

---

# CARACTERIZACIÓN DE PIEZAS METÁLICAS DEL YACIMIENTO DE TORRE D'ONDA A TRAVÉS DE SU IMAGEN RADIOGRÁFICA

Clara M<sup>a</sup>. Aznar Portoles<sup>1</sup>, Jose A. Madrid García<sup>1</sup>, Jose M. Melchor Montserrat<sup>2</sup>  
y/and Montserrat Lastras Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Universitario de restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de Valencia (València, España).

<sup>2</sup> Museo Arqueológico Municipal (Burriana, España)

**Autor de contacto:** Jose A. Madrid García, jmadrid@crbc.upv.es

**RESUMEN:** Uno de los problemas a los que se enfrenta un arqueólogo en el tratamiento de piezas procedentes de un yacimiento es su gran número. Un tratamiento eficiente de cada una de ellas provoca un gran consumo de recursos y sobre todo de tiempo. Tener la imagen radiográfica del objeto puede ser de gran utilidad a la hora de discriminar una pieza de otras, siempre ocultas bajo una capa considerable de corrosión. En esta investigación se plantea una prueba de concepto con la finalidad de ayudar en ese proceso de selección a través de su valoración, atendiendo a una serie de factores puestos en común mediante un trabajo interdisciplinar. Factores como la forma, el porcentaje de núcleo metálico, su relación con el contexto arqueológico o su grado de fragilidad permiten establecer estrategias que ayudarán por un lado a la selección de piezas que tengan interés para su musealización, frente a aquellas que por su estado deben permanecer almacenadas. El proceso llevado a cabo, en esta prueba de concepto, ha contado con 193 piezas procedentes del yacimiento de Torre d'Onda Burriana (Castellón), en el que se diseñó una base de datos creada para este efecto, donde se ha trabajado tanto con la imagen visible y la imagen radiográfica de cada una de las 193 piezas que han sido caso de estudio.

**PALABRAS CLAVE:** RX, metal, arqueología, conservación, bases de datos, Torre d'Onda

---

**TITLE:** *Characterization of Metal Objects from the Archaeological Site Torre d'Onda through its Radiographic Image*

**ABSTRACT:** *One of the problems an archaeologist faces in the treatment of pieces from a site is their large number. An efficient treatment of each one of them causes a great consumption of resources and especially of time. Having the radiographic image of the object can be very useful when it comes to discriminating one piece from others, always hidden under a considerable layer of corrosion. In this research, a proof of concept is proposed in order to help in this selection process through its evaluation, attending to a series of factors put in common through interdisciplinary work. Factors such as the shape, the percentage of metal core, its relationship with the archaeological context or its degree of fragility allow establishing strategies that will help, on the one hand, in the selection of pieces that are of interest for musealization, compared to those that, due to their state, must remain stored. The process carried out, in this proof of concept, has included 193 pieces from the Torre d'Onda Burriana site (Castellón), in which a database created for this purpose was designed, where so much work has been done with the visible image and the radiographic image of each of the 193 pieces that have been a case study.*

**KEYWORDS:** *Rx, metal, archeology, conservation, databases, Torre d'Onda*

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo surge nuevamente de la colaboración entre el Museo Arqueológico Municipal de Burriana (Castellón) y el Laboratorio de Documentación y Registro (LDR-UPV) a través de su Unidad de Inspección Radiológica del Instituto Universitario para la Restauración del Patrimonio (IRP) en la Universitat Politècnica de València (UPV). Colaboración que se ha mantenido a lo largo de estos últimos años, a través de estudios en distintas áreas como son piezas cerámicas o elementos metálicos (Díaz, 2014 y 2018; Gómez, 2015; Madrid y Melchor, 2016, Madrid y Ramírez, 2011).

Todo este trabajo colaborativo y multidisciplinar, entre distintos perfiles profesionales como arqueólogos, conservadores y radiólogos, de los conjuntos examinados tienen el objetivo de ayudar en los procesos de intervención emprendidos desde el mismo momento de la extracción de las piezas en yacimiento para su gestión documental, apoyo en sus sistemas de almacenaje y su posible musealización.

Como eje de todos ellos es la implementación de la inspección radiográfica ya en la fase de trabajo de campo, dado que es una técnica no invasiva, rápida y con un bajo coste efectivo. La revisión bibliográfica indica que son ya muchos los estudios que avalan esta estrategia y que muestran en sus estudios la valía de este

tipo de registro, la imagen radiográfica para poder ver tras la gruesa capa de productos de corrosión y determinar numerosos aspectos relativos a su análisis potencial como; el estado real de la pieza o la evaluación de la pieza a través del reconocimiento de la forma y manufactura, entre otros muchos (Fell *et al.*, 2006).

Siguiendo con esta línea de trabajo, para esta investigación se ha contado con 193 fragmentos, todos ellos objetos metálicos, que proceden del yacimiento de Torre d'Onda localizado en el término municipal de Burriana (Castellón). Piezas que nuevamente pertenecen a los fondos del Museo Arqueológico Municipal de Burriana (Castellón). Los fragmentos fueron extraídos durante las campañas realizadas entre 1977 y 2007.

Torre d'Onda se sitúa justo en la costa en el límite de una zona donde los terrenos de marjal penetraban de una forma muy importante hacia el interior. Formaba un pequeño montículo que fue arrasado en el siglo XIX durante los trabajos de desecación de la zona. Posteriormente fue muy afectado por la construcción de abundantes casas y del paseo marítimo.

Lo restringido de la zona excavada no permite asegurar con certeza la existencia de un primer enclave del siglo VII o VI a. C., quizás asociado al final de la Edad del Hierro. Desde luego se trataría de un asentamiento puntual con construcciones perecederas, ya que los restos detectados (cerámica a mano y posibles estructuras) son muy escasos. Evidentemente el establecimiento más importante lo tenemos en época iberorromana, donde se puede documentar abundante material de esta cronología, concretamente a partir del siglo III a. C.; se trata de unos restos muy homogéneos compuestos por grandes recipientes como ánforas, kalathoi, ollas, tinajas, pequeñas vasijas, restos de elementos de hierro, plomo, fauna, etc, todo ello junto a abundante cerámica campaniense.

Todos estos artefactos aparecen en un contexto general de arrasamiento de estructuras y niveles y los encontramos casi exclusivamente en acumulaciones cerámicas. Torre d'Onda estaría relacionado con el comercio costero de cabotaje en época ibérica y romano-republicana de cabotaje, prácticamente desapareciendo al inicio de la época imperial debido a la existencia de grandes propietarios romanos con intereses en la viticultura de la Hispania Citerior, que alteran los circuitos comerciales y el sistema de explotación del territorio (Melchor, 2013).

El conjunto objeto de estudio está compuesto, casi en su totalidad, por objetos de hierro más una pequeña muestra de piezas de bronce y restos de plomo, que presentan distintos estados de conservación (fig.1).



Figura 1. Lote de piezas que han sido caso de estudio.

En esta ocasión, el objetivo principal de este trabajo ha sido emplear la imagen radiográfica del conjunto de piezas metálicas procedente de Torre d'Onda, que ayudará en el análisis cualitativo y conservativo a la hora de la realización de un inventario y su posterior uso como herramienta de gestión a nivel de conservación/restauración, especialmente en museos. Para ello, su propósito es probar un sistema de valoración para estos objetos que son caso de estudio a través de la comparativa entre la imagen visible y su radiografía.

El punto de partida de este proceso ya se empleó en el trabajo de Díaz (2014), también como fruto de la colaboración de ambas instituciones y en el que se propone una metodología de la comparación de ambas imágenes para analizar una colección de objetos metálicos del yacimiento de Sant Gregori (Burriana, Castellón). Esta metodología se apoya en el estudio de llevado a cabo por el Flemish Institute for the Archaeological Heritage (Cleeren, 2006), el cual determina que serían necesarios 24 años para limpiar completamente un total de 25.000 piezas de hierro procedentes de un mismo yacimiento. El proceso se redujo a dos años y medio con el empleo de la imagen radiográfica de estos objetos. De esta manera se focalizó el esfuerzo a dos tercios de los hallazgos a las que se les realizó una limpieza parcial, o llamada por sus autores como limpieza diagnóstica. En el estudio de Díaz, el método comparativo consiguió discriminar trece de los 278 objetos radiografiados. Lote que presentaba un carácter singular que los diferenciaba del resto, como son; escarpas, una anilla de un cinturón, un oscultorio, fragmentos de cuchillos o tijeras, además de la selección de los clavos que mostraban mejor estado de conservación.

Para completar el marco teórico, que se propone en el presente trabajo, se ha tenido en cuenta el estudio reciente de Caple y Garlick (2018). Los autores consideran que estos sistemas, basados únicamente en la comparativa de imágenes, son demasiado subjetivos a la hora de valorar los objetos. Eso les lleva a plantear un sistema numérico que ayude en este sistema de criba. Para ello proponen añadir un valor a diferentes parámetros, o características, de los objetos examinados. Esta valoración, según los autores, permite realizar una

discriminación mucho más objetiva. En su estudio, el valor de estos factores, o parámetros, se basó en tres criterios a los que se da un valor numérico. Estos factores son la forma que permite la identificación del objeto, el porcentaje de núcleo metálico y un último factor que lo relaciona con el contexto arqueológico del yacimiento. Finalmente, estos valores son sumados, o multiplicados, en función del criterio del arqueólogo y las necesidades del estudio, ofreciendo un valor numérico para cada objeto.

En ese sentido, el LDR-UPV cuenta con experiencias previas en el uso de factores de ponderación con el propósito de ayudar en los procesos de selección de un lote de piezas (Aznar, 2018). Gracias a este protocolo de trabajo se demostró su empleabilidad en los sistemas de gestión de una colección. La base de datos creada para ese estudio reportaba un informe que ordenaba las piezas, de forma descendente, no atendiendo a la cantidad de patologías que mostraban, sino a la importancia de las mismas. De esta manera, las referencias obtenidas con estos trabajos, en el presente estudio se plantea la posibilidad de crear una prueba de concepto que, nuevamente, a través del diseño de una base de datos testeé este sistema de valoración mediante la comparativa de la imagen visible y su imagen radiográfica. Comparación que permite la detección de las características propias del objeto y la asignación de un valor numérico a cada una de ellas.

## 2. OBJETIVOS

El marco teórico antes expuesto plantea un objetivo principal que se define en el empleo de la técnica radiográfica en un conjunto de materiales féreos arqueológicos procedentes de del yacimiento del yacimiento ibero romano de Torre d'Onda y depositados en el Museo Arqueológico Municipal de Burriana (Castellón). Información que se recogerá en un *Sistema de Administración de Bases de Datos* (DBMS), creado para la ocasión, y permitirá realizar un análisis cuantitativo y cualitativo, así como conservativo del conjunto.

Como se ha indicado, a través del trabajo colaborativo entre los distintos profesionales, como es la labor de un arqueólogo, conservadores y un radiólogo, implicados en este estudio se van a definir los distintos factores de ponderación que ayudaran a organizar la información facilitada por la DBMS, que se desarrollará. Los factores de ponderación (FP) planteados han sido;

- Forma; valorando si esta está intacta bajo la capa de herrumbre y su singularidad.
- Porcentaje de su núcleo metálico; que posibilita la viabilidad de los procesos de limpieza que se pueden proponer.

- Contexto, valorando el estrato en el que fueron hallados.
- Estado de conservación; desde una visión general del conjunto de patologías que muestra la pieza y que determinan su grado de fragilidad.

Estos FP permitirán el reconocimiento de la selección de piezas a través de su valoración individual o global, la discriminación de piezas completas, la valoración preliminar de su estado de conservación y la distribución en rangos de valores de estos. Todos ellos pensados para generar recomendaciones dirigidas a las medidas de conservación del conjunto que también se pueden utilizar desde el punto de vista museográfico de la entidad.

De forma directa, la aplicación al yacimiento, que es caso de estudio, de este procedimiento puede ayudar a conocer sus aspectos morfológicos derivados de las tipologías reconocidas, aspectos tecnológicos referidos a su manufactura, conservativos revelados a través de las alteraciones puestas de manifiesto en la imagen radiográfica y las posibles aclaraciones dentro del ámbito de la contextualización. Además, este mismo procedimiento se plantea bajo una perspectiva que está abierta no solo a la inserción de nuevos registros, sino a la incorporación de nuevos FP que la conviertan en más efectiva.

## 3. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada cuenta con dos fases de trabajo. Por un lado, el registro documental de todas las piezas previamente seleccionadas con la obtención de las imágenes en rango visible y su correspondiente imagen radiográfica y por otro lado la creación una DBMS, donde se recogen los aspectos técnicos de las piezas y la valoración establecida por los FP. En esta última de las fases se procesa la información recopilada mediante la creación de consultas e informes que faciliten los resultados propuestos.

### 3.1. Estudio fotográfico y radiológico

El trabajo fotográfico y radiográfico, como ya se ha mencionado, se realizado con la infraestructura de la Unidad de Inspección Radiológica pertenecientes al Laboratorio de Documentación y Registro (LDR-UPV) del Instituto Universitario para la Restauración del Patrimonio (IRP) en la Universitat Politècnica de València (UPV).

La organización de las piezas aportadas desde los fondos del Museo Arqueológico Municipal de Burriana (Castellón) pertenecientes al yacimiento que es caso de estudio, se han distribuido en varios conjuntos montados sobre una plancha rígida, que se adaptaban al área del chasis que servirá para la obtención de la placa

radiográfica. La plancha contaba con un sistema de escala y las referencias de siglado. Dependiendo del tamaño de cada una de las piezas, e intentando seguir el su siglado, los 193 objetos se han distribuido en 32 conjuntos. Este sistema de montaje permite la reproducción de los conjuntos examinados en similares condiciones.



Figura 2. Proceso de toma de imágenes en una mesa de reproducción Kaiser® RS10 Copy Stand.

El registro fotográfico se ha realizado con luz visible en una mesa de reproducción Kaiser® RS10 Copy Stand. Se ha utilizado una cámara réflex marca Canon® modelo EOS 150d (fig.2). Para la obtención de las imágenes radiográficas se ha empleado una unidad de rayos X modelo TRANSPORTIX 50, de la empresa General Electric®. Este equipo tiene un tubo de rayos X de 3 kW y un foco de 2,3 mm con una filtración total de 2 mm de aluminio, características que le permiten trabajar en voltajes muy bajos, con un rango de 20 a 110 kV. Dentro de este rango se encuentran los voltajes más usados en el estudio de las piezas de nuestro campo (Madrid, 2014). El rango de intensidad de corriente que proporciona el equipo también es adecuado para este tipo de estudios, gracias a sus valores fijos de 10 y 20 mA. El sistema de centrado y localización del área irradiada se consigue a través de un colimador por luz.

Así mismo se ha contado con un Indicador de Calidad de Imagen tipo dúplex (IQI) de la norma ISO 19232 de la empresa Kowotest®. Las imágenes radiográficas se han obtenido a través de un chasis CR MDT4.0T, también de AGFA®, con un formato de 35 × 43 cm y un tamaño de matriz de píxel de 3480 × 4248 (fig.3).

Los parámetros empleados para la adquisición de las 32 placas radiográficas, obtenidas en soporte de tipo digital, se han mantenido constantes, siendo las características de estos; 75 kV de voltaje, con una intensidad de 20 mA y una exposición de 2 seg en cada una de ellas. En el estudio la distancia entre la fuente de rayos X y el registro radiográfico se ha mantenido en 100 cm. Se ha empleado una estación de trabajo de Radiografía Computerizada de radiografía indirecta con digitalizador CR 30-X, de la empresa AGFA® para el procesado de las placas radiográficas. Operación que se

combina con el programa de identificación de imágenes y control de calidad AGFA® NX.



Figura 3. Proceso de toma de radiografías.

Este protocolo de trabajo permite tener una comparativa entre ambos registros de imagen, donde se mantienen de forma constante los valores de escala entre todas las piezas examinadas (fig.4).

Tras esta primera etapa de trabajo se pudo establecer el número exacto de piezas que iban a ser recogidas en la fase de creación de la base de datos. Dentro de este reagrupamiento en el registro 895 se agruparon tres piezas de plomo en un mismo número de referencia (TO - 3). Así mismo, en el registro 909 y 910 se agruparon en una misma referencia dos piezas que presumiblemente formaban parte del mismo objeto (TO - 105, TO - 106). Por último, se desestimaron algunos fragmentos, como el aparecido en el registro 922, pues no tenía núcleo metálico. Después de estos ajustes, el número inicial de fragmentos de 192, se han agrupado en 188 objetos (tabla 1).



Figura 4. Comparativa entre visible e imagen radiográfica del registro 896.

Tabla 1. Distribución de las piezas en las placas radiográficas.

Ref.	Sigla	nº	Objetos
893	Torre d'Onda. A-J Sector B (1977)	6	1 a 6
894	Torre d'Onda. Departament "E" (1898)	1	7
895	Torre d'Onda. A-5 Sector B (1977)	7	8 a 12
896	Torre d'Onda 94. Jall W. (Dipu Castellón?)	6	13 a 18
897	Torre d'Onda. Departament "D" Carrer (1989)	1	19
	Torre d'Onda - 1989. NETE Nord-est 1'48-100 (Depart. "C")	1	20
	Torre d'Onda. N -III (1988)	1	21
898	Torre d'Onda. Departament "C" (1989)	1	22
	Torre d'Onda. Sin especificar (1977)	1	23
899	Torre d'Onda. Departament "C" (1989)	3	24 a 26
900	Torre d'Onda. A-5 Sector C (1977)	7	27 a 33
901	Torre d'Onda. A-6 Sector A (1977)	13	34 a 46
902	Torre d'Onda. Perfil nord (1989)	2	47 a 48
	Torre d'Onda. Prolongacio II Perfil nord (1989)	3	49 a 51
903	Torre d'Onda. A-6 Sector C (1977)	9	52 a 60
904	Torre d'Onda. A-6 Sector C (1977)	14	61 a 74
905	Torre d'Onda. A-6 Sector C (1977)	17	75 a 91
906	Torre d'Onda. Nete nord-est 1,48-1,00 (1989)	1	92
	Torre d'Onda. Departament "C" (1989)	1	93
	Torre d'Onda. Departament "C" (1989)	1	94
	Torre d'Onda. N-III Fosa Central Norte (1988)	1	95

907	Torre d'Onda. A-4 Sector D (1977)	3	96 a 98
908	Torre d'Onda. Cata metales 29 (1988)	3	99 a 101
909	Torre d'Onda 1988. Nivel II (96)	5	102 a 105
910	Torre d'Onda. A-4 Sector A (1977)	2	106 a 107
	Torre d'Onda. Sector 9 (1989)	3	108 a 109
911	T. D'Onda 88 - Nº 26	1	110
	Torre d'Onda. TO 77 A-1 DEL ?L 30 (1977)	1	111
	Torre d'Onda 1988 (101)	1	112
	Torre d'Onda. Zanja central norte (1988)	1	113
912	Torre d'Onda. A-6 Sector D (1977)	1	114
	Torre d'Onda. Nivel II (82 1988)	1	115
	Torre d'Onda. Cata metales hierro 73 (1988)	1	116
	Torre d'Onda. Departament "A" (1989)	1	117
913	Torre d'Onda. Nivel III (148)	2	118 a 119
	Torre d'Onda. Departament "E" (1989)	3	120 a 122
914	Torre d'Onda. A-4 Sector C (1977)	9	123 a 131
915	Torre d'Onda. Torre d'Onda II (2007)	1	132
	Torre d'Onda. A4, 5C (1977)	1	133
	1988 T' d'Onda. Nivel II	1	134
	Torre d'Onda. A-6 Sector A (1977)	1	135
	Torre d'Onda. Angulo NE (lucerna) (1989)	1	136
916	Torre d'Onda. N-III (1988)	2	137 a 138
	Torre d'Onda (?). N-II 102 (1988)	2	139 a 140
	Torre d'Onda. A-4 Sector C (1977)	1	141
917	Torre d'Onda 1989. NETE NORD-EST 1,48-1,00 (DEPART. C)	2	142 a 143
	Torre d'Onda. A-1 / N-III 112 (1989)	2	144 a 145
	Torre d'Onda 1988. (90)	2	146 a 147
918	Torre d'Onda 1988. Zanja paralela muro (A1 Nivell II)	2	148 a 149
	Torre d'Onda. Día 28 (1977)	2	150 a 151
	Torre d'Onda. Senda TO-II (2007)	3	152 a 154
919	Torre d'Onda. N-III (1988)	4	155 a 158
	Torre d'Onda. BERLUS (2007)	3	159 a 161
920	Torre d'Onda. A6 - Sector I (1977)	2	162 a 163
	Torre d'Onda. A-I GRAVAS INFERIORES (1988)	5	164 a 168
921	Torre d'Onda. A-1 / N-III (1989)	7	169 a 174
922	Torre d'Onda (1977)	9	175 a 183
923	Torre d'Onda (1977)	5	184 a 188

### 3.2. Creación de la base de datos y estimación de los factores de ponderación

Para la indexación y clasificación del conjunto se diseñó un Sistema de Administración de Bases de Datos (DBMS), a través de software Access®, perteneciente al

sistema ofimático de Microsoft Offices®. Se ha elegido el software Access® para gestionar la información dada su accesibilidad y disponibilidad, así como su facilidad en su manejo. Este software que permite eliminar, añadir, modificar datos, así como visualizarlos de diferentes formas y exportarlos a diversos medios.

Gracias al sistema de relaciones que permite Access® entre tablas, los datos están interrelacionados, facilitando la realización de consultas con las que elaborar informes y obtener resultados sobre la colección rápidamente. Las bases de datos se apoyan en la información que contienen no solo en cada registro individual, sino en el conjunto de información obtenida tanto a través de todos los registros como de sus relaciones. Esto permite corregir errores, u observar la importancia de un determinado aspecto, tanto a nivel individual como de conjunto.

Como uno de los principales objetivos de la documentación en museos e instituciones similares es buscar un sistema normalizado que facilite el intercambio y difusión de la información, como hemos indicado, el inventario de las piezas se ha apoyado en la base de datos realizada con anterioridad por Díaz (2014) para catalogar un conjunto de piezas de la villa romana de Sant Gregori, depositadas también en el Museo Arqueológico de Burriana. Por ese motivo que se han mantenido en esta DBMS toda la información recogida en la ficha catalográfica, como: n° de inventario, yacimiento, tipología de objeto, material constituyente o determinación de proceso de manufactura, así como los de medidas, peso y la existencia de decoración. Así mismo, se ha mantenido el subformulario que guarda la imagen de cada una de las piezas.

Al formulario principal se le han sumado los mencionados factores de ponderación (FP). La elección de estos factores se basa tanto en criterios de valor tanto arqueológico como conservativo, y persigue adaptarse a las labores habituales de un museo. A cada factor se le otorga un valor del 1 al 5, siendo 1 el valor negativo y 5, positivo. Valores que van en relación con características propias de cada uno de los factores. Los FP elegidos en esta prueba de concepto son los siguientes:

- Forma: permite diferenciar la tipología y, por tanto, la funcionalidad del objeto. Para valorar cada tipología por sí misma, como podríamos hacer comparando, por ejemplo, un clavo frente a una joya, donde sería necesario conocer su forma completa. Por este motivo se ha valorado cómo el grado de identificación que permite la imagen radiográfica, así como su integridad física, determinado si está fragmentada o no. Este factor se ha valorado teniendo en cuenta que un mínimo porcentaje conservado puede dificultar la adscripción del fragmento a un objeto y tipología concretos (tabla 2).

- Porcentaje de núcleo conservado: atendiendo a criterios conservativos se valora la cantidad de núcleo metálico conservado y que es observable a través de la radiografía (tabla 3).
- Contexto arqueológico: relacionado con la posibilidad de establecer un contexto cultural, cronológico o estratigráfico para la pieza. Para esta valoración se tiene en cuenta el contexto como tal, que puede tener mayor o menor complejidad, ya que puede tratarse, por ejemplo, de un nivel de prospección, de una excavación, o de un artefacto que todavía se encuentre en proceso de estudio (tabla 4).
- Estado de conservación: expresado como un índice de manipulación del objeto y no como una descripción profusa de las diferentes patologías, ya que su objetivo es conocer su estado para poder manipular el objeto con seguridad durante los estudios previos, y no realizar una propuesta de intervención demasiado anticipada (tabla 5).

Tabla 2. Valoración del factor 'forma'

Valor	Justificación
1	No identificable
2	Incompleta
3	Parcialmente completa (más del 50% de la pieza)
4	Completa fragmentada
5	Integra

Tabla 3. Valoración del factor 'porcentaje núcleo conservado'

Valor	Justificación
1	Sin núcleo metálico
2	< 10% de núcleo metálico
3	< 50% de núcleo metálico
4	>50% y < del 80% de núcleo metálico
5	>80% de núcleo metálico

Tabla 4. Valoración del factor 'contexto arqueológico'

Valor	Justificación
1	Sin contexto
2	Contexto general (prospección, niveles revueltos, etc.)
3	Contexto complejo (varias Unidades Estratigráficas, contexto en proceso de estudio, etc.)
4	Contexto cerrado
5	Pieza única

Tabla 5. Valoración del factor 'índice de manipulación'

Valor	Justificación
1	Pieza no manipulable
2	Pieza manipulable solo con intervenciones previas de estabilización
3	Pieza manipulable en condiciones restringidas
4	Pieza manipulable en condiciones normales de conservación
5	Pieza estable

El sistema de valoración mediante los FP se completa con la creación de una serie de consultas, o filtrado de datos, diseñadas dentro de la DBMS que de forma automática reporten una información de carácter global o en detalle del conjunto de piezas estudiadas. Consultas que, de forma ininterrumpida, se actualiza en el mismo

momento del ingreso de nuevos registros. Los aspectos estudiados han sido:

- Valoración individual de los objetos: este resultado numérico reporta el sumatorio del conjunto de FP cada uno de los registros. Generando un informe donde se muestran los resultados de mayor a menor.
- Valoración preliminar del estado de conservación: reporta la combinación de dos FP; índice de manipulación y porcentaje de núcleo conservado. Su finalidad no es definir el estado de conservación, sino advertir de los riesgos de manipular los objetos peor conservados durante el proceso de estudios previos, así como recomendar una posible intervención de urgencia en los casos que se precise. Los valores de corte para cribar el conjunto han sido mostrar las piezas con menos de un 50% de núcleo metálico y un índice de manipulación menor de 2.
- Piezas completas: a través de esta consulta permite una mejor aproximación a un estudio morfológico y de identificación de tipologías más completo.
- Rangos por valores: consulta que reporta dos extremos, por un lado, objetos que deben ser almacenados para ser intervenido en el futuro, o bien piezas que tiene interés expositivo tanto por su valor cultural como por la información que aportan sobre el yacimiento. Estos dos informes son meras recomendaciones en el ámbito de la gestión museográfica que demostraran la validez de la prueba de concepto.
- Distribución por tipologías: siendo conscientes de que la gran mayoría de piezas estudiadas han sido clavos, se ha considerado indagar en la clasificación de sus características tipológicas. Para ello se ha tenido presente el trabajo de Manrique (1980) sobre los clavos hallados en el yacimiento de Numancia (Soria). Considerando 11 tipos, atendiendo a la forma de su cabeza, distribuidos en; cuadrangular, redondeada, apiramidada, plana, trapezoidal, rectangular alargada, clavos de terminados en anilla, forma de tambor, abarquillada, semiesférica y rectangular plana en forma de escudo.
- Valoración global: en esta última consulta se reporta el sumatorio de todos los FP del conjunto de todas las piezas. El valor numérico obtenido nuevamente se extrapola a una escala del 1 al 5. El informe final ofrece datos sobre la tendencia de la colección en relación con cada uno de los FP examinados.

## 4. RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación son los que la DBMS ha reportado en el momento de la presentación de este trabajo. Es necesario indicar que esta investigación sigue abierta no solo a la compilación de más piezas, sino que sigue trabajando en las posibles interrelaciones entre los actuales FP y los que se están ahora desarrollando.

### 4.1. Valoración individual de los objetos

El informe reportado de esta consulta marca un rango de valores entre 5 y 20. De esta forma, este listado nos muestra la pieza por un lado las de mayor valor, donde destacan la pieza registrada con la referencia TO - 16 (fig.5) y la TO - 122 con un valor de 16, frente a las de menor valor como TO - 78 y TO - 126 con un valor asignado de 6. Las piezas con elevado valor numérico muestran una forma identificable y su estado de conservación es bueno, frente a las piezas de menor valor que son fragmentos totalmente mineralizados que han perdido todo su núcleo metálico y no presentan una forma definida.



Figura 5. Pieza TO - 16, comparativa entre imagen visible y su imagen radiográfica.

La media de todos los valores se sitúa en 12 siendo este también su valor de moda, recogiendo 51 piezas del conjunto (30,32 %). El resto del conjunto coloca 74 piezas (39,36 %) por encima de este valor y 63 piezas (33,51 %) por debajo del mismo (fig.6). A la vista de este gráfico se observa que el 90 % de los artefactos e encuentran entre los valores 10 a 15.

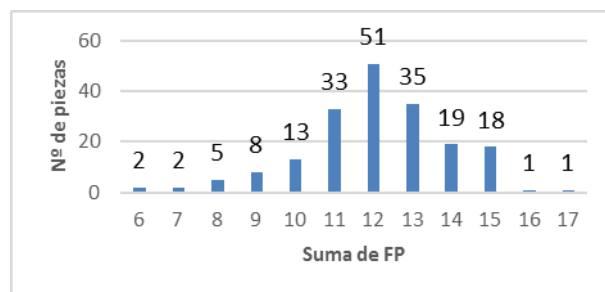


Figura 6. Relación de nº de piezas en relación con la suma de sus factores de ponderación.

### 4.2. Valoración preliminar del estado de conservación

Dentro del informe de valoración preliminar del estado de conservación se ha recogido la suma del FP que determina el porcentaje de la estimación del núcleo metálico conservado más el FP que tiene asignado el

índice de manipulación, donde se determina la fragilidad de la pieza. En este caso el valor mínimo posible es 2 donde encontramos los artefactos TO - 78 y TO - 126, que serían los que muestran peor estado de conservación. Valor que se enfrenta al máximo que será 10 con el ejemplo de la pieza TO - 141. El valor promedio es 6,7, situando 66 objetos (35,11 %) por debajo de este valor y 122 (64,89 %) por encima del mismo.

Sin embargo, conforme a los factores que hemos valorado, un valor medio no quiere decir que tenga un estado de conservación regular, ni superar la media supone un estado de conservación bueno. En este caso, una pieza con ese valor medio presentaría menos de un 50% de núcleo metálico, conservado y manipulable en condiciones restringidas. Por ese motivo para establecer un estado de conservación aceptable debemos pasar a un valor 8. Este valor representa en relación con la pieza estudiada más de un 50% del núcleo metálico, lo que permite una mejor manipulación. Tras esta modificación del conjunto de artefactos únicamente 40 (21,28 %) presentan un estado de conservación aceptable, frente a los 148 objetos (78,72 %) que deberán tenerse en cuenta a la hora de ser manipulados o intervenidos.

### 4.3. Piezas completas

La valoración de los FP también ha permitido conocer qué piezas están completas. Para ello se ha cribado la DBMS a través de una consulta donde el criterio del campo 'forma' es superior a 4 como valor de referencia. El informe reportado indica que solo 16 piezas (8,51 %) presentan una tipología completa. Este informe facilita el reconocimiento de las diferentes tipologías, aspecto que nos permite realizar un estudio morfológico más completo, así como identificar la funcionalidad de los objetos.

### 4.4. Rangos de valores; piezas museables vs. piezas para almacenaje

Aprovechando la posibilidad de establecer criterios de filtrado a través de las consultas en la DBMS se han realizado dos específicas cuyo objetivo es separar dos conjuntos de resultados en dos grupos, o rangos; piezas con interés para su musealización, frente a piezas que deben almacenarse. En el primero de los grupos, piezas de interés para su musealización, se recogen las piezas completas con más de un 50 % dentro del FP determinado por la forma (valor igual o mayor a 3), junto con un valor superior a 4 en el FP del índice de manipulación que nos asegura una manipulación con garantía. Así pues, una vez realizado este cribado, en el este rango se han incluido solo 8 objetos (4,26 %) de todo el conjunto de las 188 piezas. De nuevo destaca el artefacto TO - 16, un clavo de bronce de cabeza plana y vástago de sección cuadrangular, que presenta un estado

de conservación relativamente bueno, sin presencia de cloruros a simple vista.

En el segundo grupo, situado en el otro extremo, colocamos las piezas que deben considerarse como frágiles, además de incompletas, y que por lo tanto deberían ser almacenadas. Estas tienen un valor igual o inferior a 2 en FP forma, donde se encuentran los objetos incompletos o no identificables. Junto a este filtrado se suman los FP porcentaje de núcleo conservado e índice de manipulación con valor igual o menor a 3. La información reportada en esta ocasión coloca en este conjunto solo 42 piezas (22,34 %).

Dentro de este rango se sitúan piezas como TO - 154, TO - 126, o la TO - 78. Dentro de este conjunto se encuentra la TO - 108, recogida en el registro 910, que es un buen ejemplo de lo que este rango representa (fig.7). Esta es un claro ejemplo de pérdida de núcleo metálico, deformaciones, elevado nivel de productos de corrosión, así como multitud de fisuras y fracturas.



Figura 7. Pieza TO - 108, comparativa entre imagen visible y su imagen radiográfica.

### 4.5. Distribución por tipologías

Para este filtrado de información nos hemos centrado en aquellas piezas identificadas como clavos. En el proceso se ha excluido todas las piezas que contenían la palabra 'clavo' en su referente, que excluía no solo las piezas distintas a las buscadas sino aquellas demasiado fragmentadas para adscribirles esta característica. Tras el establecimiento de estos criterios se obteniendo un reporte de 54 piezas (28,72 %) identificables bajo estos parámetros.

Dentro de este conjunto se han encontrado ejemplos de todas las tipologías antes referenciadas (Manrique, 1980) menos los clavos terminados en anilla o de cabeza de tambor, siendo los más numerosos los de cabeza plana que responde al 55,56 % (30 piezas) del total, al que sigue el grupo de clavos con cabeza apiramidada con un 11,11 % (6 piezas).



## 4.6. Valoración global

Finalmente, se ha reportado en un gráfico el resultado total de cada uno de los FP reconvertido a una escala de valor del 1 al 5. Este gráfico ofrece una valoración global de todo el conjunto, mostrando el interés de la colección, ya que permite observar la tendencia de la misma más allá de un simple valor numérico.

Como muestra el gráfico radial (fig.8), el conjunto de materiales metálicos de Torre d'Onda destaca por contener materiales que conservan entre un 50% y un 80% su núcleo metálico, pese a su mal estado de conservación. Por otro lado, la gran mayoría de piezas son manipulables únicamente en condiciones restringidas, debido al avanzado estado de corrosión. En cuanto a la FP de forma, la muestra presenta una gran cantidad de objetos incompletos y objetos parcialmente completos (>50%), siendo en numerosas ocasiones imposible determinar una tipología concreta para el fragmento. En último lugar, toda la colección tiene el mismo contexto, por lo que el valor global es el de un contexto complejo con varias unidades estratigráficas.

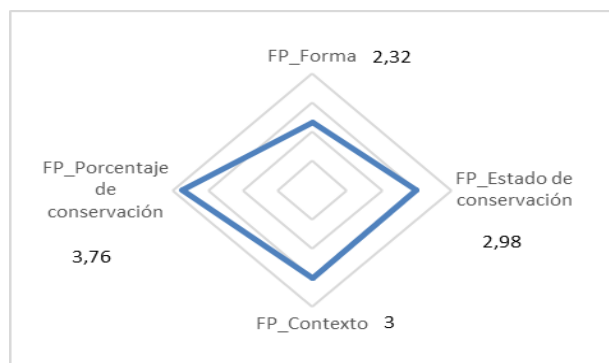


Figura 8. Representación de los valores globales.

## 5. CONCLUSIONES

Todos estos resultados han aportado información que ayuda al estudio morfológico, tecnológico y conservativo de las piezas que son caso de estudio y que profundiza en el reconocimiento de los objetos metálicos del yacimiento de Torre d'Onda. Nuevamente, los metales hallados en yacimientos son siempre una fuente de información importante.

A través del reconocimiento de características como la forma original, la existencia, o no de decoración, así como el establecimiento de sus tipologías, se obtiene información sobre la evolución histórica, económica y social de este yacimiento, así como los datos referidos a la técnica metalúrgica que nos informa sobre la evolución tecnológica y nos ayuda a datar los objetos. Por otro lado, los aspectos conservativos revelados son necesarios para detectar alteraciones presentes en las

piezas y establecer con antelación los riesgos a los que se exponen en su intervención.

De forma general, el conjunto de objetos metálicos hallados en Torre d'Onda corresponden a objetos ligados a elementos de madera (muebles, puertas, vigas, cajas, etc.), de construcción (alcayatas) o útiles (cuchillos, azadas), mayoritariamente de hierro y sin aparente decoración, por lo que nos hablan de elementos de uso más cotidiano, frente a aquellos que implican una mayor disponibilidad económica, como los artefactos de bronce (clavos). En todo caso, su presencia nos permite presuponer un abandono del yacimiento llevado a cabo en unas fechas concretas.

En cuanto a la manufactura del hierro en Torre d'Onda, resulta imposible afirmar ninguna teoría sin los pertinentes estudios metalográficos. Sin embargo, por comparación y apoyándonos en la bibliografía, puede decirse que gran parte del conjunto de clavos está compuesto por acero cementado en superficie y hierro no carburizado en su interior, fruto de una forja y calentamiento insuficientes, cuya imagen radiográfica es similar a un clavo hueco. También podemos observar clavos con interior macizo, dejando así una muestra heterogénea de clavos forjados de diferentes formas o en diferentes momentos de la historia del yacimiento. Debemos recordar que Torre d'Onda ha sufrido múltiples transformaciones y cambios durante su historia.

Con las diferentes campañas realizadas en el yacimiento no es posible localizar unos horizontes culturales diferenciados, dada la mezcla de niveles y material en la que se encuentran elementos medievales y modernos junto a los iberorromanos. En detalle, el estudio radiográfico puede ayudarnos a establecer una datación relativa de los objetos, permitiéndonos descartar aquellos clavos con interior macizo como pertenecientes a la época iberorromana. Finalmente, el hecho de no haber hallado ningún hogar para la forja impide afirmar que los objetos fueran manufacturados en el mismo yacimiento.

Así mismo, se evidencia que la prueba de concepto consigue plantear un método en el que, por medio de un trabajo interdisciplinar y de la construcción de un sistema de análisis e inventariado, se economiza el tiempo de trabajo. Convirtiéndose, a través del inventariado usando la imagen radiográfica, en un sistema que permite analizar los objetos y sus resultados de manera rápida, y fiable. Si bien los factores de ponderación elegidos y las consultas realizadas no van a ser siempre aplicables a todos los tipos de yacimiento, o de materiales que podamos encontrarnos, la metodología seguida sí lo es. Es más, la distribución por rangos abre vías para futuras líneas de investigación, en las que se utilice esta prueba de concepto para implementar protocolos más amplios para la gestión y conservación de los bienes arqueológicos.

Además, la metodología planteada se trata de una estructura abierta y, por tanto, ampliable. Esta idea podría extenderse a factores como, por ejemplo, la decoración. Su presencia o no permite conocer el valor estético de la pieza, datar y ubicar el objeto en una cultura concreta o periodo limitado de la historia. Esta puede ser identificable o no a través de los rayos X, dependiendo de su naturaleza y de su estado de conservación. Sin embargo, no se ha incluido en esta prueba de concepto dado que en la muestra analizada no había objetos con decoración.

El volumen de piezas analizadas hace que el estudio resulte representativo. Sin embargo y como se ha mencionado en la discusión de resultados, se trata de una muestra muy homogénea. Además, los resultados están fuertemente ligados al tipo de yacimiento que se esté analizando y el objetivo del estudio, ya sea con fines conservativos o de gestión museográfica, entre otras posibilidades. Esto no supone un problema para la prueba de concepto ya que, al utilizar un sistema como Access®, es aplicable a una muestra mayor sin perjuicio a su funcionamiento. Por tanto, permite la adición de nuevos registros con los que seguir dando resultados, así como añadir nuevos factores de ponderación.

Una vez analizado el conjunto de objetos y los resultados reportados a través de la base de datos, es posible concluir que se trata de una muestra muy homogénea. Compuesta casi totalmente por clavos de hierro, mayormente incompletos y con un estado de conservación general que hace patente la necesidad plantear un nuevo sistema de embalaje, para garantizar la perdurabilidad de las piezas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la disponibilidad del Museo Arqueológico de Burriana (Castellón). Gracias a esta institución, poniendo a nuestra disposición las piezas de sus fondos, se ha podido elaborar este estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aznar, C. (2018) *La colección de azulejos del centro de interpretación de la cartuja Vall de Crist (Altura): Propuesta para su catalogación*. Trabajo fin de Grado. Grado. Universitat Politècnica de València.
- Caple, C. y Garlick, V. (2018) "Identification and valuation of archaeological artefacts: developments using digital X-radiography", *Journal of the Institute of Conservation*, 41(2), pp. 128–141.
- Cleeren, N. (2006) "Oudenburg: conservatie is (gefundeerde) keuzes maken, Conservering van objecten versus de conservering van hun wetenschappelijke inhoud", *Journée d'archéologie romaine*. Gent: Flemish Institute for the Archaeological Heritage, pp.140–145.
- Díaz, T. (2014) *Propuesta metodológica en el estudio previo de los materiales féreos de la Villa romana de Sant Gregori (Burriana, Castellón). Aplicación de la técnica radiográfica digital en las fases previas al proceso de restauración*. Trabajo fin de Máster. Universitat Politècnica de València.
- Díaz, T., Madrid, J.A. y Melchor, J.M. (2018) "Estudio preliminar de los materiales féreos de la villa romana de Sant Gregori (Burriana-Castellón) mediante RX", *Jornades d'Arqueologia de la Comunitat Valenciana, 2013-2015* (2018), pp. 179–190.
- Fell, V, Mould, Q., y White, R. (2006) *Guidelines on the X-radiography of Archeological Metalwork*. Swindon: English Heritage.
- Gómez, M<sup>a</sup>.J. (2015) *Uso de la radiografía digital en la valoración de antiguas intervenciones en cerámica arqueológica*. Trabajo fin de Máster. Universitat Politècnica de València.
- Madrid, J.A. (2014) "Dos décadas de inspección radiográfica en España: retrospectiva y horizontes futuros en un contexto de cambio tecnológico", *Intervención. Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía-INAH. 10, pp. 87–95.
- Madrid, J.A., y Ramírez, A.M. (2011) "Radiografía digital en el estudio de piezas cerámicas. Estudio e interpretación de cerámica medieval procedente del Museo Arqueológico Municipal de Burriana", *La arqueología de la Buriyana islámica a la Borriana cristiana*, Ayuntamiento de Burriana, pp. 151-170.
- Madrid, J.A., y Melchor, J.M. (2016) "Documentación y análisis de piezas arqueológicas del Museo de Burriana mediante el uso de RX digital", *Proceedings of the 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation 'ARQUEOLÓGICA 2.0' in Valencia (Spain), Sept. 5 – 7, 2016*, pp. 56–63.
- Melchor, J.M. (2013) *Diez años del Servicio Municipal de Arqueología de Burriana (2003-2013)*, Ayuntamiento de Burriana.
- Manrique, M. (1980) *Instrumentos de hierro de Numancia conservados en el Museo Numantino (Soria)*. España: Ministerio de Cultura.