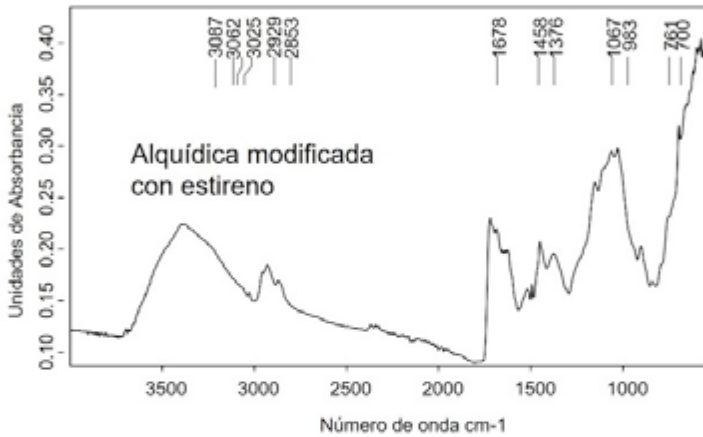
**Ficha MIK-20.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sulfato de calcio dihidrato identificado y 3) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de jabones de calcio identificados.

**Muestra:** Pintura  
blanca  
**Ref:** MIK-20  
**Punto de muestreo:**  
lado E



**Ficha MIK-20.4:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de blanco de titanio identificado.

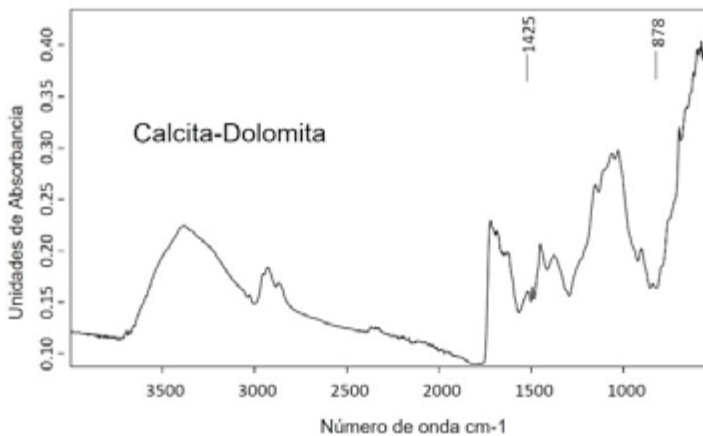
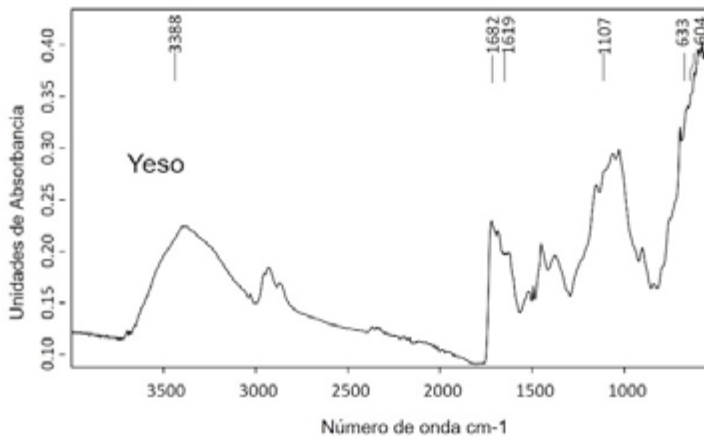
**Muestra:** Pintura verde  
**Ref:** MIK-19  
**Punto de muestreo:** lado E



**Ficha MIK-19.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de la resina alquídica modificada con estireno identificada y 3) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sulfato de bario identificado.

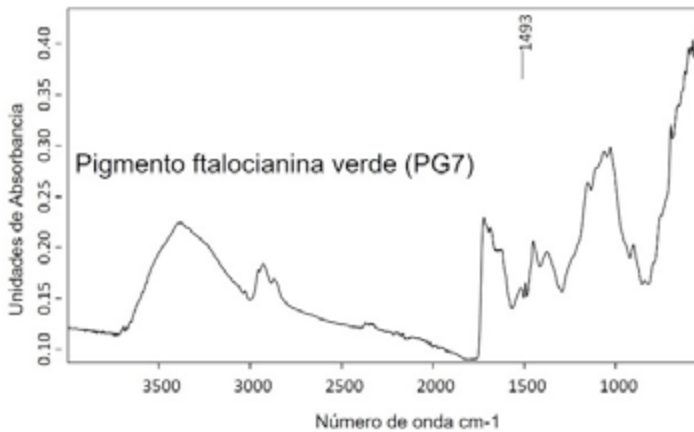
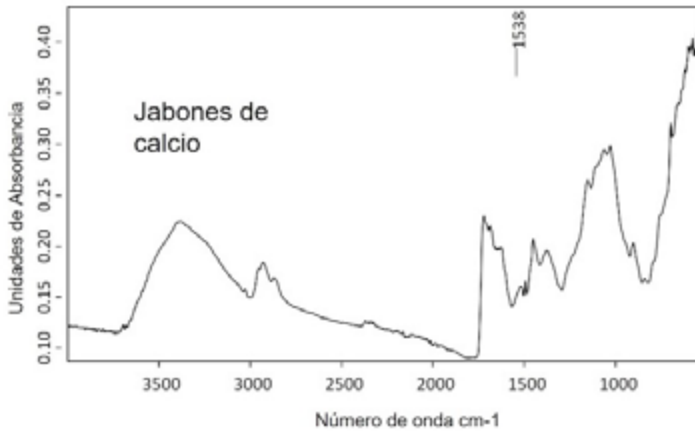


**Muestra:** Pintura verde  
**Ref:** MIK-19  
**Punto de muestreo:** lado E



**Ficha MIK-19.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de sulfato de calcio dihidrato identificado y 3) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características calcita-dolomita identificada.

**Muestra:** Pintura verde  
**Ref:** MIK-19  
**Punto de muestreo:**  
 lado E

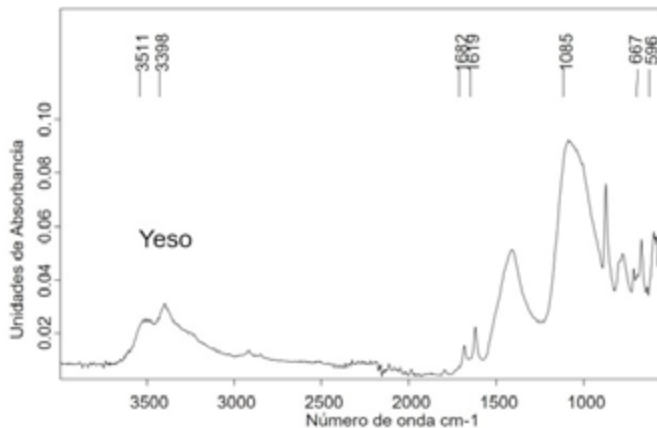
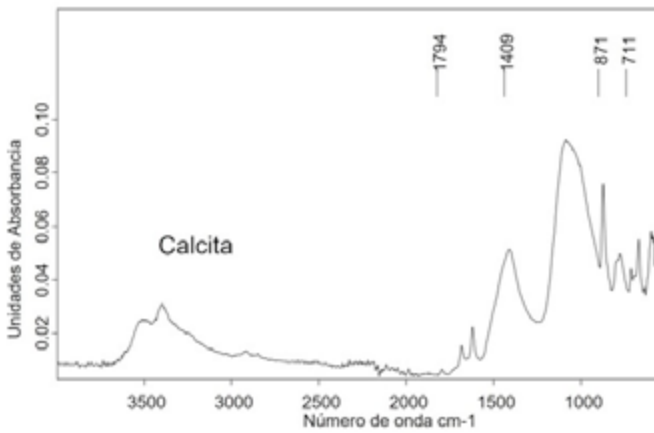


**Ficha MIK-19.3:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de jabones de calcio identificados y 3) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características pigmento orgánico sintético ftalocianina verde identificado.

### 10.2.2. Depósitos criptocristalinos en superficie

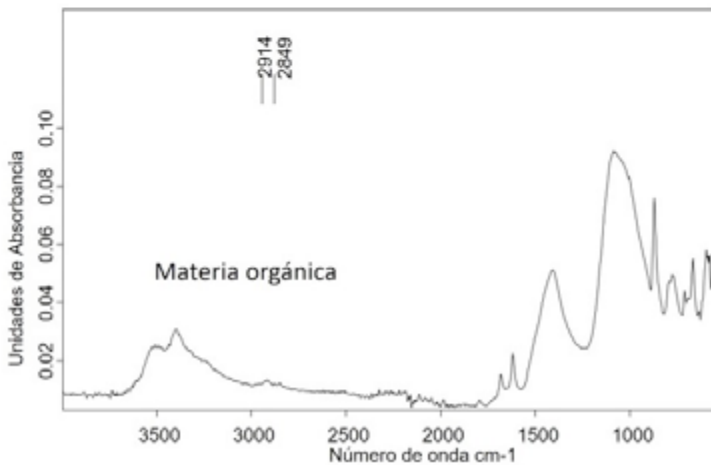
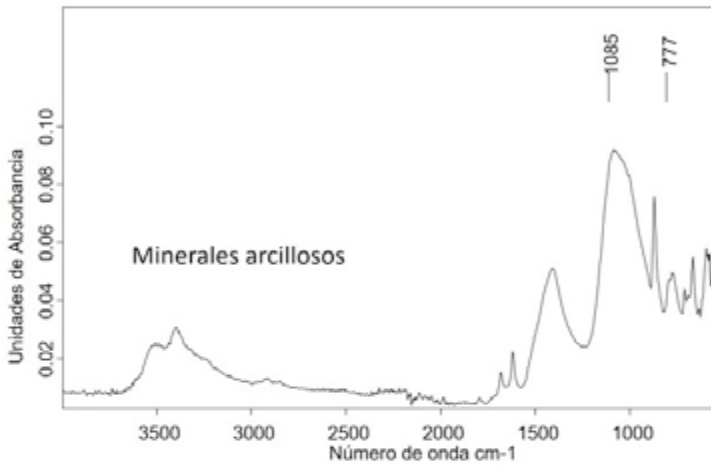
En las páginas siguientes se presentan los resultados obtenidos en formato de fichas técnicas.

**Muestra:** costras minerales  
**Ref:** MIK-8  
**Punto de muestreo:** lado E



**Ficha MIK-8.1:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de calcita identificada y 3) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de pigmento sulfato de calcio dihidrato identificado.

**Muestra:** costras minerales  
**Ref:** MIK-8  
**Punto de muestreo:** lado E



**Ficha MIK-8.2:** De arriba abajo: 1) Datos de la muestra y ubicación; 2) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de minerales arcillosos identificados y 3) Espectro IR de la muestra indicando las bandas características de materia orgánica identificada.

### 10.3. Interpretación de resultados

El análisis mediante espectroscopía FTIR ha permitido identificar los aglutinantes, pigmentos y cargas de las capas de pintura de protección externa aplicada a la locomotora, así como la composición de los depósitos criptocristalinos formados en la superficie de la locomotora a consecuencia de la lluvia y otros fenómenos meteorológicos.

#### *Muestra MIK-2, pintura negra:*

Se ha identificado una resina alquídica modificada con estireno que ha sido usada como aglutinante y diversas cargas de sulfato de bario, yeso, calcita-dolomita y sílice amorfa. También se han identificado jabones de calcio formados a consecuencia de la alteración por hidrólisis del aglutinante y posterior complejación con los iones calcio presentes en las cargas inertes parcialmente solubilizadas.

#### *Muestra MIK-3, pintura roja:*

Se ha identificado una resina alquídica modificada con estireno que ha sido usada como aglutinante y diversas cargas de sulfato de bario, yeso, calcita-dolomita y sílice amorfa. El pigmento rojo identificado es naranja de cromo. También se han identificado jabones de calcio formados a consecuencia de la alteración por hidrólisis del aglutinante y posterior complejación con los iones calcio presentes en las cargas inertes parcialmente solubilizadas.

#### *Muestra MIK-20, pintura blanca:*

Se ha identificado una resina alquídica modificada con estireno que ha sido usada como aglutinante y diversas cargas de sulfato de bario, yeso, calcita-dolomita y sílice amorfa. El pigmento usado es blanco de titanio. También se han identificado jabones de calcio formados a consecuencia de la alteración por hidrólisis del aglutinante y posterior complejación con los iones calcio presentes en las cargas inertes parcialmente solubilizadas.

#### *Muestra MIK-19, pintura verde:*

Se ha identificado una resina alquídica modificada con estireno que ha sido usada como aglutinante y diversas cargas de sulfato de bario, yeso y calcita-dolomita. El pigmento es del tipo orgánico sintético perteneciente a la familia de las ftalocianinas. También se han identificado jabones de calcio formados a consecuencia de la alteración por hidrólisis del aglutinante y posterior complejación con los iones calcio presentes en las cargas inertes parcialmente solubilizadas.

#### *Muestra MIK-8, depósitos superficiales criptocristalinos:*

Se trata de una mezcla de carbonato de calcio y sulfato de calcio dihidrato con materia orgánica.



#### **10.4. Bibliografía**

Doménech Carbó, M.T. (2018) *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*, Madrid: Síntesis.

# Capítulo 11:

## Voltammetry of immobilized microparticles

**Antonio Doménech Carbó**

*Departament de Química Analítica. Universitat Politècnica de València*

### Contenidos

- 11.1. Open circuit potential measurements
- 11.2. Experimental
- 11.3. Results and discussion
- 11.4. Final considerations
- 11.5. References

The analysis of samples by using the voltammetry of immobilized microparticles (VIMP) is essential for recognizing alterations and corrosion mechanisms in the steel objects exposed to atmospheric environments. In this chapter are presented the results obtained in the analysis of the Mikado 141-F 2295 engine exhibited in the gardens of the campus de Vera of the Universitat Politècnica de València.

### 11.1. Open circuit potential measurements

A series of metal sheets detached from the more corroded regions of the engine was studied by direct open-circuit potential (OCP) measurements. This method was previously developed as a non-invasive procedure aimed to monitor the degree of corrosion of metal objects (Doménech-Carbó et al., 2021; Doménech-Carbó et al., 2022a; Doménech-Carbó et al., 2022b) and can be seen as a 'dry' evolution of 'wet' methods applied to corrosion evaluation of steel reinforcements embedded in concrete (Polder, 2000; Yalcyn y Ergun, 1996; Elsener *et al.*, 2003; Sassolini *et al.*, 2019).

The method consists of the measurement of the potential difference established between two points of the metallic object one of which is reasonably conductive. Then, the variation of the measured OCP with time shows long-time and short-time transients which are representative of the corrosion type and state of the examined region of the object. The potential differences can be attributed to the contact potentials established between the different solid phases and reflect variations in composition, compactness, porosity, degree of hydration, etc. of the corrosion (Doménech-Carbó et al., 2021; Doménech-Carbó et al., 2022a).

## 11.2. Experimental

Metal sheets were extracted from different points of the Mikado 141-F 2295 engine where the steel was exposed to the environment (figures 11.1 and 11.2).

The OCP ( $V_{ocp}$ ) between two points of the samples was measured using a CH 660I equipment connecting it by means of crocodile clamps to the “reference electrode” and “working electrode” terminals of the potentiostat. The points were separated between 1.0 and 5.0 cm. The measurements were performed in the laboratories of the University of Valencia at 20°C and 75% RH. Commercial steel nails were used as reference materials.

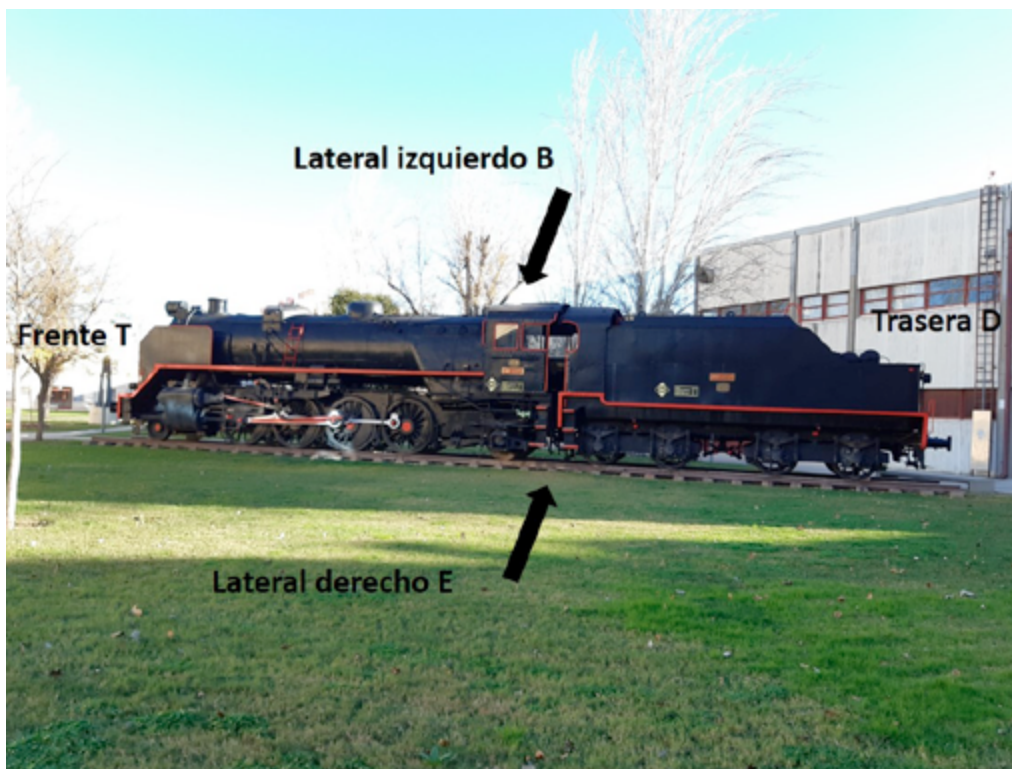
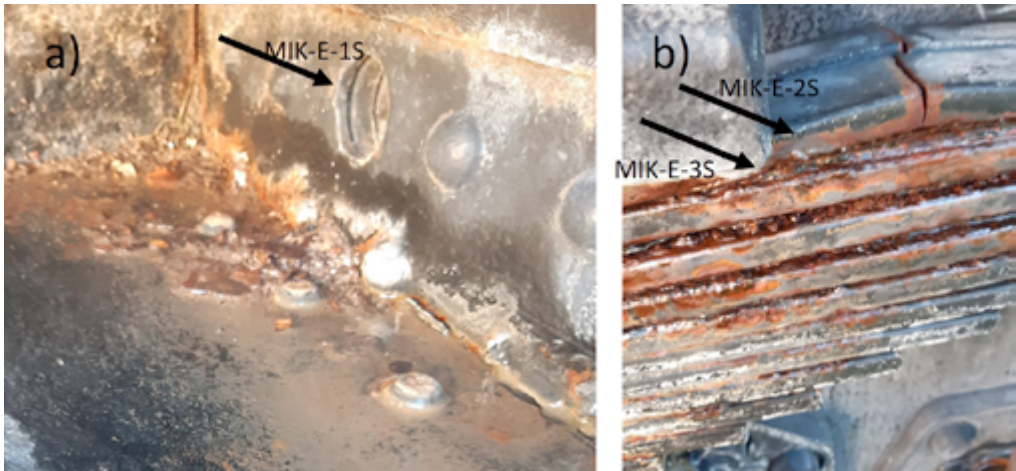


Figure 11.1. References used for the sampling.

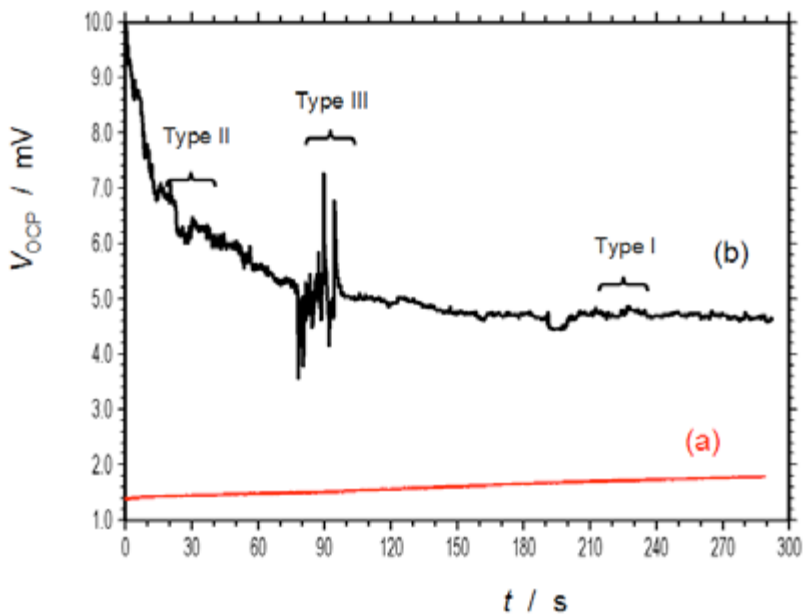




**Figure 11.2.** a) Uncorroded steel sample ref. MIK-E-1S; b) corroded steel sample ref. MIK-E-2S.

### 11.3. Results and discussion

Figure 11.3a shows the variation of  $V_{\text{OCP}}$  with time ( $t$ ) from measurements performed between two points separated 2 cm on commercial steel nail with minimal or null apparent corrosion features. One can see that the initial value of the potential difference between the points is ca. 1 mV and varies minimally with time. This so small difference reflects the existence of only residual contact potentials in the conducting substrate.



**Figure 11.3.**  $V_{\text{OCP}}$  vs.  $t$  graph corresponding to the OCP measurements performed between two points separated 2 cm on: a) commercial steel nail apparently non-corroded MIK-E-1S, and b) a slightly corroded sheet from sample MIK-E-2S.

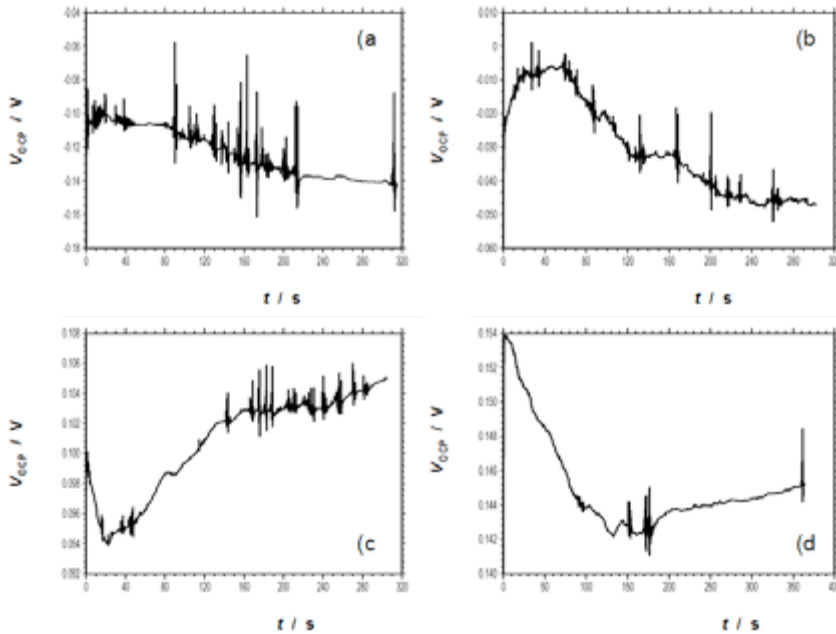
The smooth response of the nail contrasts with the  $V_{\text{OCP}}$  vs. time profile recorded for a slightly corroded metal sheet from the MIK-E-2S. Now, the initial potential difference is ca. 10 mV and varies with time defining an exponential-like decay (long-time transient) background accompanied by short-time transients (Doménech-Carbó et al., 2022a). These can be divided into three types (I to III) (Doménech-Carbó et al., 2022b). The types I and II can be treated as metastable corrosion pits and consists of irregular pulses of duration around 5-10 s: The transients of type III can be described as the result of extreme pitting phenomena. Their duration is typically < 1 s and they appear usually grouped in sets of pulses with around 10 individual transients.

The above pattern is clearly modified when relatively large corrosion exists. This can be seen in Figure 11.4, where the  $V_{\text{OCP}}$  vs.  $t$  graphs corresponding to measurements on four sheets extracted from the corroded areas of the MIK-E-3S. One can see that, in contrast with the OCP curve in Figure 1b: i) the long-time smooth transient is irregular, ii) the initial potential difference is enlarge (until 250 mV), and iii) the number and intensity of the short-time transients increase in the majority of cases.

As judged by previous data on archaeological iron nails submitted to desalination procedures (Peiró-Ronda *et al.*, n.d.) these differences can be interpreted on the basis of the description of iron corrosion layers due to Neff *et al.* (2005). In this model, a thin impermeable-like layer of conducting oxides (CO, typically magnetite) covers the metal core. This layer is covered by a thick layer of ferric corrosion products with different compactness, porosity, and hydration degree. The usual components are goethite, a-FeOOH, and lepidocrocite, b-FeOOH).

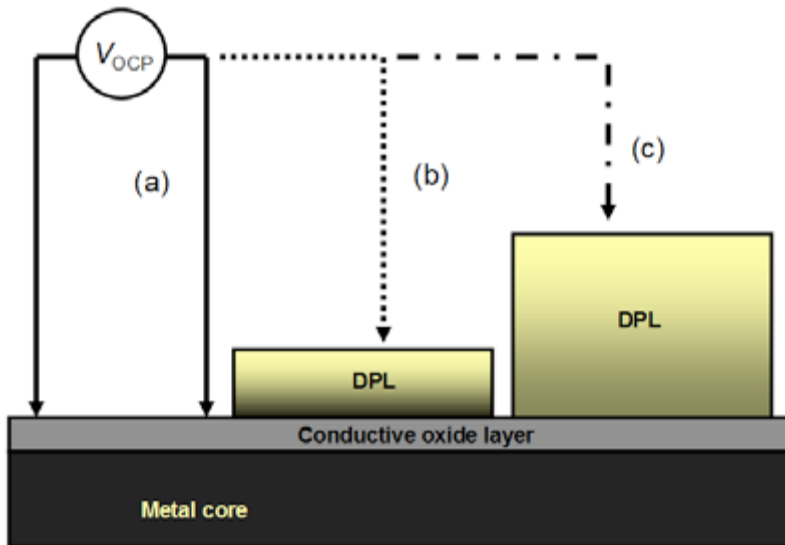
This layer is termed dense product layer (DPL) and can contain slag inclusions from the metal and foreign minerals. The aforementioned components have insulating or semiconducting properties so that contact potential(s) can be established between the DPL and the CO layers. In the case of buried objects, there is an additional layer which marks the transition between the DPL and the soil. This is the transformed medium (TM) which is constituted by corrosion products and soil materials (calcite, clays, quartz).

The different  $V_{\text{OCP}}$ /time patterns illustrated in Figures 11.3 and 11.4 can be interpreted in terms of the different properties of the corrosion layers and the configuration of the connections. Since the experiment involves charge transport through the circuit constituted by the high-impedance voltmeter, the conducting connections and the metal fragment under study, resistive and capacitive effects will appear. A simplified scheme is depicted in Figure 11.5. Assuming that one of the clamps is connected to the CO layer, the response will be conditioned by the position of the second clamp in contact with other point of the CO region (a), a fine DPL area (b) or a gross DPL layer (c). In the two first cases, one can assume that charge transport occurs mainly through the humidity layer covering the surface of the CO and impregnating the DPL layer. Here, capacitive effects can be associated to double-layer effects in the humidity layer and charge separation at the different interfaces. These effects determine the smooth, long-time transients such as in Figure 11.3b. When the DPL layer is gross and fractured more or less irregularly, the number of interfaces increases and several long-time transients are superimposed. This is the case of curves in Figure 11.4.



**Figure 11.4.**  $V_{OCP}$  vs.  $t$  graph corresponding to the OCP measurements performed between a pair of points (in all cases, separated 2 cm) on four corroded sheets from MIK-E-3S.

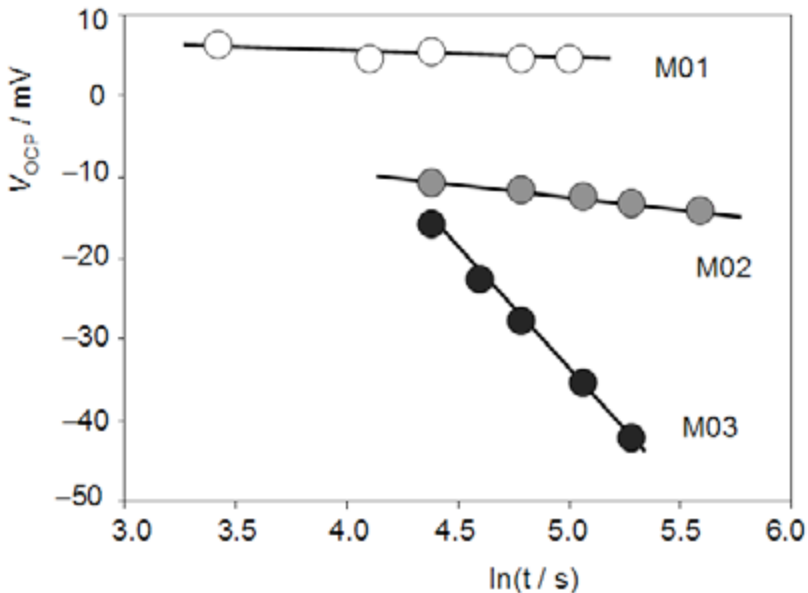
In turn, the short-time transients can be associated to pitting corrosion features. These involve the access to the CO-metal interface so that these transients (in particular, those of type III) are more abundant when the DPL layer is narrow and/or the humidity level is high.



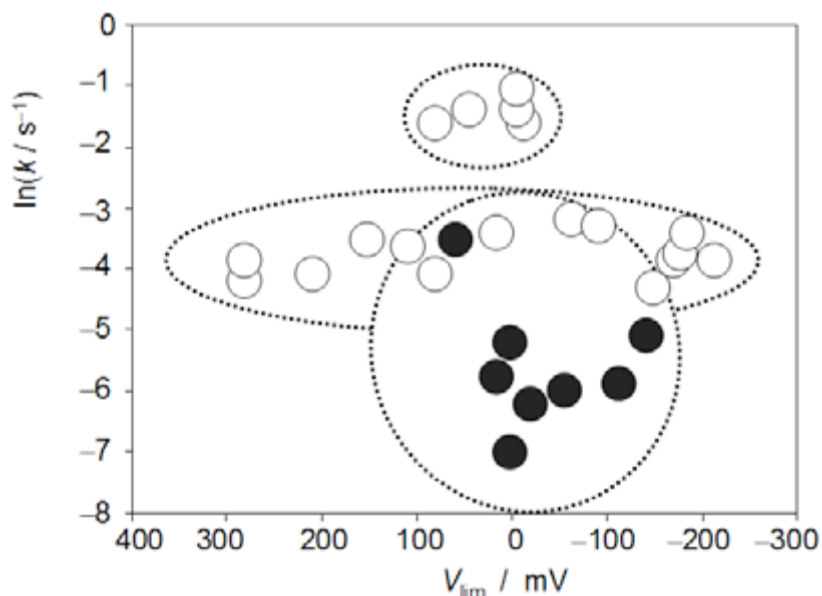
**Figure 11.5.** Simplified scheme of the corrosion layers of iron artefacts and the 'dry'  $V_{OCP}$  measurements. Tentative approach to describe the measurements corresponding to the different potential/time patterns showed in Figure 11.4.

Figure 11.6 depicts the variation of  $V_{OCP}$  on  $\ln t$  in measurements of three selected samples. These measurements corresponded to the background decay region in OCP curves such as in Figures 11.3b, 11.4a, 11.4b, and 11.4d. In all cases, an averaged background ‘smooth’ curve was adopted for  $V_{OCP}$  measurement. One can see that in these cases, linear  $V_{OCP}$  vs.  $\ln t$  plots were obtained, allowing for the estimate of the apparent rate constant,  $k$ , representative of the decay of long-time transients.

The values of  $k$  and those of the limiting value of  $V_{OCP}$  (from extrapolation at large times),  $V_{lim}$ , can be used to characterize the corrosion state of the sample (Doménech-Carbó et al., 2021; Doménech-Carbó et al., 2022a; Doménech-Carbó et al., 2022b; Polder, 2000; Yalcyn y Ergun, 1996; Elsener et al., 2003; Sassolini et al., 2019; Peiró-Ronda *et al.*, n.d.). These parameters are presented in a two-dimensional diagram in Figure 11.7 where they are compared with those determined for a series of iron nails from *La Bastida de les Alcusses* archaeological site (Moixent, València, Spain) dated back to the 4<sup>th</sup> century BCE. These samples were recovered under burial conditions and are under study and conservation in the *Museu de Prehistòria de València* (Peiró-Ronda *et al.*, n.d). One can see in this diagram that both sets of samples are distributed in relatively large areas as expected for samples exhibiting different degrees of corrosion. Remarkably, the majority of samples fall in a region separated from that where the buried iron samples are distributed. This feature can be attributed to the different composition (iron, steel) and age but, probably, to the different conditions of corrosion. In particular, it is conceivable that the higher exposure of the samples to the marine aerosol was a significant factor to determine such differences.



**Figure 11.6.** Variation of  $V_{OCP}$  on  $\ln t$  in OCP measurements of samples M01, M02, and M03.



**Figure 11.7.**  $\ln k$  vs.  $V_{\text{lim}}$  diagram for Mikado samples (solid circles) in this study and iron nails from *La Bastida de les Alcusses* archaeological site (circles, 4<sup>th</sup> century BCE) recovered under burial conditions described in Peiró-Ronda *et al.* (n.d.).

#### 11.4. Final considerations

Application of the ‘dry’ open circuit potential measurement technique to a series of sheets extracted from the corroded areas of the Mikado engine provides well-defined potential/time responses. These consist of the superposition of long-time and short-time transients, the former corresponding to exponential decays in agreement with previous studies on archaeological iron objects. Comparison with a series of iron nails from *La Bastida de les Alcusses* archaeological site reveals significant differences with the steel samples studied here. The exposure of the Mikado samples to saline environment can be considered an important factor to explain such differences.

#### 11.5. References

Doménech-Carbó, A., Peiró-Ronda, M.A., Vives-Ferrándiz, J., Duffó, G.S. y Farina, S. (2021) “‘Dry’ electrochemistry: a non-invasive approach to the characterization of archaeological iron objects”, *Electrochemical Communications*, 125, 106992.

Doménech-Carbó, A., Peiró-Ronda, M.A., Vives-Ferrándiz, J., Duffó, G.S., Farina, S. y Doménech-Carbó, M.T. (2022a) “Modeling ‘dry’ OCP measurements to characterize archaeological iron corrosion I: long-time transients”, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 911, 116210.

Doménech-Carbó, A., Peiró-Ronda, M.A., Vives-Ferrándiz, J., Duffó, G.S., Farina, S. y Doménech-Carbó, M.T. (2022b) "Modeling 'dry' OCP measurements to characterize archaeological iron corrosion II: short-time transients" *Journal of Electroanalytical Chemistry* 911, 116211.

Elsener, B., Andrade, C., Gulikers, J., Polder, R. y Raupach, M. (2003) "Half-cell potential measurements – Potential mapping on reinforced concrete structures" *Materials and Structures* 36, pp. 461-471.

Neff, D., Dillmann, P., Bellot-Gurlet, L. y Beranger, G. (2005) "Corrosion of iron archaeological artefacts in soil: characterisation of the corrosion system", *Corrosion Science*, 47, pp. 515-535.

Peiró-Ronda, M.A., Vives-Ferrándiz, J., Doménech-Carbó, M.T. y Doménech-Carbó, A. "Open Circuit Potential monitoring of desalination methods applied to archaeological iron", Unpublished results.

Polder Rilem, R. (2000) "TC 154-EMC: Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion", *Materials and Structures* 33, pp. 603-611.

Sassolini, A., Colozza, N., Papa, E., Hermansson, K., Cacciotti, I. y Arduini, F. (2019) "Screen-printed electrode as a cost-effective and miniaturized analytical tool for corrosion monitoring of reinforced concrete", *Electrochemistry Communications*, 98, pp. 69-72.

Yalcyn, H. y Ergun, M. (1996) "The prediction of corrosion rates of reinforcing steels in concrete" *Cement and Concrete Research*, 26, pp. 1593-1599.

## Capítulo 12: Modelización 3D para reproducción de piezas mediante técnicas geomáticas

**Enrique Priego de los Santos<sup>1,2</sup>, Marco de Rossi Estrada<sup>2</sup>, José Luis Denia Ríos<sup>1,2</sup>, José Herráez Boquera<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universitat Politècnica de València*

<sup>2</sup>*Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio. Universitat Politècnica de València*

### Contenidos

- 12.1. La ingeniería inversa
- 12.2. Modelización 3D
- 12.3. Impresión 3D
- 12.4. Aplicación: modelo 3D del silbato de la locomotora Mikado
  - 12.4.1. El silbato
  - 12.4.2. Medición 3D
  - 12.4.3. Resultados
- 12.4. Conclusiones
- 12.5. Referencias bibliográficas

Uno de los principales objetivos de la gestión del patrimonio es promover medidas dirigidas al mantenimiento, restauración y puesta en valor de los bienes culturales. Para garantizarlo, las instituciones promueven acciones de difusión y transferencia del patrimonio cultural, e impulsan acciones para desarrollar estudios científicos y técnicos que sustenten y mejoren los métodos de intervención. Los recientes avances tecnológicos en campos como la Geomática y el modelado 3D han contribuido significativamente a la preservación y difusión digital del patrimonio arquitectónico.

La ingeniería geomática y topográfica permite la realización de levantamientos 3D basados en técnicas fotogramétricas y sistemas láser escáner con un alto nivel de detalle de la geometría en tres dimensiones (3D) de piezas industriales de cualquier tamaño. Esta información digital permite documentar analítica y gráficamente cualquier elemento del patrimonio cultural, y en este caso específico, del patrimonio ferroviario.

En este capítulo se muestra como a partir de un objeto físico ya creado se obtiene su gemelo digital mediante la medición de sus superficies. Se trata pues de definir geométrica y digitalmente su forma de manera precisa mediante un proceso de ingeniería inversa. Una de las utilidades de este proceso es la de permitir la reproducción de piezas 3D ya fabricadas a partir de su definición digital. En este caso, se ha realizado el estudio digital de una pequeña pieza, como es el silbato de una locomotora de vapor tipo Mikado 141F, para posteriormente realizar su réplica física mediante impresión 3D, y poder instalarla en otra locomotora del mismo modelo, concretamente en la que se encuentra en el campus de Vera de la Universitat Politècnica de València, por no disponer del mismo.

### 12.1. La ingeniería inversa

El proceso de ingeniería inversa consiste en el análisis de un objeto real con el objetivo de obtener información del mismo. Esta metodología es de trascendental importancia en los procesos industriales, puesto que hace posible crear un modelo de referencia que permite el estudio de un producto u objeto físico ya creado. Esa información permite mejorar su funcionamiento y hacerlo más eficaz.

La ingeniería inversa es un proceso en el que se deconstruye y mide una pieza física para llegar a su diseño, su funcionamiento y su fabricación. El método se denomina así porque va en dirección opuesta a las tareas habituales de ingeniería, que utilizan datos técnicos para elaborar un producto determinado; en este caso, se trabaja hacia atrás, partiendo de una máquina o componente industrial existente, se desmonta digitalmente para generar su modelo 3D.

Se utiliza fundamentalmente para el análisis y mejora en el diseño de productos, la creación de nuevos productos o la fabricación de piezas de recambio. La ingeniería inversa permite la recreación de dispositivos y piezas obsoletas, hacer análisis de fallos en componentes, rediseñar las piezas, analizar los puntos fuertes y débiles de un producto, replicar piezas fuera de stock, mejorar el rendimiento de piezas y sistemas existentes, o disponer de la información geométrica de diseño, entre otras aplicaciones.

En el caso que nos ocupa, la ingeniería inversa permite estudiar piezas que ya no están en producción. Se trata de conocer cómo está hecho un producto ya existente, del que no hay documentación gráfica de su diseño. En definitiva, se trata de definir geoméricamente un objeto físico mediante la medición de su estructura, con el fin de conocer la forma de sus componentes.

Una de las utilidades de este proceso es la de permitir la reproducción física a diversas escalas con exactitud y precisión de piezas 3D ya fabricadas a partir de su definición digital. La posibilidad de obtener un modelo digital, creando una pieza virtual análoga a la original y en alta resolución, permite reproducirlo posteriormente en diferentes materiales mediante el fresado o la impresión 3D.



Las técnicas empleadas para la captura de datos son múltiples, pero las técnicas geomáticas y topográficas basadas en la fotogrametría y el escaneado son las más adecuadas para el levantamiento 3D rápido y preciso de piezas industriales. Existen otros métodos como son la tomografía computarizada, que permite realizar medidas a través de rayos X, o la medición por contacto con máquinas de medir coordenadas (MMC), altamente precisas, pero muy costosas.

Este estudio está centrado en la aplicación de estas tecnologías, que son las que permiten obtener un gemelo digital y su posterior réplica material. En este caso concreto, se pretende obtener un modelo digital 3D de un silbato existente de una locomotora de vapor similar a la que se encuentra en el campus de la universidad. Una vez digitalizado el silbato, creando una pieza semejante a la original, se podrá obtener una copia física con la misma forma y dimensiones mediante la impresión 3D.

## 12.2. Modelización 3D

Un modelo digital constituye una representación numérica de la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Un modelo 3D está formado por un conjunto de puntos definidos por sus coordenadas tridimensionales ( $x, y, z$ ) que representan la superficie de un objeto. Esta nube de puntos de alta densidad, en verdadera magnitud y distribuidos de forma irregular, son los datos de partida para formar el modelo 3D.

La superficie de la pieza u objeto se puede aproximar a una superficie matemática discreta formada por superficies elementales planas. El modelo digital estará construido cuando los puntos definidos por su posición espacial (vértices) estén conectados por líneas rectas o curvas (aristas), que a su vez formen una red de polígonos (caras) cuyo conjunto de superficies consecutivas generan una superficie poliédrica (malla).

Al tratarse de un conjunto de puntos con distribución espacial irregular, la solución aparentemente más adecuada para generar el modelo digital 3D es formar redes o mallas de triángulos irregulares (estructuras TIN), que se adaptan mejor a la complejidad de la superficie del objeto. Estas mallas se construyen mediante la triangulación de la nube de puntos, es decir, mediante la subdivisión de la superficie del objeto o pieza en triángulos. De las numerosas triangulaciones posibles de una misma nube de puntos, se aconseja el uso de la triangulación de Delaunay, que forma los triángulos más equiláteros posible, puesto que maximiza el mínimo ángulo de los triángulos, y de esta forma los puntos más próximos entre sí están conectados por una arista, en la que los triángulos resultantes serán lo más regulares posibles formando un conjunto único. Este tipo de modelado se denomina de polígonos, siendo con el que se consigue mayor grado de detalle. El conjunto de polígonos conforma una malla del objeto que permite su dibujo tridimensional, así como su visualización 3D en sencillas herramientas CAD con software específico para el tratamiento de datos en tres dimensiones.

Otros tipos de modelado son, el modelado de cajas, que desarrolla el modelo 3D con las partes fundamentales (caras, aristas y vértices) de un objeto elaborado a partir de entidades geométricas primitivas (planos, esferas, cubos, cilindros, etc.). El modelado de curvas genera una superficie 3D denominada NURBS, que permite su manipulación logrando generar curvas suaves y formas complejas. Y el modelo orgánico, que se utiliza para el diseño de esculturas digitales modelándolo con una serie de herramientas informáticas, denominadas pinceles.

La primera fase del proceso para obtener la réplica del silbato de la locomotora de vapor Mikado es su medición tridimensional. Este trabajo combina dos técnicas de documentación geométrica para obtener las coordenadas de una nube de puntos completa y precisa que defina la geometría de todas las superficies de la pieza. Las técnicas principales de captura de la información son la fotogrametría, en este caso basada en la técnica SFM (*Structure from motion*) que permite realizar representaciones tridimensionales a partir de fotografías realizadas desde diferentes puntos de vista, y el escaneo 3D para darle escala y orientación al sistema. Por ello y para la medición del silbato de la locomotora, se utilizan cámaras fotográficas digitales y sistemas de escaneo que proporcionan la geometría de los objetos físicos mediante imágenes y nubes de puntos de su superficie.

La **fotogrametría** es la ciencia que permite medir con precisión la forma, el tamaño y la posición en el espacio de objetos a partir de fotogramas de los mismos. Esta técnica permite representar gráficamente o modelar un objeto de forma objetiva a partir de imágenes fotográficas. En la actualidad, las imágenes que se procesan están basadas en fotografías digitales, obtenidas con cámaras digitales. Una única fotografía ofrece información bidimensional (2D), pero con dos o más imágenes que tengan zonas de solape se puede obtener información tridimensional (3D).

La estereoscopia es un fenómeno óptico que se obtiene mediante la observación de dos imágenes de la misma escena fotografiada desde dos puntos de vista diferentes, lo que permite lograr una visión 3D del objeto fotografiado. La visión estereoscópica natural es el resultado de la información recogida de una imagen en las retinas de los ojos que, situados en posiciones diferentes, ofrecen pequeñas diferencias de lo que están viendo y cuyas sensaciones procesadas en el cerebro permiten calcular distancias mediante la técnica de paralaje. El cálculo de las distancias permite situar los objetos en el espacio (3D) obteniendo sensación de profundidad y volumen.

Al modelar un objeto mediante procesos fotogramétricos estereoscópicos se utiliza una parte de imagen del fotograma, que corresponde al borde del objeto como si de una sección se tratase, por lo que se hace necesario disponer de varias tomas fotogramétricas que proporcionen otras tantas secciones (en realidad son proyecciones del contorno del objeto). Para obtener su modelado, el método consiste en definir la geometría con coordenadas tridimensionales de todas las secciones obtenidas del objeto.

La **técnica SFM** (*Structure from motion*) está basada en un algoritmo que calcula la translación y rotación de puntos entre dos imágenes consecutivas, que han sido tomadas con una cámara que se va moviendo entorno al objeto. El sistema extrae puntos característicos de las dos imágenes, los compara y extrae sus valores de movimiento de la cámara estimando la estructura 3D de esos puntos. Esto permite reconstruir tridimensionalmente la estructura fotografiada mediante un cálculo de triangulación.

Los **escáneres 3D** permiten analizar objetos de distintos tamaños para capturar datos de su geometría, siendo la opción más factible para las aplicaciones de ingeniería inversa. Esta metodología permite obtener una documentación geométrica 3D de calidad, puesto que permite obtener los datos en verdadera magnitud al tratarse de nubes de puntos con coordenadas tridimensionales. Existen básicamente dos tecnologías de medición sin contacto: una basada en la luz estructurada y otra basada en luz láser.

Los escáneres de luz estructurada capturan la geometría del objeto emitiendo un patrón de luz estroboscópica sobre su superficie. El haz de luz, al rebotar en los sensores del escáner, detecta las distorsiones causadas por las características del objeto y las convierte en una representación digital en forma de malla poligonal en 3D.

Los escáneres láser proyectan un haz de luz láser sobre el objeto, determinando la distancia entre la superficie del objeto y el sensor. El sistema láser escáner es un instrumento que realiza un barrido esférico en forma de abanico de la superficie del objeto captando miles de puntos por segundo. El resultado de la medición es una nube de puntos de alta densidad y en verdadera magnitud definidos por sus coordenadas (x, y, z).

Las características entre los distintos equipos difieren básicamente en la velocidad de barrido, la densidad de los puntos en la toma de datos, la precisión de la medición, el alcance o el área de medición. Los procedimientos de medición están basados en el cálculo del tiempo transcurrido entre la emisión del haz de luz y su posterior detección devuelta por la superficie en la que ha incidido.

### 12.3. Impresión 3D

La impresión 3D permite materializar modelos y prototipos mediante software CAD con el objetivo de crear objetos tridimensionales mediante un método de estratificación. Un objeto 3D impreso se consigue mediante procesos aditivos, donde se van colocando capas sucesivas de material como si de un corte transversal se tratase, hasta que se forma toda la estructura.

Esta fabricación aditiva se consigue mediante impresoras 3D, que a partir del modelo diseñado en un programa CAD, construyen el objeto capa a capa, estratificando el material (plástico, polímeros, resinas, polvo, metales, ...) de abajo a arriba, imprimiendo con repeticiones sobre la misma zona según el método de modelado de deposición fundida. La impresora va depositando material en capas bidimensionales de sección transversal y las fusiona con adhesivo o luz ultravioleta.

La transformación del modelo 3D a una réplica física implica la traducción del diseño digital al dispositivo de impresión mediante software específico. Esto va a permitir, que cualquier estructura de la que se haya generado su modelo digital, se pueda convertir en un objeto físico tridimensional.

Para llevar a cabo un proceso de impresión de este tipo hay que tener en cuenta la tecnología de impresión a utilizar y la selección del material con que se va a realizar su fabricación, adecuándose a los requisitos del acabado del objeto a reproducir. La impresión 3D se adapta muy bien a las necesidades de crear piezas 3D, en cuanto a la forma del objeto a imprimir, y en cuanto a los materiales a utilizar, tanto rígidos como flexibles.

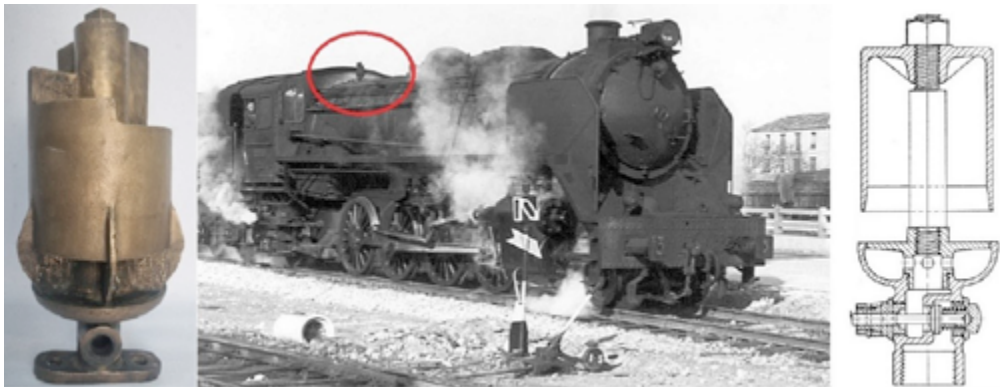
En este campo, se han desarrollado múltiples tecnologías con el mismo propósito, convertir modelos digitales en modelos físicos. En este caso, se ha utilizado la **tecnología FDM** (*Fused Deposition Modeling*) que ofrece la posibilidad de reproducir piezas con geometrías complejas y cavidades internas, mediante un proceso de fabricación aditiva utilizando materiales de soporte solubles, durables y estables. Los termoplásticos que utiliza esta tecnología ofrecen propiedades necesarias para obtener piezas definidas con alta precisión métrica. Su resolución está directamente relacionada con la boquilla de

extrusión y la precisión de los movimientos de extrusor (eje x/y), cuyo espesor de capa esta entre 0,1 y 0,5 mm.

## 12.4. Aplicación: modelo 3D del silbato de la locomotora Mikado

### 12.4.1. El silbato de la locomotora

La **pieza** consiste en un silbato tipo *Nathan* de 5 tonos, producidos por 5 cavidades cerradas con volúmenes distintos que actúan como cámaras de resonancia. Se trata de un sistema diseñado para producir un sonido con diferentes tonos para advertir la presencia de la locomotora. Su funcionamiento consiste en hacer pasar un flujo de aire o vapor por una fina lámina o bisel hasta una cavidad cerrada; cuando el aire comprimido dentro de la cavidad, supera la presión del aire entrante, este sale provocando una vibración, cuyo resultado es un sonido con diferentes tonos. El cambio de tono se consigue abriendo más o menos el paso del vapor; el sonido más grave se produce cuanto menos abierto sea este paso.



**Figura 12.1.** Silbato tipo Nathan (izquierda: silbato original; centro: su posición en la locomotora Mikado; y derecha esquema básico de funcionamiento).

La pieza original (figura 12.1) de fabricación americana proviene de una locomotora de vapor “Mikado 141”, custodiada por la Asociación Leonesa de Amigos del Ferrocarril (ALAF). La réplica del silbato se realizará para la locomotora “Mikado 141F-2295”, que procede de RENFE y que fue donada por la Asociación Valenciana de Amigos del Ferrocarril (AVAF) a la Universitat Politècnica de València, recuperando de esta forma alguna de las piezas originales que le faltan.

La **locomotora** Mikado, que significa emperador en japonés, debe su nombre a un importante encargo que Japón realizó a su fabricante original Baldwin en Estados Unidos. Es una locomotora de vapor tipo 1-4-1, nomenclatura expresada en función de la rodadura, y que concretamente para esta máquina indica que tiene 1 eje portante delantero de guía, 4 ejes motrices y 1 eje portante trasero de apoyo. La “F” de su denominación indica que es una locomotora fuelizada, que además de funcionar con carbón, también lo hacían con fuel. Este modelo de locomotora fue utilizado por Renfe en España entre 1953 y 1975, llegando a circular hasta 297 por todo el territorio español, tanto con vagones de pasajeros como de mercancías. De ellas, 117 se construyen por empresas ferroviarias españolas, entregando

la última en 1961. La última locomotora de vapor en servicio comercial en España fue uno de estos modelos, concretamente la “Mikado 141F-2348” que apagó su caldera el 23 de junio de 1975 en la estación de Vicálvaro (Madrid).

Una de las locomotoras de este tipo que aún están operativas en España es la “Mikado 141F-2346”. Depositada en 1974 en Zamora para su desguace, es rescatada por el ayuntamiento de Monforte de Lemos (Lugo), y que cederá posteriormente a la ALAF, trasladándola en 1994 a León para su reparación y hacerla funcionar de forma esporádica. Esta es una de las últimas locomotoras fabricadas por la compañía MTM (“La Maquinista Terrestre y Marítima”) construida en Barcelona y entregada a Renfe en 1957. Esta máquina prestó servicio durante 17 años recorriendo 600.000 kilómetros a lo largo del país.

La “Mikado 141F-2295” ubicada en el campus de Vera de la Universitat Politècnica de València fue fabricada en 1955 en los talleres de Euskalduna (Bilbao). La locomotora fue trasladada en 1982 al patio exterior de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, siendo restaurada para formar parte del patrimonio ferroviario.

### 12.4.2. Medición 3D

La modelización del objeto mediante fotogrametría requiere la planificación y obtención de un conjunto de fotografías adecuadamente ordenadas, para que el software a utilizar pueda reconocer y utilizar correctamente las imágenes. Para ello, es necesario realizar un barrido del objeto tomando el número suficiente de fotos alrededor suyo para que la diferencia entre las imágenes consecutivas sea pequeña.

Para la realización de las fotografías, se ha utilizado una cámara fotográfica de tecnología digital marca Sony, modelo  $\alpha 7R II$  (figura 12.2), que permite garantizar imágenes de alta calidad, dotada de un sensor de imagen CMOS retroiluminado de fotograma completo con 35 mm y 42,2 megapíxeles. El sistema de enfoque automático híbrido cuenta con una amplia cobertura de AF con detección de fases en un plano de zona amplia que mantiene enfocado el objeto de forma precisa en toda el área de la imagen, mientras que sus cinco ejes de estabilización de imagen reducen la borrosidad. La cámara se combina con una lente Sony modelo Macro de 90 mm, lo que permite obtener primeros planos muy próximos al objeto.



Figura 12.2. Cámara fotográfica digital y flash de luz polarizada.

En algunos casos de piezas metálicas con superficies reflectantes, se hace necesario el uso de sistemas de iluminación con un flash con polarización cruzada (figura 12.2). Este tipo de iluminación minimiza los reflejos, que producen distorsiones en la luz y alteran la percepción del color cuando la luz incide en diferentes ángulos.

Para la toma de imágenes, se ha tenido en cuenta que la captura de 4 u 8 fotografías alrededor del objeto es un número insuficiente, puesto que con tan pocas fotos las imágenes tienen grandes cambios entre ellas debido a la perspectiva y el proceso de correlación posterior no sería óptimo. En cambio, la toma de entre 16 y 32 fotografías alrededor del objeto sí que genera un conjunto ordenado y secuencial, de modo que la diferencia entre dos imágenes consecutivas es muy pequeña, que es lo adecuado para trabajar con los programas que se usan en este tipo de procesos.

En primer lugar, se ha desmontado la pieza en dos partes y se ha colocado cada uno de los componentes de la pieza en una plataforma giratoria que permite realizar la toma de fotografías de una manera sistemática. De esta forma se tomarán fotografías alrededor de la pieza desde distintas perspectivas para tener imágenes de todo el conjunto. Esta secuencia fotográfica debe realizarse sin defectos visuales provocados por movimientos bruscos o desenfoques. Asimismo, las fotografías del objeto deben tomarse a una distancia constante de él y definir una trayectoria circular en torno al mismo.

Una vez se dispone de todas las imágenes fotográficas de cada una de las dos partes del silbato de alta calidad, realizadas con el flash de polarización cruzada para minimizar los reflejos de esta pieza metálica, se comienza con el proceso de cálculo, que se realiza en cuatro fases.

En la primera fase se orientan las imágenes determinando el punto de toma de cada una de las fotografías, se realiza una calibración precisa de la cámara, para conocer su focal, distorsión radial y tangencial, y se determinan las coordenadas (x, y, z) de los puntos utilizados en los cálculos. Hay que tener en cuenta, que los datos que se incluyen en las propiedades de las imágenes solo sirven como valor inicial de propiedades de la cámara.

Este proceso comienza con la selección automática en cada una de las imágenes de un conjunto muy denso de puntos con contraste, que permitan ser localizados en imágenes contiguas, y que se denominan puntos homólogos. Este proceso, mediante el cual se localiza el mismo detalle elegido en una imagen y en las imágenes cercanas, se denomina correlación de imágenes. Se trata de un proceso iterativo, puesto que después de cada cálculo se seleccionan los puntos identificados de forma errónea, que son eliminados en un nuevo proceso de cálculo. Es importante ayudar al programa marcando en cada una de las imágenes zonas de exclusión en las que no debe buscar puntos con contraste, ya que esa parte de la imagen no aparecerá en las demás imágenes con la definición necesaria para el trabajo de correlación.

En la segunda fase, se densifica el conjunto de puntos, según la calidad de la imagen disponible, que permita disponer de un modelo de puntos lo más completo posible. En el proceso realizado se ha obtenido un conjunto de puntos lo suficientemente denso, puesto que las imágenes se han capturado con una cámara fotográfica de 42 megapíxeles.

En la tercera fase, y a partir del modelo de puntos anterior, se genera una superficie continua. Para ello, se realiza una triangulación del conjunto de puntos con algoritmos espaciales, obteniendo una malla de triángulos unida por puntos contiguos. Esta malla

triangulada se edita, con el fin de rellenar posibles huecos existentes y de eliminar triángulos innecesarios según criterios de forma y de dimensión mínima, y de esta forma reducir el tamaño del archivo.

La última y cuarta fase del proceso de modelización finaliza con la texturización de la malla a partir de imágenes extraídas de las fotos más adecuadas para la continuidad óptima.

Para escalar el modelo 3D obtenido, se ha escaneado con una cámara de luz estructurada el silbato (figura 12.3), con el objetivo de obtener una nube de puntos en verdadera magnitud, lo que permite obtener la geometría del objeto con una alta precisión métrica. En este caso, al tratarse de un objeto con partes reflectantes, se debe rociar con un spray de escaneo mate de granulado fino, para mejorar su captura y evitar reflejos que distorsionan los haces de luz.



**Figura 12.3.** Escáner de luz estructurada. Escaneo del silbato.

Con la integración del modelo obtenido por fotogrametría y el modelo escaneado con la nube de puntos de alta precisión, se garantiza que la réplica a reproducir mantenga las dimensiones de la pieza original. Una vez georeferenciadas las piezas, se corrigen los posibles errores de ajuste y se ensamblan en un único volumen, para configurar una pieza única.

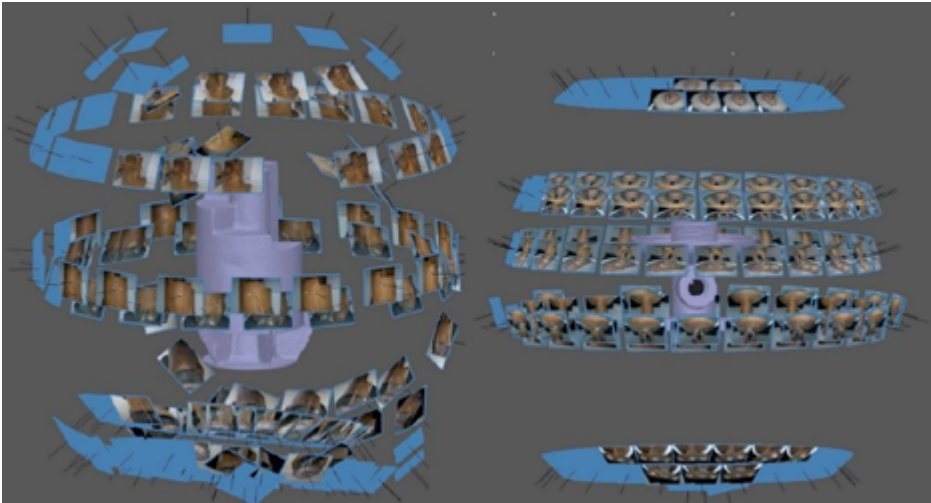
Por último, se prepara la impresión mediante la realización de cortes estratégicos del modelo, así como la selección de espesores, mallado de relleno, etc., para darle la resistencia suficiente a la pieza impresa.

### 12.4.3. Resultados

Una vez realizada la captura de las fotografías de forma ordenada desde diferentes perspectivas, estas imágenes digitales alineadas se incorporan al software correspondiente (*Agisoft Metashape*) para realizar el proceso fotogramétrico. En este caso, se han tomado fotografías de alta calidad de la parte superior del silbato desde 7 circunferencias completas, usando una secuencia de 24 fotos en cada una para recubrir el área del objeto completamente. En el caso de la pieza de la parte inferior del silbato, se han realizado 5

circunferencias completas. Esta disposición garantiza una superposición entre imágenes, esencial para que el software cuente con la información necesaria para reconstruir fielmente la forma del objeto.

Una vez se dispone de 168 imágenes fotográficas (24 x 7) para la parte superior, y de 120 fotos (24 x 5) para la parte inferior del silbato, realizadas con el flash de polarización cruzada para minimizar los reflejos de esta pieza metálica, se comienza con el proceso de cálculo, que se realiza en cuatro fases.



**Figura 12.4.** Estructura espacial de la posición de toma de las imágenes sobre las piezas.

En la primera fase, el programa calcula la posición de la cámara y la orientación de cada fotografía (figura 12.4). Para ello, previamente se han obtenido los coeficientes de calibración de la cámara y la precisión de su geometría (tabla 1).

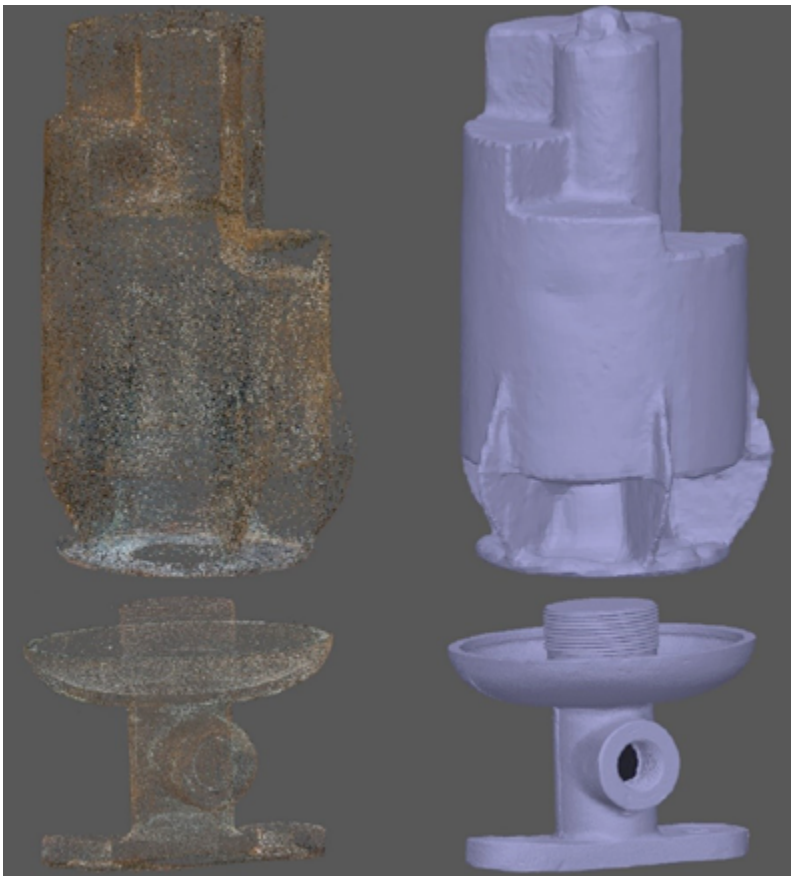
**Tabla 12.1.** Coeficientes de calibración de la cámara y matriz de correlación.

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>11625</b>	0.32	1.00	0.05	-0.38	-0.18	0.15	-0.10	0.03	-0.26
<b>Cx</b>	<b>1.62276</b>	0.4		1.00	0.01	-0.02	0.01	0.00	0.97	0.03
<b>Cy</b>	<b>59.8172</b>	0.43			1.00	0.03	-0.01	0.01	0.03	0.91
<b>K1</b>	<b>0.0408356</b>	0.00025				1.00	-0.95	0.88	-0.01	-0.03
<b>K2</b>	<b>0.106304</b>	0.0042					1.00	-0.97	-0.00	0.02
<b>K3</b>	<b>-0.191446</b>	0.021						1.00	0.01	-0.02
<b>P1</b>	<b>-0.00044155</b>	1.4e-05							1.00	0.04
<b>P2</b>	<b>0.00174217</b>	1.3e-05								1.00



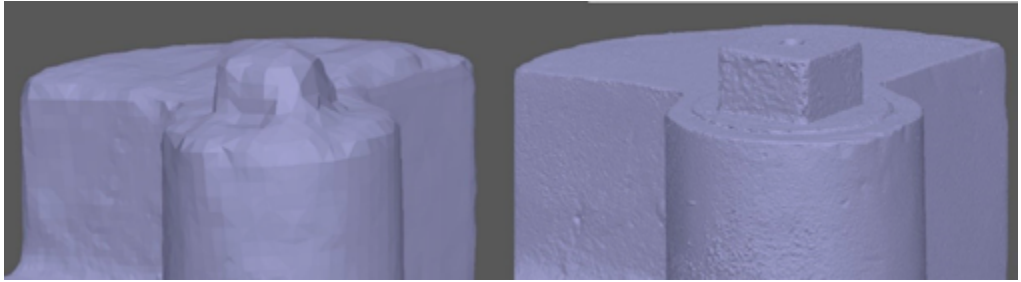
La distancia focal de la cámara ha sido de 52,8 mm, el tamaño de pixel de 4,5 micras, siendo la resolución de cada fotograma de 7952 x 5304. Asimismo, en el proceso de correlación de imágenes se han calculado las coordenadas en el espacio de los puntos característicos, utilizando en la última iteración un total de 76037 de los 83670 puntos detectados inicialmente, cuyo error medio cuadrático (RMS) ha sido de 0,112564 mm.

En las siguientes fases, se construye la nube de puntos y se genera la malla mediante la triangulación del modelo de puntos, subdividiendo el objeto en triángulos irregulares, y de esta forma obteniendo una superficie continua generando el primer modelo 3D. Este primer esqueleto, cuya estructura queda definida por puntos característicos, se muestra en el lado izquierdo de la figura 12.5; pudiendo observar en el lado derecho de la misma figura, la superficie del objeto obtenida por la malla de triángulos que se forma por la unión de puntos contiguos.



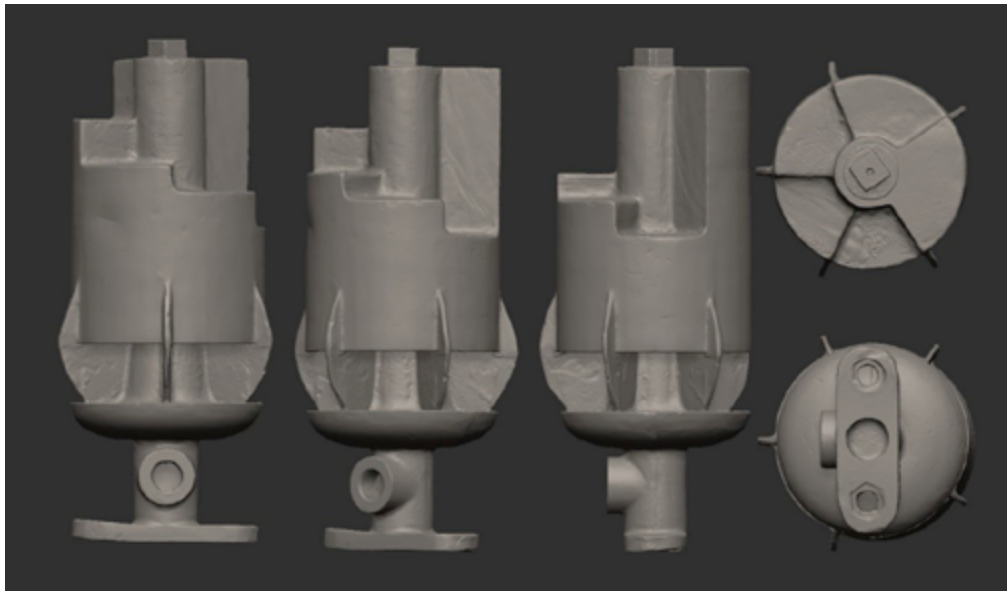
**Figura 12.5.** Puntos característicos y malla que define la geometría 3D del silbato.

Esta primera solución gráfica obtenida, requiere de un tratamiento geométrico donde se densifica la malla triangulada y mediante algoritmos espaciales se genera un segundo modelo digital, donde la estructura de los triángulos se adapta mejor a la forma del objeto, quedando la superficie más suavizada. Este detalle de mejora de adaptación de la malla queda reflejado en la figura 12.6.



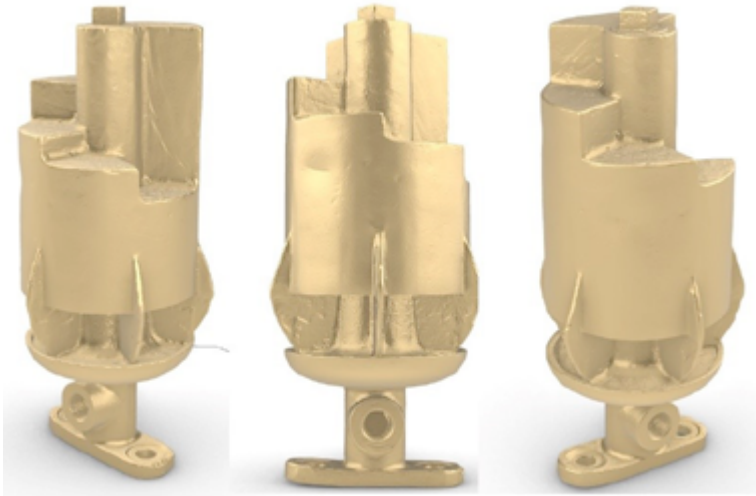
**Figura 12.6.** Detalle del proceso de formación de la malla triangulada.

Este modelo digital 3D, se exporta y se edita con otro software (*ZBrush*) para optimizar su diseño, donde se eliminan polígonos innecesarios, se corrigen errores (especialmente en las zonas de las cavidades) y se moldea para mejorar su apariencia sin alterar su estructura básica que está definida de forma precisa por la nube de puntos (figura 12.7).



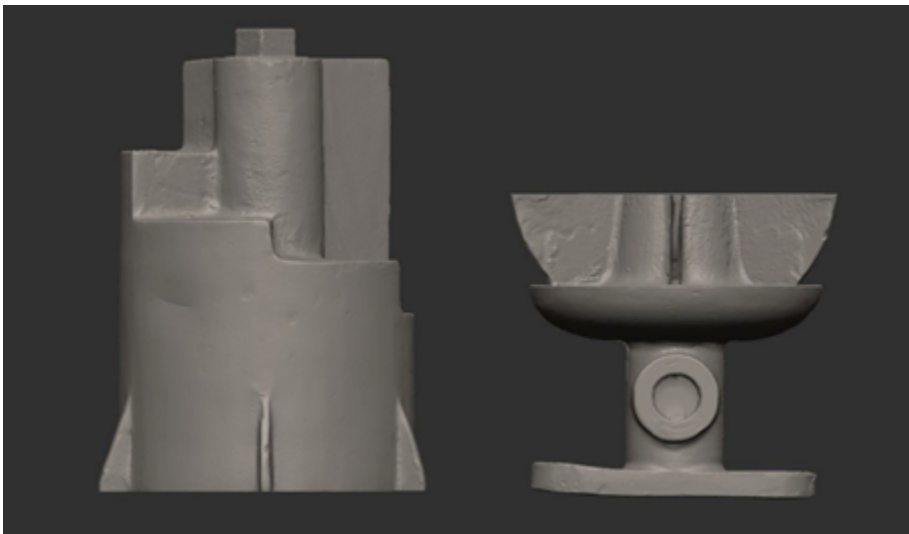
**Figura 12.7.** Modelo 3D del silbato (diferentes vistas de planta y alzado).

Una vez escalado el modelo virtual, añadiendo las coordenadas de la nube de puntos del escaneo, lo que garantizará su verdadera magnitud y mantiene las dimensiones originales, se realiza el texturizado 3D de la malla, a partir de imágenes extraídas de las fotografías para intentar imitar el silbato original. Con este último paso se llega al resultado final objeto de este estudio, obteniendo el gemelo digital 3D (figura 12.8) de un silbato tipo *Nathan* de 5 tonos de una locomotora ferroviaria *Mikado*, relejando con exactitud el objeto físico.



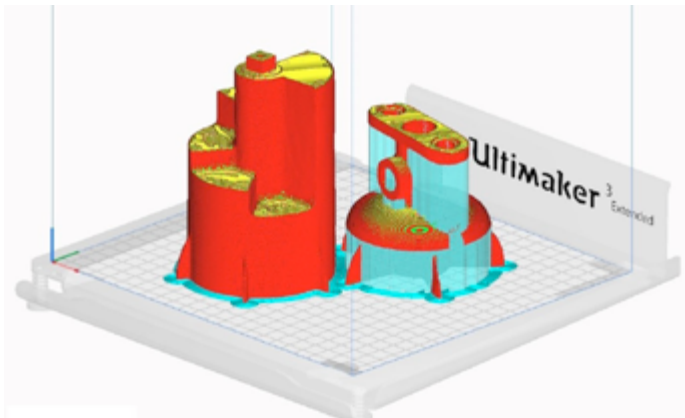
**Figura 12.8.** Modelo 3D texturizado del silbato (3 vistas en perspectiva).

Por último, se prepara el modelo digital para su impresión 3D, realizando un estudio de las posibles secciones para la fabricación por piezas del silbato, considerando la rigidez del objeto y la eficiencia de impresión en función del tamaño útil de la impresora, tiempo de impresión y cantidad de material a utilizar. Por tanto, hay que tener en cuenta el tamaño de la pieza a imprimir en función al modelo de impresora a utilizar. La impresora utilizada, *Ultimate 3 extender*, tiene un volumen útil de impresión definido por las siguientes dimensiones: 20 cm de ancho, 20 cm de largo, y 30 cm de altura. La pieza tiene una altura de 42,5 cm y la parte cilíndrica tiene un diámetro de 16 cm, al que hay que añadir 2 cm por los soportes. En la figura 12.9, se muestra la división seleccionada más óptima de las dos piezas del modelo que se han preparado para su impresión.



**Figura 12.9.** Modelo del silbato dividido en 2 piezas para su impresión.

En el software de la impresora (*Cura Ultimaker*) se seleccionan todos los parámetros de impresión (figura 12.10). Entre ellos se ha definido una altura de capa de 2 mm y un relleno para dar resistencia al modelo con patrón triangular del 10%. El material seleccionado ha sido el copolímero PETG, un termoplástico de poliéster o polímero (Tereftalato de Poli-Etileno modificado con Glicol), que le confieren características ideales para crear piezas resistentes, con gran estabilidad térmica y fácil de termoformar o extruir. Se trata de un material que facilita la impresión, con buena resistencia mecánica y química, y además es reciclable.



**Figura 12.10.** Preparación de las 2 piezas para su impresión.

De esta forma, se obtiene la réplica física en color blanco del silbato de la locomotora, imprimiendo las piezas a tamaño real (figura 12.11). La parte superior del silbato no ha necesitado soportes adicionales, sin embargo, la parte inferior sí que ha necesitado añadir soportes para su impresión. Cada una de las piezas requirió 48 horas de impresión y casi 750 gramos de material.



**Figura 12.11.** Impresión 3D del silbato (izquierda: parte inferior, derecha: parte superior).

La figura 12.12 muestra el resultado final de la reproducción del silbato mediante impresión 3D, reflejando con precisión su similitud con la pieza original.



**Figura 12.12.** Réplica física del silbato junto con la pieza original.

### 12.5. Conclusiones

En este capítulo se ha presentado como algunas de las metodologías utilizadas en la ingeniería geomática se aplican en la modelización 3D, más en concreto, en la obtención de gemelos digitales o modelos virtuales que representan con precisión un objeto físico. La topografía industrial permite definir geoméricamente y en verdadera magnitud cualquier elemento o producto industrial, independientemente de su tamaño, forma y características.

Mediante la medición de alta precisión de prototipos o equipos industriales, se pueden abordar procesos de ingeniería inversa, que permiten el estudio de un producto físico ya creado para llegar a su diseño generando su modelo 3D. Estas técnicas de topografía industrial pueden aplicarse a piezas industriales de cualquier tamaño, desde un silbato hasta vehículos ferroviarios.

Una de las utilidades de este proceso es la de reproducir piezas 3D ya fabricadas a partir de su definición digital. En este caso práctico, se ha expuesto cómo se ha llevado a cabo la obtención del modelo digital del silbato de una locomotora de vapor tipo Mikado 141, para seguidamente realizar su réplica física mediante impresión 3D, y de esta forma dotar a la locomotora de la Universitat Politècnica de València de un silbato que no disponía.

## 12.6. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a Buenaventura Durruti, presidente de ALAF y al miembro de la misma, José Ramón Solaz por el préstamo y gestión de la pieza original.

## 12.7. Referencias bibliográficas

Ametek Instrumentos – División Creaform. (2023) “Qué es ingeniería inversa”. Disponible en: <https://www.creaform3d.com/blog/es/que-es-ingenieria-inversa/>.

AsorCAD Engineering S.L. (2023) “Qué es y para qué sirve la ingeniería inversa”. Disponible en: <https://www.asorcad.es/blog/que-es-y-para-que-sirve-la-ingenieria-inversa/>.

Aula 21 (2023) “Impresión 3D”. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-impresion-3d/>.

Eltner, A. y Sofia, G. (2020) “Structure from motion photogrammetric technique”. *Developments in Earth Surface Processes*, 23, 1-24.

Jover, R.T. et al (2016) “Structure from motion”. ISBN: 978-84-945284-2-2.

Priego, E. y Porres, M. (2002) “La triangulación de Delaunay aplicada a los modelos digitales del terreno”. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4038958>.

Saavedra, J. Á. (2023) “Qué es el modelado 3D y cómo funciona”. Disponible en: <https://ebac.mx/blog/que-es-el-modelado-3d>.





UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



IRP INSTITUTO DE  
RESTAURACIÓN DEL  
PATRIMONIO  
INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN



GENERALITAT  
VALENCIANA



UNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA