

METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE UNA RADIOGRAFÍA DIGITAL DE GRAN FORMATO, APLICADA A LA TALLA DE SAN JUAN BERCHMANS

José Antonio Madrid García

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València

AUTOR DE CONTACTO: José Antonio Madrid García, jmadrid@rcrc.upv.es

RESUMEN: Hoy es un hecho que la aplicación de la técnica radiográfica, en el soporte tradicional, está sufriendo su transformación al sistema digital, tanto en su equipamiento como en su soporte. El material industrial de exposición directa, empleando tradicionalmente, está llegando a su fin y está siendo sustituido por los registros digitales que se comercializan en formatos muy concretos. Esto obliga a la revisión de la metodología de trabajo y nos devuelve viejos problemas, como es la realización de radiografías de gran formato. En espera de que se incorporen nuevos materiales en la manufactura de estos registros y se incorporen a la técnica digital, debemos investigar en distintas posibilidades que permitan afrontar estudios de piezas que superan el área comprometida en este tipo de placas.

Desde la Unidad de Radiología, del Laboratorio de Documentación y Registro de este instituto, se ha trabajado en una posible solución al problema expuesto. A través de la conversión de la estructura de radiografía telemétrica fija en un sistema móvil. De esta forma la fuente de rayos X y el objeto no se mueven, siendo la estructura de radiografía telemétrica, que soporta el chasis, la que podemos desplazar de forma manual, para así cubrir toda la superficie que queremos radiografiar. Finalmente y a través de un programa de tratamiento de imágenes se puede componer el mosaico con ellas.

Como caso de estudio se ha aplicado este sistema en la radiografía realizada a una talla de madera de 130 cm de altura, con una anchura máxima frontal de 58 cm y una anchura máxima de perfil de 57 cm. La imagen de san Juan Berchmans, perteneciente a la Congregación de María Inmaculada de Vila-real, fue realizada por Modesto Pastor en 1946 en sustitución de la antigua. El estudio presenta la radiografía completa de la talla, en su vista frontal y lateral, empleando la metodología antes descrita.

PALABRAS CLAVE: rayos X, radiografía digital, conservación, escultura policroma, documentación.

INTRODUCCIÓN

Dentro de esta dinámica de cambio, desde el laboratorio de rayos X de este instituto hemos querido ir sustituyendo el instrumental hacia las posibilidades de la radiografía digital. Siempre teniendo presente el menor coste en este cambio, gracias a la adaptabilidad de los protocolos de trabajo que se venían desarrollando desde la creación de este laboratorio en 1996. Protocolos de trabajo que ha demostrado, a través de estos años, su facilidad de adaptarse a la gran variedad de piezas que se han ido examinando, no solo por su tipología sino también en sus formatos (Madrid, 2000).

Han sido en estos últimos años, antes de la incorporación de la radiografía digital y como líneas principales de trabajo, que nos hayamos centrado en la investigación y desarrollo de un sistema que permitiera garantizar la mejor calidad en la imagen radiográfica, así como su adaptabilidad a cualquier formato de pieza. Para ello se ha perfilado una metodología a través de la medición de la dosis integrada, o dosis de radiación que finalmente llegaba a la placa de registro, más el uso de material de radiografía de exposición directa empleada en aplicaciones de tipo industrial. Un protocolo de actuación que garantiza la exposición a la que la sometía, asegurando la máxima calidad en la radiografía. Parámetros que son independientes del tamaño de placa comprometida en el registro, con la finalidad de cubrir en una sola exposición toda la superficie de la pieza.

Y es en ese sentido cuando la incorporación del sistema digital ha devuelto uno de los viejos problemas ya resueltos, como es el formato de los antiguos chasis que no superan los 35 x 45 cm. No obstante la experiencia adquirida en los trabajos anteriores ha permitido diseñar un mecanismo que puede solucionar este problema. El

sistema móvil de radiografías telemétricas posibilita la movilidad de las placas a lo largo de un mismo plano, lo que permite mantener fija la posición de la fuente de rayos X, así como mantiene casi el mismo protocolo de trabajo que se venía empleando al efectuar la exposición.

Este artículo desarrolla el trabajo realizado a una escultura de madera policromada de dimensiones superiores a un chasis, mostrando la viabilidad del mismo. A través de un mosaico de imágenes, que consta de 9 radiografías de 35 * 45 cm, tanto para su radiografía frontal como otras 9 radiografías para su vista lateral, se ha conseguido la imagen completa de esta talla.

INCORPORACIÓN DE LA TÉCNICA DIGITAL DE RAYOS X EN EL LABORATORIO

Ya metidos en el cambio del formato analógico hacia el digital y después de un estudio de las posibilidades técnicas que ofrecía el mercado, nuestra decisión se decantó por la búsqueda de un sistema que se integrara en el laboratorio, sin que por ello cambiáramos nuestro protocolo de trabajo. Esta decisión nos llevó a la incorporación del sistema de registro radiográfico digital de exposición indirecta. Este tipo de chasis se adapta perfectamente a los parámetros que se venían empleando y no provocaba ningún cambio en el tipo de fuente de rayos X empleado, ni en el sistema de medida usado en la mejora de contraste. (Figura 1)

Deteniéndonos en el equipamiento que la instalación emplea, contamos como fuente de rayos X con un equipo 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 sólo 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.

Por otra parte, el rango de intensidad de corriente de este 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, al cual se le han adaptado un sistema de marcas que aseguran la zona eficaz de irradiación.

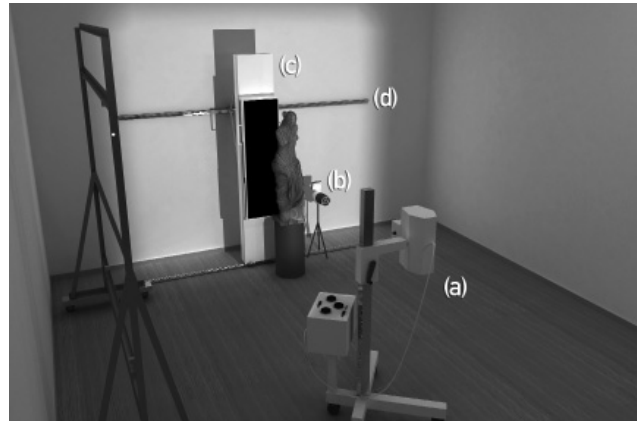
El equipamiento que viene a sustituir la antigua placa radiográfica de tipo analógico es una estación de trabajo de Radiografía Computerizada (CR) de radiografía indirecta. En concreto con digitalizador CR 30-X, de la empresa AGFA®, siendo hoy en día uno de los más versátiles para este tipo de estudios. El CR 30-X se combina con el programa de identificación de imágenes y control de calidad AGFA® NX. Esta estación procesa las imágenes digitales obtenidas con el sistema digital indirecto a través de los chasis CR MDT4.0T, también de AGFA®, con un formato de 35 x 43 cm y un tamaño de matriz de pixel de 3480 x 4248.

Los chasis empleados se montan en una instalación dedicada a radiografías telemétricas, que facilitan un área de radiografía efectiva de 126 x 33 cm. El sistema de radiografía telemétrica, o en su nombre comercial CR Easylift® de la empresa AGFA, permite la superposición en línea de tres chasis, lo que le otorga el área que hemos indicado. Los chasis se montan en un vagón móvil, que se puede desplazar de forma vertical desde la cota 0 hasta 230 cm de altura máxima.

El equipamiento empleado para este tipo de estudios lo completa un monitor de radiación, con un detector de cámara de ionización y sistema de autorango, Ram Ion® de la empresa Rotem. Monitor que hemos usado para las mediciones de dosis integrada que se ha registrado en el punto de obtención de las radiografías. La monitorización de estas medidas es la base de trabajo para la obtención de un registro radiográfico que ofrezca el mayor nivel de contraste y calidad de imagen posible en cada caso analizado

SISTEMA MÓVIL DE RADIOGRAFÍA TELEMÉTRICA

El sistema móvil de radiografía telemétrica puede ser una solución para la realización de radiografías de gran formato. Este se basa en la recopilación de todas las imágenes, que conforman la imagen radiante de la pieza, que se obtiene en un mismo plano. (Figura 2) Al realizar la radiografía a través de esta proyección ha permitido eliminar las irregularidades que se pueden plantear al solapar imágenes que se han obtenido de forma independiente y tomando referencias distintas, tanto entre el foco o fuente de rayos x y la



pieza, así como la pieza y el plano donde se encuentra la placa de rayos x. Pues en definitiva en este sistema móvil el único elemento que cambia su localización es la placa radiográfica.

Para hacer más eficiente este sistema en el Laboratorio de Documentación y Registro del IRP se ha diseñado y construido una estructura móvil que sustenta el equipo de radiografías telemétricas, a través de dos rieles colocados uno en la pared y otro en el suelo. A través de un sistema de patines, con recubrimiento de teflón, nos aseguran el desplazamiento suave por la guía de todo este conjunto. Las medidas de los rieles son de 300 cm, medida que viene delimitada por el eje donde se ubica la fuente de rayos x, que es tangencial al plano de la pared. Esta medida es la máxima a la cual se puede colocar la fuente y con ella podemos cubrir toda el área que se genera con el desplazamiento en el eje horizontal del sistema móvil. Contando con los dos movimientos, uno en el plano horizontal de 300 cm y el segundo en el plano vertical, que va desde la cota 0 a 230 cm de altura, se construye una placa de aproximadamente 7 m². En el sistema de rieles se han adaptado unas piezas que ayudan en la labor de posicionamiento del conjunto a lo largo del recorrido que se hace para la obtención de la placa. Toda esta estructura se ha separado del soporte unos 70 cm, asegurando así la accesibilidad, puesto que la carga y descarga de los chasis se realiza de forma manual.

CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA DE ESTUDIO Y PARÁMETROS DE EJECUCIÓN DE LAS RADIOGRAFÍAS

Como hemos citado en la introducción de este artículo se ha aplicado este sistema en la radiografía realizada a una talla de madera de 130 cm de altura, con una anchura máxima frontal de 58 cm y una anchura máxima de perfil de 57 cm. La imagen de san Juan Berchmans, perteneciente a la Congregación de María Inmaculada de Vila-real, población de la provincia de Castellón. (Figura 3 y 4) La pieza fue realizada por Modesto Pastor en 1946 en sustitución de la antigua, como se citan en las fuentes consultadas. La escultura esta realizada en madera y luego policromada, que viene montada en una peana de pequeñas dimensiones. Después de desmotar las nubes que se presentaban en la parte frontal se pudo comprobar que toda la figura descansaba en un solo punto, como es el pie izquierdo. (Figura 5 y 6)

Esta figura forma parte de un conjunto procesional formado por esta imagen, una imagen de San Luis Gonzaga y una Inmaculada. Estas figuras son trasladadas en procesión tras la Eucaristía celebrada en las fiestas de la población de Villareal, por la "Congregació de Lluisos". Al ser una figura procesional el punto de interés de este estudio se centra en el punto de anclaje, entre la figura y la peana, que antes hemos mencionado.

Aunque presentaba un buen estado de conservación, con este



estudio se pretendía entender como estaba constituida la figura, desde su estado interno. Además de conocer la forma en la que estaban ensambladas todas las partes de esta escultura.

Los parámetros de disparo que se han planteado, tanto para la obtención de la radiografía frontal como la lateral, han sido básicamente iguales en todas las exposiciones siendo estos distancia, voltaje, intensidad y finalmente tiempo de exposición.

El primero de ellos es la distancia a la que se ha tenido que colocar el foco para cubrir toda la superficie. La elección de la distancia que se establece entre la fuente y el dispositivo donde se almacena la placa radiográfica debe jugar con dos premisas. Por un lado debe ser la mínima posible para que la borrosidad inherente por el espesor de la pieza sea también la más pequeña posible y por otro lado su distancia máxima útil. Esta última viene delimitada por la calidad u homogeneidad de área irradiada en el plano de obtención de la radiografía.

En los primeros trabajos que se realizaron en este laboratorio pudimos comprobar que al abrir al máximo el área de irradiación, a través del sistema de colimación del haz, había una franja en el borde del área que tenía una pérdida considerable de calidad. Debemos tener en cuenta que un equipo de rayos X no está pensado para este tipo de trabajos, pues normalmente se suele colimar el haz y por lo tanto la apreciación de este defecto no se suelte tener en cuenta. Pero por otro lado, nos encontramos con que la fuente de rayos X es un foco fijo, que supedita el área que queremos irradiar únicamente a la distancia a la que lo coloquemos con respecto al plano donde se recogerá la imagen radiante. En el caso de la pieza que nos ocupa, para conseguir cubrir su altura de 130 cm colocamos el foco a 270 cm de distancia.

La siguiente medida de distancia, que se ve implicada en esta serie de disparos, es la altura a la que se coloca la fuente con respecto a la cota 0. Pues de ella depende el minimizar el posible defecto producido por la distorsión de la imagen, pues la imagen radiante es la proyección sobre el plano del foco de rayos X. En este caso colocamos la fuente 100 cm de altura, haciendo coincidir este punto con los dos tercios de altura de la escultura. Provocando cierta deformación en la parte baja de la escultura en beneficio de la similitud de escala en la parte alta del torso.

Ya en el segundo parámetro, para determinar el valor de voltaje se realizaron una serie de disparos de ajuste, como se marca en el protocolo de trabajo que hemos puesto en marcha en este laboratorio, que determinaron que este parámetro se debía situar en los 46 kV (kilovoltios). El ajuste de intensidad será de 10 mA (miliamperios) que nos asegura una densidad óptima en la imagen radiante. Y por último se determinó que el tiempo de exposición en cada uno de los disparos sería de 3" (segundos). La elección de estos parámetros también parten de la experiencia adquirida a lo largo de estos años en esta instalación (Madrid, 2006).

En lo referente a la medición de dosis integrada de radiación recogida en el plano de ejecución de la placa ha sido por un lado de 9,25 mSv (micro Sievert) de media, en el conjunto de las 9 placas de la exposición frontal. En la relación de estos disparos se ha producido una desviación en el conjunto de medidas de $\pm 1,8$ mSv. Los datos de medición de dosis en el conjunto de placas que forman la vista lateral han sido de 7,7 mSv de media, con una desviación en sus medidas de $\pm 1,4$ mSv.

En lo referente a estas mediciones debemos destacar que se alejan considerablemente de las dosis que se hubieran recogido si hubiéramos efectuado estos dos estudios con el sistema tradicional,



o analógico. En ese caso las dosis que radiación que deberíamos alcanzar para conseguir tanto un buen nivel de contraste como una densidad óptica rondaría los 1500 mSv, tras un tiempo total de exposición no inferior a los 10 minutos. Obteniéndose una calidad de imagen muy similar, como se ha venido demostrando en los últimos estudios realizados (Madrid, 2011; Madrid, 2012).

MONTAJE FINAL DEL MOSAICO DE IMÁGENES

Finalmente las radiografías murales se han procesado, de forma independiente, mediante de un programa comercial de tratamiento digital de imágenes, capaz de leer los archivos DICOM, propio de este tipo de equipos. El archivo DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) es hoy un estándar en el intercambio de imágenes médicas, pensado para su manejo entre diferentes plataformas, almacenamiento y fácil transmisión. Siendo este el tipo de archivos el que obtenemos después de procesar las radiografías en el CR 30-X.

Como particularidad técnica de este tipo de archivos, en ellos se incorpora un protocolo de comunicación de red y de esta forma tiene la capacidad de ser compartido entre entidades que tengan capacidad de dar lectura a este tipo de imágenes. Y puesto que es el estándar más utilizado, los programas de tratamiento de imágenes han incorporado herramientas para poder usarlos. Tratando la información del archivo original, en su conversión, en distintas capas.

Una vez realizada la conversión del formato DICOM a otro estándar de imagen (JPG, TIF, ...) contamos con imágenes independientes de 4248 x 3480 píxeles, con una resolución de 72 puntos por pulgada (ppp), datos que corresponderían con la imagen que obtendríamos

con una cámara de 15 megapíxeles. Así mismo, esta imagen cuenta con 16 bits por canal, como valor de profundidad de color, lo que lo enmarca en las imágenes consideradas de alta resolución. Pero frente a las ventajas que presenta cada una de estas imágenes, nos enfrentamos a un tipo de montaje que agrupara en un solo archivo una gran cantidad de información.

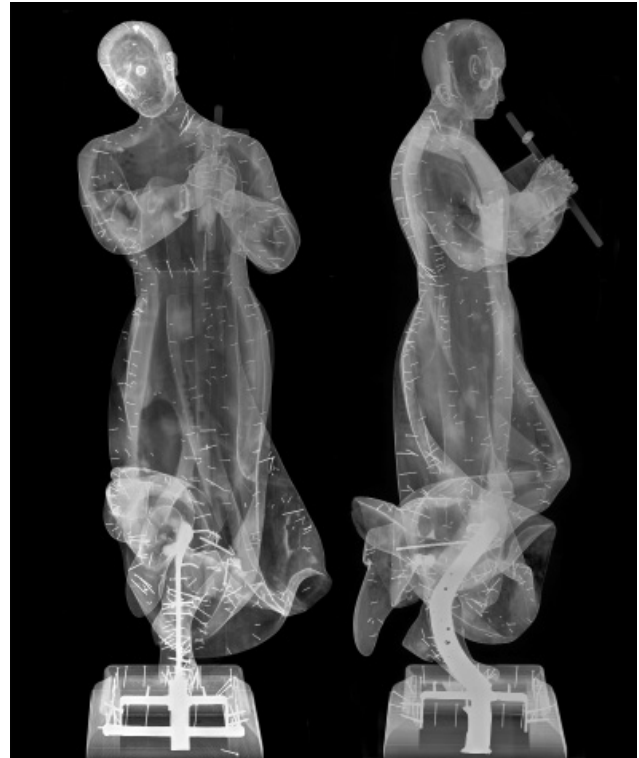
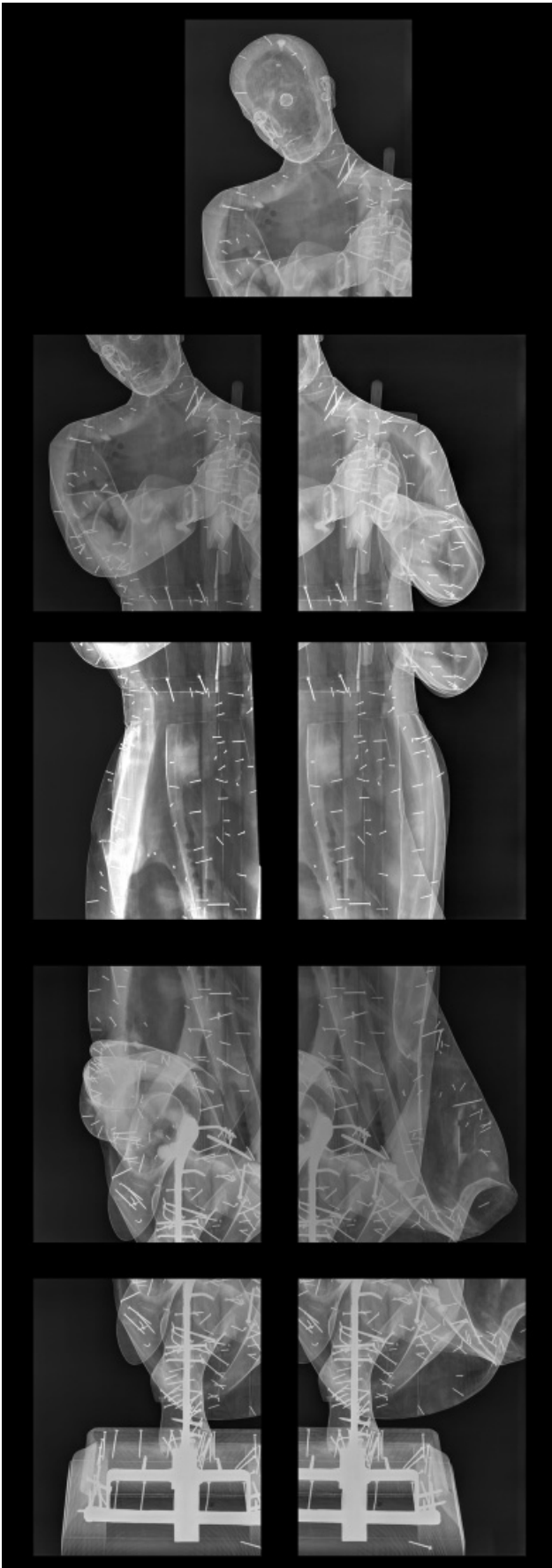
La imagen frontal se ha construido a partir de 9 imágenes independientes, con un peso cada una de ellas de 28,2 MB. De igual manera la imagen lateral, de esta misma pieza, la radiografía se construye a través de 9 imágenes con el mismo peso. El montaje final con ambas imágenes da como resultado una superficie de 455 x 549 cm, con una resolución de 72 ppp, con un peso final de 383 MB. (Figura 7)

El mosaico se ha realizado a través de la localización de puntos semejantes, acoplando cada una de las radiografía hasta obtener el registro completo. Para ello en la propia realización de cada una de las placas se ha tenido en cuenta reservar una zona para este ajuste. En nuestro caso se ha mantenido una franja de 5 cm en cada uno de sus lados. Esta banda de seguridad, donde se montan las dos imágenes de placas adyacentes, es fundamental para la correcta colocación de cada uno de los registros. (Figura 8)

RESULTADOS DEL ANÁLISIS RADIOGRÁFICO

No siendo el objetivo prioritario de este trabajo el desarrollo de las conclusiones obtenidas tras la lectura de la radiografía para su proceso de intervención, no nos gustaría pasar a las conclusiones sin antes señalar lo más significativo.

A través de la radiografía se puede entender como esta ensamblada



la escultura a su peana. Esto se realiza a través de una pieza metálica que juega con la curva que recorre desde la punta del pie izquierdo hasta unos 40 cm aproximadamente. La entrada de esta pieza de anclaje termina en una estructura con forma de "H" que se inserta en la peana, lo que le confiere al conjunto una gran estabilidad. Lo que la hace soportar los movimientos producidos por el traslado en procesión de la figura.

Parece que de forma constructiva la escultura esta formada por varias piezas que han sido claveteas. El rostro esta modelado en una pieza independiente, a la que se le ha practicado un vaciado y la ejecución de una mascarilla para la colocación de las esferas de cristal que son los ojos de ésta. Una de las fisuras más significativas, dimensionadas a través de la radiografía, corresponde a la unión de la cabeza con el tronco. Fisura que se hace más patente por la parte posterior de la imagen, quizás debido a que es ahí donde se coloca la aureola.

CONCLUSIONES

Gracias a la realización de este trabajo se ha encaminado nuestra investigación hacia la mejora de este sistema. Quedando demostrada su viabilidad a través de las conclusiones obtenidas, que podemos presentar a continuación.

La primera de las conclusiones es la optimización de los recursos del laboratorio. Esta optimización es evidente, pues no se han tenido que cambiar, o sustituir, los equipos ni hacer cambios en el protocolo de trabajo. Dentro de este punto también debemos incluir la referencia que al hacer el trabajo en formato digital se minimizan los costes derivados del empleo del soporte analógico, pues ya no se tiene que procesar mediante el uso de productos químicos la placa radiográfica, también considerada en sí como material fungible. El poder reutilizar este nuevo soporte, la radiografía digital, permite afrontar este tipo de estudios con mayor garantía de éxito y con el menor coste, tanto económico como en inversión de tiempo. Además se ha podido demostrar que la implicación de una dosis mínima de

radiación es un factor que hará perdurar la vida funcional de la fuente de rayos X que se viene empleando.

La segunda de las conclusiones es la minimización de la apreciación de defectos en radiografías de gran formato. La formación de un mosaico de imágenes obtenidas en un mismo plano ha reducido al máximo el conjunto de errores que se producían en un montaje similar con el antiguo soporte. Junto a esto, unimos que el formato en el que se trabaja es de tipo digital. El montaje de estos es mucho más preciso que los encajes que se venían realizando en soporte analógico. En estos últimos siempre se cometía un pequeño error en la junta que se producía entre una placa y otra. En el montaje digital se ha previsto un solape entre placas que garantiza la eliminación, a través del fundido entre una y otra, de la junta que las une.

Y como tercera y última conclusión es que la manipulación de un soporte analógico de grandes dimensiones siempre lleva acarreada la posibilidad de que aparezcan errores en ella. Errores como pliegues que se marcaran en la imagen latente. El registro digital no tiene este tipo de problemas, debido a que viene inserta en un soporte rígido y su manipulación en el sistema de procesado es totalmente automática.

BIBLIOGRAFÍA

Borrelli, and Alonso, M., (1999): "Obras de arte y técnica de investigación no destructivas: Un binomio imprescindible", en *Actas del 9º Congreso Nacional de Ensayos no destructivos*, Vitoria, 253-259.

Garrido, M. C., (1984): "Technique radiographique grand format applicable in situ sur le tableau exposés actuellement au Musée du Prado", en *ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, Copenhagen, 10 - 14 September 1984*. Paris 1, 7-9.

Gilardoni, A., (1994): *X-Ray or art*. 2nd. Edn, Gilardoni SpA, Lecco. Italy.

Madrid, J. A., (2000): *Metodología para la mejora del contraste en el análisis radiográfico aplicado a la conservación y restauración de obras de arte*. Ed. Universitat Politècnica de Valencia, Valencia.

Madrid, J. A., (2006): *Aplicación de la técnica radiográfica en la conservación y restauración de bienes culturales*. Ed. Universitat Politècnica de Valencia, Valencia.

MADRID, J.A. y RAMÍREZ, A. (2011): "Radiografía digital en el estudio de piezas cerámicas. Estudio e interpretación de cerámica medieval procedente del museo Arqueológico de Burriana". En VVAA (2011): *La arqueología de la Buriyyana islámica a la Borriana Cristiana*. Ayuntamiento de Burriana.

MADRID, J.A.(2012): "Radiographic analysis of two automata works by the artist Francisco Sanz and Baldovi", En *2nd International Workshop Physical and Chemical Analytical Techniques in Cultural Heritage*. 4th and 5th June 2012. Lisboa.