

La reconstrucción virtual en la recuperación del patrimonio metalúrgico de minas de Almadén



José Tejero-Manzanares
Ignacio Garrido-Sáenz
María Dolores Pérez-Calle
Francisco Montes-Tubío

Doctor por la Universidad de Córdoba
Doctor Ingeniero Industrial
Licenciada en Química
Doctor Ingeniero Agrónomo

UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. Dpto. de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos.
Pl. de Manuel Meca, 1 - 13400 Almadén (Ciudad Real). jose.tejero@uclm.es

Recibido: 05/07/2012 • Aceptado: 08/10/2012

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5209>

VIRTUAL RECONSTRUCTION IN RECOVERY METALLURGICAL HERITAGE OF ALMADEN MINES

ABSTRACT

- Mercury is a liquid and valued metal that has many applications, unknown by the majority of the persons like its methods of extraction from the mineral cinnabar. These extractive techniques, which represented an important technological exchange between Almaden and several mining towns in Asturias, Europe and America, justify its value through virtual recovery process.
- This article shows that the virtual reconstruction, as culmination of a process and methodology based on computer-aided design and computer animation, supposes today the only alternative to traditional reconstruction from the Engineering Graphics, especially for those elements or processes that are part of the historical industrial heritage and which not have survived to the time. In this way, prevents these techniques to pass into oblivion, bringing all this vast metallurgical heritage of Almaden Mines at the service of Humanity as virtual heritage. Two of the most representative types of metallurgy of Almaden mercury, which are already disappeared, have been chosen for the virtual reconstructions: Idria and Spirek furnaces. This paper allows you to visit the interior and exterior to them, as well as to the elements of the industrial process that was taking there.
- Keywords:** historical industrial heritage, metallurgy of mercury, computer-aided design, computer animation, Engineering Graphics, virtual heritage.

RESUMEN

El mercurio es un líquido y preciado metal que posee innumerables aplicaciones, desconocidas por la mayoría de las personas al igual que sus métodos de extracción a partir del mineral cinabrio. Estas técnicas extractivas, que representaron un importante intercambio tecnológico entre Almadén y varias ciudades mineras de Asturias, Europa y América, justifican su puesta en valor a través de los procesos de recuperaciones virtuales.

Este artículo muestra que la reconstrucción virtual, como culminación de un proceso y una metodología basados en el diseño y animación por ordenador, supone hoy día la única alternativa a la reconstrucción tradicional desde la Ingeniería Gráfica, en especial, para aquellos elementos o procesos que forman parte del patrimonio histórico industrial y que no se han conservado hasta la época. De esta manera, se evita que estas técnicas pasen al olvido, poniendo todo este vasto legado industrial de las Minas de Almadén al servicio de la Humanidad como patrimonio virtual.

Para las reconstrucciones virtuales, han sido elegidas dos de las tipologías más representativas de la metalurgia del mercurio almadenense ya desaparecidas: los hornos de Idria y Spirek. Este trabajo permite la visita interior y exterior a los mismos, así como a los elementos del proceso industrial que allí tenía lugar.

Palabras clave: patrimonio histórico industrial, metalurgia del mercurio, diseño asistido por ordenador, ani-

mación por ordenador, Ingeniería Gráfica, reconstrucción virtual, patrimonio virtual.

1. INTRODUCCIÓN

El hecho de realizar una búsqueda en Internet de términos como patrimonio histórico industrial y minero, o sus correspondientes traducciones al inglés, y que los resultados arrojen cifras millonarias, sumado a la celebración de numerosos encuentros científicos y congresos de prestigio, así como a la existencia de revistas de alto impacto, viene a demostrar la creciente importancia del estudio del patrimonio histórico en cualquiera de sus facetas. En definitiva, hay innumerables iniciativas para la recuperación de nuestro patrimonio histórico, incluido el industrial y minero [1].

En este sentido, la empresa *Minas de Almadén y Arrayanes* tuvo el claro convencimiento de poner en valor su vasto patrimonio minero e industrial. Fruto de ello, se ha llevado a cabo la ejecución de un Parque Minero para disfrute turístico: un lugar sin precedentes. Este tipo de actuaciones, que pretenden ser motor económico de la zona tras el cese de las actividades mineras en 2003, solo han tenido lugar en aquellos elementos que se han conservado hasta nuestros días. Es decir, únicamente donde se podía actuar de una manera material, lo que representa una parte muy pequeña del patrimonio de estas famosas Minas.

Por este motivo, mediante este trabajo se pone de manifiesto la posibilidad de contribuir a la recuperación, protección y difusión de este vasto legado desde su conocimiento, combinando las técnicas para la conservación del patrimonio industrial con las nuevas que nos ofrece la Ingeniería Gráfica: las *recuperaciones virtuales*. Como es el caso, cuando la reconstrucción material se hace imposible, bien porque el elemento patrimonial está totalmente destruido o simplemente no ha quedado resto de él, la solución la podemos encontrar en las *reconstrucciones virtuales*, lo que puede traducirse en la recuperación de patrimonio tecnológico de forma inmaterial. Así, se evitará que las diferentes tecnologías utilizadas para extraer el mercurio y que, desgraciadamente, han sufrido su destrucción por los caprichos de la historia, pasen del olvido o de un conocimiento sesgado, a formar parte de un patrimonio al alcance de todos los que pretendan conocerlo o estudiarlo.

En el *Cerco de Buitrones* (Centro Metalúrgico) de *Minas de Almadén* solo quedan un ejemplar de un par de hornos de aludeles o de Bustamante y una batería de cuatro hornos *Pacific*, primera y última tecnología metalúrgica utilizada a escala industrial para la obtención de mercurio, respectivamente. Por ello, este trabajo pretende mostrar la posibilidad de recuperar estos artíluguos desaparecidos de una manera inmaterial. Como ejemplo, se centra en dos tipologías tratadas de una manera aislada, sin diseñar los exteriores: los hornos de *Idria* y los hornos *Almadén*.

Se dispone como punto de partida para las reconstrucciones virtuales del abundante y valioso material documental y

de planimetría recopilado a lo largo de la investigación llevada a cabo en la Tesis Doctoral “*Evolución histórico-tecnológica de los hornos en la metalurgia del mercurio en las Minas de Almadén: implantación de los hornos Cermak-Spirek y Spirek*” [2]. Con ella, se contribuyó a cerrar el largo bagaje de la actividad metalúrgica hasta sus últimos días, profundizando en aquellos aspectos más relevantes no tratados anteriormente y que tienen que ver con la tipología, evolución y número de hornos existentes en cada época. Asimismo, aportó un estudio y análisis comparativo de las prácticas y artefactos empleados para la tostación del cinabrio en otras cuencas mineras como las de Asturias, *Huancavelica* (Perú), *Idria* (Eslovenia), y muy especialmente, *Monte Amiata* en la minería del *Siele* (Italia). Resulta difícil entender la evolución de la técnica considerando unas instalaciones metalúrgicas de manera aislada. El intercambio de inventivas ha sido muy significativo entre estas cuencas mineras en momentos determinados de la historia, propiciando, sin lugar a dudas, el avance y modernización de las plantas mencionadas.

Autores como Ovando Grajales [3], definen la reconstrucción histórica como “... la descripción con dibujos y/o textos del patrimonio destruido. Esta acción, por lo general, se realiza cuando el sitio o monumento ya no existe. Sus principales fuentes son documentales ya que con base a ella se lleva a cabo la reconstrucción”. No se podría haber definido mejor el caso de la reconstrucción virtual del patrimonio metalúrgico de las *Minas de Almadén*. Además, la recuperación inmaterial, para conseguir el realismo deseado, no puede ignorar los principios básicos a los que está sometida la reconstrucción convencional. También se piensa adecuada la práctica de Fernández Madrid [4] consistente en que para la recuperación de monumentos conviene organizar un equipo interdisciplinar integrado por expertos en documentación histórica, arqueología, arquitectura, ingenieros, profesionales de cálculo de estructuras, etc., con los conocimientos necesarios para solventar los problemas puntuales que se presenten al igual que puede ocurrir en el desarrollo de cualquier reconstrucción virtual.

En la actualidad, se busca la recuperación de los monumentos de la manera más auténtica posible. Precisamente, una de las características de la reconstrucción virtual de un edificio o elemento patrimonial es que permite su recuperación sin perjudicarlo y sin alterar sus restos originales. Este proceso de digitalización posibilita conservar los conocimientos a lo largo del tiempo sin que sufren los perjuicios propios del mismo. Por otro lado, consiente recrear el entorno urbano o rural en el que se encontraba el edificio, que dista bastante del que pueda presentar actualmente debido al proceso de urbanización y modernización sufrido.

Una ventaja importante del primer paso en la reconstrucción virtual es la generación de información 2D y 3D del elemento cultural bajo estudio, que se guarda en una base de datos permanentemente abierta con un mantenimiento mínimo, por lo que supone una fuente constante de información. Sin embargo, para este tipo de reconstrucciones se presenta el problema de la velocidad a la que la tecnología se vuelve

obsoleta, lo que obliga a una actualización periódica con el fin de adaptarse a los nuevos medios de interacción con el usuario final.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIAL EMPLEADO

Para la realización de reconstrucciones virtuales se necesitan medios multimedia. Por un lado, son necesarios equipos informáticos tanto portátiles como de sobremesa de suficiente capacidad, en este caso: Procesador Intel® Core 2 Duo 2,8 GHz., Memoria cache de 6 Megabits, Memoria RAM DDR2 de 2 Gigabites, Tarjeta Gráfica ATI® Raedon HD 2600 Pro con una memoria interna dedicada de 256 Megabits y una memoria compartida de hasta 564 Megabits compartidos.

Por otro lado, al ser los resultados de este trabajo de carácter infográfico, la mayoría de las herramientas utilizadas se concretan en el empleo de diferente software.

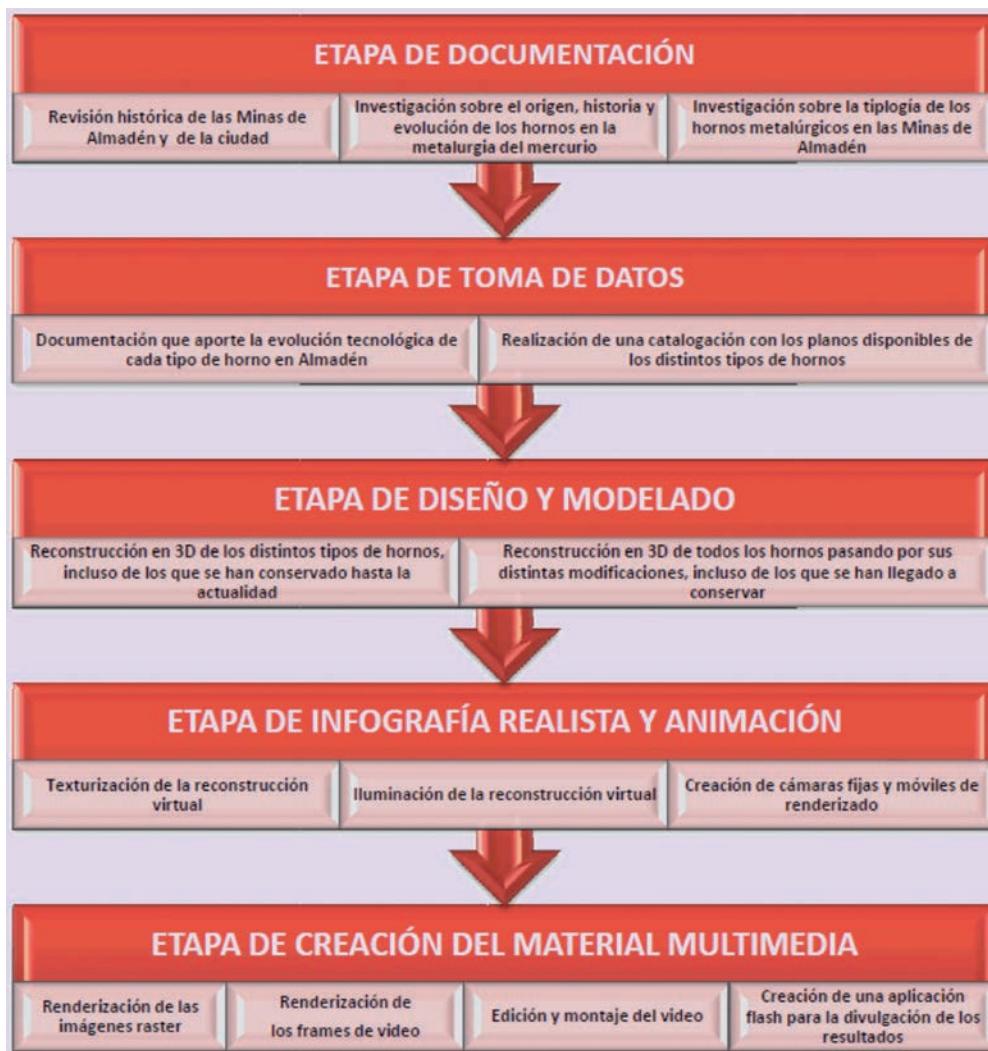


Fig. 1: Diagrama de flujo de la metodología de trabajo

2.2. SOFTWARE EMPLEADO

Seguidamente, se relacionan los programas de diseño y animación asistidos por ordenador utilizados en las reconstrucciones virtuales llevadas a cabo.

Autodesk AutoCAD®: Se trata de un programa para el modelado de sólidos, barrido y aspectos del renderizado. Siendo múltiples las posibles aplicaciones del programa (modelado en dos y tres dimensiones, texturizado, iluminación, renderizado, videos de recorrido), parte del mismo está orientado a la creación de planos, destacando el diseño geométrico de proyectos de diferente índole, presentaciones de ingeniería o maquetas de arquitectura, entre otras. AutoCAD admite varias extensiones, y también permite guardar los archivos en otras.

Autodesk 3ds Max®: es utilizado para la creación de gráficos y animación. Conocido anteriormente como 3d Studio, es una herramienta muy potente para crear videojuegos y películas animadas. Una característica importante de este programa que le lleva ser muy potente, es que se trata de una plataforma que posibilita soportar plug-ins (complementos) desarrollados por diferentes empresas y usuarios de diferentes ámbitos de trabajo. Los plug-ins utilizados han sido REACTOR® y VRAY®. El primero permite a los usuarios realizar de forma más o menos sencilla simulaciones físicas complejas con resultados bastante realistas, integrando objetos rígidos, blandos, cuerdas, tejidos y fluidos en una misma escena interactuando todos entre ellos. También se pueden incluir fenómenos físicos como viento o gravedad. El segundo plugin es un motor de renderizado que usa técnicas avanzadas de iluminación global, como es el trazado de caminos, trazado de mapas de fotón y mapas de irradiación, con unos resultados obtenidos de una alta calidad realística, destacándose la facilidad de uso para conseguirlos.

Adobe Photoshop®: software empleado para los distintos tipos de trabajos de edición, retoque fotográfico y pintura a base de imágenes de mapa de bits, ha evolucionado bastante desde su lanzamiento, posibilitando en la actualidad el empleo de

varias capas, creación y modificación de elementos vectoriales, gestión avanzada de color, efectos creativos, incorporación de plug-ins y exportación para sitios web entre otros. Aunque el propósito principal de Photoshop es la edición fotográfica, también puede ser usado para crear imágenes, efectos, gráficos en muy buena calidad.

Adobe After Effects®: es una aplicación en forma de estudio destinado para la creación o aplicación de efectos especiales y grafismo de video en una composición que desde sus raíces han consistido básicamente en la superposición de imágenes. Una de las principales fortalezas del programa es que existen una gran cantidad de plug-ins desarrollados por otras compañías que ayudan a aligerar las cargas de trabajo continuo y repetitivo en lo que a aplicación de efectos se refiere. Este software está dirigido a diseñadores gráficos, productores de video y a profesionales en la multimedia.

Adobe Flash®: potente herramienta preparada para trabajar en diferentes sistemas operativos como Windows, Mac o GNU/Linux, tiene su utilización más frecuente es en el ámbito de la red global de Internet y con la que se facilita el acceso a la información. Opera mediante fotogramas que permiten interactuar al usuario. Los archivos que genera son conocidos como Flash.

Video Edit Magic®: utilizado para el montaje de los videos de las reconstrucciones virtuales, es una utilidad eficaz para captura y edición de vídeo de prestaciones sencillas. Permite órdenes como copiar, pegar, recortar, así como unir fragmentos de video de igual o diferente formato. Estas mismas operaciones están permitidas para trabajar el audio. Se permite operar por separado audio y video puesto que esta aplicación separa los canales de sonido de los de imagen. Soporta los formatos más habituales como AVI, ASF, BMP, GIF, JPEG, MIDI, MP3, MPEG, QuickTime, WAV, WMA y WMV. La labor de edición personalizada es muy intuitiva y sencilla a través de la interfaz del programa, permitiéndose la comprobación del trabajo en tiempo real.

2.3. METODOLOGÍA

Con el fin de desarrollar la metodología de trabajo para la realización de las reconstrucciones virtuales del patrimonio metalúrgico de *Minas de Almadén*, se ha establecido un orden en la forma de operar. Consiste en un método de trabajo secuencial y coherente, permitiendo una forma de trabajar rápida y eficaz. Dicho orden está dividido en fases que, a su vez, son secuencialmente subdivididas. La metodología de trabajo viene recogida en el diagrama de flujo de la Figura 1.

Durante la etapa de DOCUMENTACIÓN se investiga el origen, historia, evolución y tipología de los elementos patrimoniales objeto de estudio, en este caso los hornos metalúrgicos de Minas de Almadén. En la etapa DE TOMA DE DATOS se selecciona la documentación necesaria que permitan los procesos de reconstrucción virtual, realizándose una catalogación de la misma. En el caso de la metalurgia almadenense estas dos etapas ya han sido desarrolladas en la Tesis Doctoral mencionada. A continuación, en la etapa de DISEÑO Y MODELADO se reconstruyen en 3D los ele-

mentos patrimoniales, pudiéndose incluso elegir en qué momento concreto de la historia.

Una vez terminado en AutoCAD el modelado en tres dimensiones de los hornos y los edificios que los acogen, se continúa con la etapa de INFOGRAFÍA REALISTA Y ANIMACIÓN DE LOS HORNOS. Seguidamente, los archivos generados se exportan a Autodesk 3ds Max. El primer paso es el *texturizado*. Se buscarán las texturas adecuadas para cada elemento, teniendo en cuenta los materiales usados en aquella época para conseguir un aspecto lo más real posible de los hornos originales. Puesto que en la actualidad no existe ningún elemento (ni siquiera en ruinas) de los hornos, todas las texturas usadas se han sacado de un pack de texturas VRAY para Autodesk 3ds Max. Varias de ellas se han tratado con *Adobe Photoshop* para conseguir un mejor aspecto (Fig. 2). Una vez tratada la textura se ha de aplicar mediante una malla que se ajuste al elemento. Mediante el *software* se ha de ajustar la escala, geometría y desplazamiento del material al elemento.

A continuación, se pasa a una fase importantísima que influirá en un resultado más o menos realista del trabajo: el *proceso de iluminación*. Se ha utilizado el motor de *renderizado* VRAY, ya que con él se obtienen una muy buena calidad y unos tiempos de *render* aceptables. La iluminación se basa en un foco de luz que simula la radiación generada por el sol en un día de verano en las coordenadas del municipio

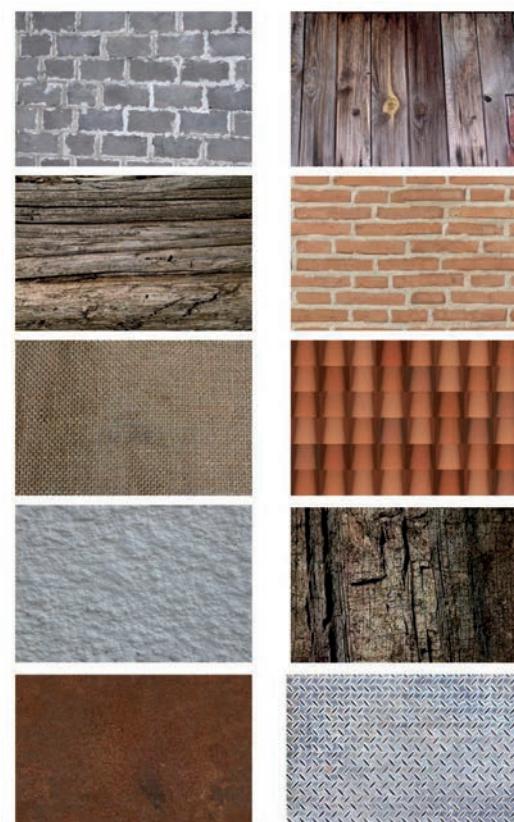


Fig. 2: Algunas texturas utilizadas del banco de Autodesk 3ds Max®

de Almadén. Este tipo de luz se denomina *VRAY Sun* que se complementa de *VRAY Sky* para simular la atmósfera, creando un aspecto más parecido a lo que sucede en la realidad en el trayecto de los haces de luz solar a través de la misma.

En cuanto a la disposición del foco de iluminación, se han escogido unas coordenadas e inclinación del punto de acción que simulen a la que pueda encontrarse en una situación real. A lo largo de la etapa de iluminación, se han encontrado multitud de dificultades. El primer obstáculo ha sido la entrada de los fotones dentro de las diferentes estancias, fijando un número adecuado de rebotes en la iluminación primaria y secundaria. Posteriormente, se han fijado los parámetros referentes a la calidad de trabajo del motor de render *VRAY* como son las divisiones, o tipos y densidad del pixelado, entre otros muchos. Por último, se ha buscado la cámara más apropiada para la realización del reportaje fotográfico: la cámara “*vray physical cam*”.

El proceso de animación genera mapas de bits realísticos. Para ello, se deben definir los movimientos de las distintas partes móviles de las que constan los hornos utilizando el *plug-in REACTOR*. Hay que tener en cuenta parámetros como rigidez, gravedad, factores medioambientales, etc.

Por último, el *renderizado* es el paso mediante el que tiene lugar la obtención de la secuencia de fotogramas para realización del video. Se lleva a cabo animando y configurando la cámara encargada de capturarlos. Los parámetros más importantes de la configuración de la cámara son el Número f, el tiempo de apertura del diafragma y la velocidad de la película. Para la realización del video se ha escogido un ratio de 25 fotogramas por segundo y una resolución de 1080 pixeles de ancho por 720 de alto.

Finalmente, tiene lugar la etapa de CREACIÓN DEL MATERIAL MULTIMEDIA. La unión de fotogramas y montaje del video se lleva a efecto una vez renderizados todos los fotogramas que se unen mediante *Video Edit Magic*. Se elige el número de fotogramas por segundo (fps) y el video en el formato que se desee, en este caso, AVI. Con el programa *Adobe After Effects* se

procede al tratado de algunos valores del video como son la corrección y modificación de blancos, curvas de colores, brillo, saturación, etc.

Dentro de esta etapa, la difusión es clave para la publicación de los resultados. En primer lugar, los contenidos pueden ser incorporados en un museo físico. El diseño y la presentación de estos contenidos son muy importantes, ya que debe ser capaz de llegar a un amplio público que no es experto en la materia tratada. La tendencia es hacia la creación de museos virtuales. Hay publicaciones muy interesantes que dan una visión general y otros aspectos que deben tenerse en cuenta en el diseño de un museo virtual [5], así como la necesidad de explorar la relación entre la presencia y el disfrute de un museo [6]. Una segunda forma de publicación de contenidos es a través de la evolución de un Sistema de Gestión de Contenidos (*Content Management System-CMS*) [7],

NOMBRE	TIPO DE VASO	MARCHA	TAMAÑO MINERAL	CONDENSACIÓN
DE ALUDELES	DE CUBA	DISCONTINUA	DIVERSOS	ALUDELES
DE IDRIA	DE CUBA	DISCONTINUA	DIVERSOS	CÁMARAS
DE CANALES TIPO LIVERMOOR	DE CANALES	CONTINUA	MENUDO	CÁMARAS
CERMAK-SPIREK	DE CUBA	CONTINUA	MENUDO	SERPENTÍN
SPIREK	DE CUBA	CONTINUA	GRUESO	SERPENTÍN
PACIFIC	DE CUBA	CONTINUA	FINO	SERPENTÍN

Tabla 1: Características de los tipos de hornos empleados en Minas de Almadén [2]

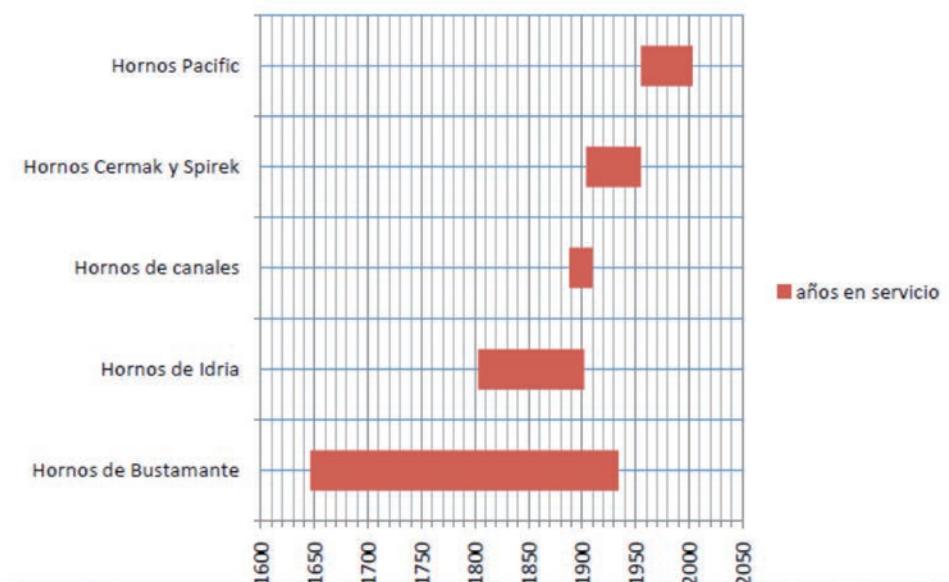


Fig. 3: Años en servicio de los distintos tipos de hornos en Minas de Almadén [2]

que es una de las formas más dinámicas y modernas de presentar la información. Se trata de un programa que permite crear una estructura de soporte (*framework*) para la creación y administración de contenidos, principalmente en páginas web, por parte de los administradores, editores, participantes y demás roles.

3. DATOS EMPLEADOS PARA LA VIRTUALIZACIÓN

Para realizar unas reconstrucciones virtuales lo más realistas posible, es necesario conocer tanto el proceso tecnológico como todos los datos posibles sobre los artefactos utilizados para la producción de mercurio en las *Minas de Almadén*. El tratamiento metalúrgico del cinabrio (HgS) para la obtención del mercurio (Hg) es muy simple. Se basa en la tostación del mineral, que se descompone liberando vapores mercuriales que se condensan, enfrián y depuran en distinto grado para su comercialización, más dióxido de azufre (SO_2). Se requiere el calentamiento de la mena entre 250-300 °C, que se descompone liberando el metal:



La tipología de hornos utilizada a lo largo de los siglos de explotación de las *Minas de Almadén* ha sido variada, perfeccionándose su técnica con el transcurrir de los años para conseguir tres objetivos fundamentales: una mayor producción, mayores rendimientos y una mejora en las condiciones de salubridad de los operarios. Siempre consistían en uno o varios vasos (el horno propiamente dicho) para la tostación del cinabrio, el sistema de destilación para la obtención del mercurio y el de expulsión de los gases resultantes del proceso [2]. En la Tabla 1 se recogen las seis tipologías de hornos utilizadas en la producción del mercurio en Almadén, donde se distingue para cada uno de ellos el tipo de vaso, producción o marcha, el tamaño de mineral tratado y el sistema de condensación [2].

En la Figura 3 se muestra el orden de implantación y los años en servicio de los diferentes tipos de hornos, cuyo número variaba a lo largo del tiempo. Hay que señalar que se iban instalando en los mismos terrenos que ocupaban los que se iban demoliendo, bien por su antigüedad o simplemente por ser sustituidos por otros de técnica más moderna [2].

Los hornos de *Idria* y de tecnología *Spirek* objeto de estudio, tuvieron la particularidad común de representar un importante avance tecnológico en su tiempo y una exportación de ideas desde la cuenca minera de *Idria* (los primeros) y desde las italianas del *Siele* (los segundos) hacia la española de Almadén. Desafortunadamente, ambos tipos de hornos fueron demolidos en su época. En el plano de las instalaciones metalúrgicas del año 1888 (Fig. 4) se observa la ubicación de los hornos de *Idria*, la misma que ocuparon, después de su demolición, la primera batería de tecnología *Spirek* puestas en servicio en 1906 como se puede ver en el plano de año 1912 (Fig. 5) [2].

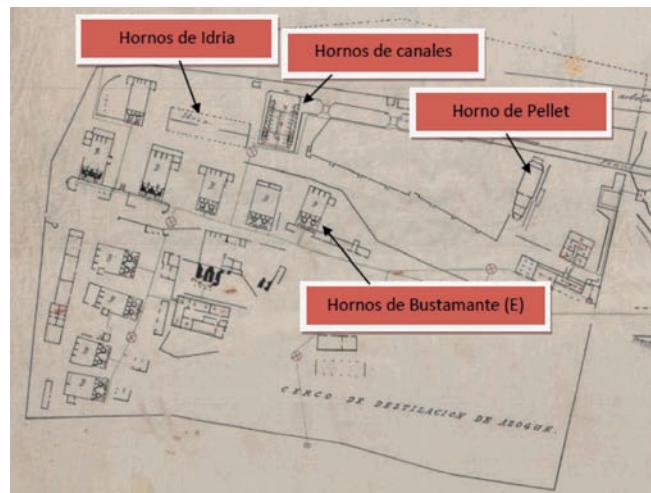


Fig. 4: Plano de distribución del Cerco de Buitrón de 1888 [2]

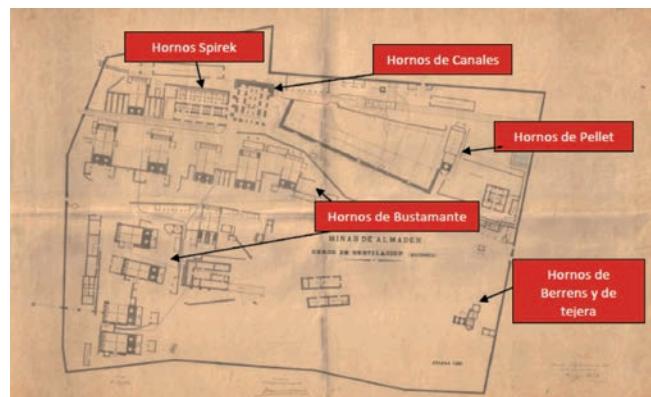


Fig. 5: Plano de distribución del Cerco de Buitrón de 1912 [2]

Los vetustos hornos de *Idria*, fueron importados por el Ingeniero D. Diego de Larrañaga desde la ciudad eslovena que les dio el nombre y construidos en 1806 en Almadén. Estos hornos derivan de la evolución de los hornos de aludeles, exportados medio siglo antes desde Almadén hasta *Idria*. Se sustituyó el sistema de condensación que constituían los aludeles (Fig. 6) por otro a base de cámaras, obligando a los gases mercuriales a recorrer un largo circuito en forma de serpentín. Eran unas construcciones de magníficas dimensiones y que, vistos desde fuera, no dan la idea de acoger unos hornos destinados a la tostación del cinabrio. Para proceder a su reconstrucción ha sido fundamental recurrir a los



Fig. 6: Izquierda: caño o aludel. Derecha: Vista de los hornos de aludeles [2]

planos de la obra de D. Luis de Escosura [8] y a los de José Morete de Varela (Fig. 7) [2], puesto que las únicas fotografías de las que se tiene conocimiento hasta el momento, son las presentadas en este trabajo.

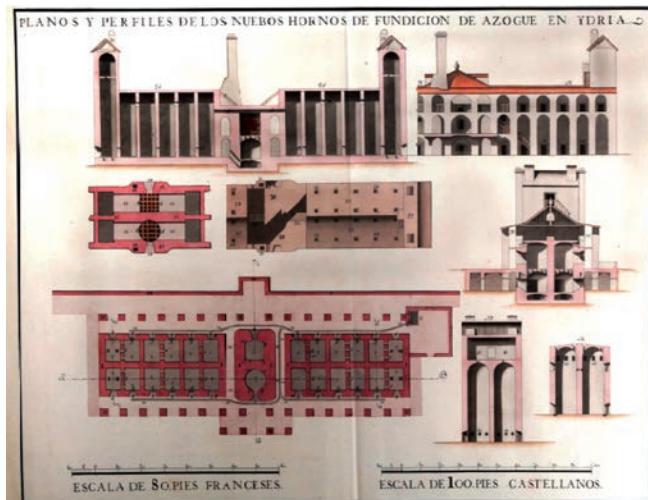


Fig. 7: Plano de planta, alzado y perfil en corte con detalles de los hornos.

Autor: José Morete de Varela, 1803

Fuente: Museo de Ciencia y Tecnología de Madrid

Como se comentó, los artefactos *Cermak-Spirek* y *Spirék* son un ejemplo más del importante intercambio tecnológico habido entre las cuencas mineras de Almadén, Amiata e Idria, además del que existió con Huancavelica en el caso de los hornos de aludeles. El 14 de Febrero de 1903 comenzó la construcción de los hornos de tecnología *Spirék*, finalizando las mismas el 11 de Noviembre de 1904. Años después, se introdujeron modificaciones a los hornos *Spirék* pasando a denominarse *Hornos Almadén*, construyéndose la primera

batería según proyecto de 1919 del Ingeniero José de Moya [2]. La Figura 8 recoge uno de los planos más ilustrativos, apreciándose las secciones de los edificios que acogen los vasos y el sistema de destilación en forma de serpentina.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se ha dicho, el presente trabajo recoge las reconstrucciones virtuales de dos tipologías de hornos que se utilizaron en la metalurgia almadenense: *el par de hornos de Idria* de nombres *San Luis* y *San Carlos*, y las dos primeras baterías de *Hornos Almadén* de tecnología *Spirék*, cada una de cuatro vasos de nombres *Garnica* y *Saavedra Barba*, *Larrañaga* y *Prado*, *Madariaga* y *Urzáiz*, *Conde* y *Ezquerra* [2].

En la Figura 9 se presenta una fotografía mal catalogada tanto en la Fundación Almadén como en el Archivo Histórico Nacional por estar fechada en el año 1924, creando confusión a algunos autores pensando que se trataba de unos hornos *Cermak-Spirék* en lugar de los hornos de Idria. A su derecha, se observa la fachada Sur de los hornos de canales; delante, unos hornos de aludeles. En Figuras 10 y 11 se muestran unos *renders* que representan los alzados desde las vistas Sur y Norte, respectivamente.



Fig. 9: Hornos de Idria, de Bustamante y de canales en el Cerco de Buitrón
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas".

Todos los *renders* (imágenes obtenidas de modelos en 3D) que se presentan en este apartado forman parte de unas animaciones que permiten observar todos los elementos que constituyen los vasos de los hornos y el sistema de destilación, así como los edificios que los acogen.

La Figura 12 muestra una fotografía del edificio que acogía a los primeros hornos de tecnología *Spirék* construidos en el Cerco de Buitrón, a la izquierda de los hornos de canales y en el lugar que ocuparon los hornos de Idria (Fig. 9). La Figura 13 recoge un *render* de la reconstrucción virtual del edificio de los Hornos Almadén vistos desde el Suroeste, donde se puede observar la gran similitud con la estética del edificio de los primeros hornos de tecnología *Spirék* presentados en la Figura 12.

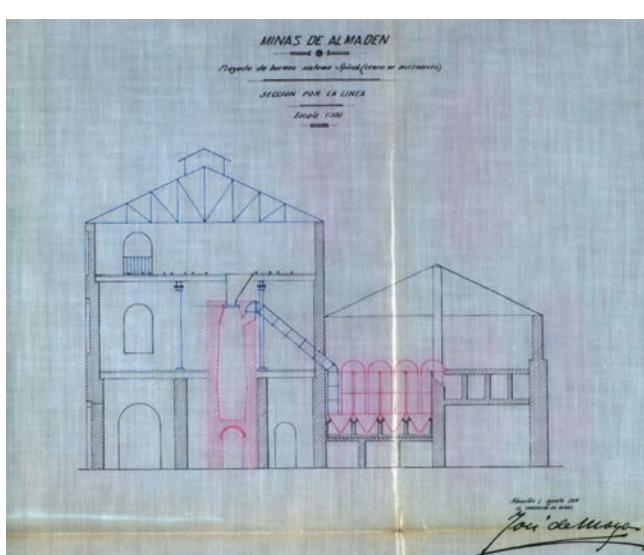


Fig. 8: Sección de los Hornos Almadén. Autor: José de Moya

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

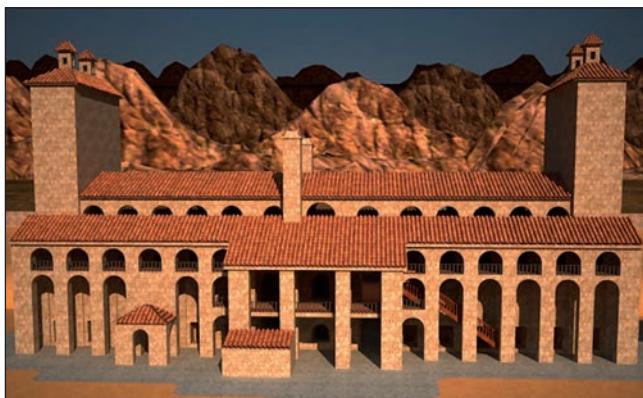


Fig. 10: Render de la reconstrucción virtual de los Hornos de Idria: vista Sur



Fig. 11: Render de la reconstrucción virtual de los Hornos de Idria: vista Norte



Fig. 12: Primera batería de hornos Cermak y Spirek en el Cerco de Buitrón.

A su derecha, los hornos de canales

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"



Fig. 13: Render de la reconstrucción virtual de los Hornos Almadén: vista Suroeste del edificio

En la Figura 14 se presenta una fotografía de una serie de ellas, que han servido de fundamental apoyo para el desarrollo de la reconstrucción virtual de los hornos Almadén. El sistema de condensación se puede apreciar que iba situado en los dos huecos de la fachada Norte del edificio debido a que en ese momento se encontraban en construcción. Las Figuras 15 y 16 muestran unos *renders* de los elementos de este sistema de condensación.



Fig. 14: Batería de Hornos Almadén en construcción en el Cerco de Buitrón.

Fachadas de Levante y Norte y cubierta (30/05/1922)

Fuente: Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

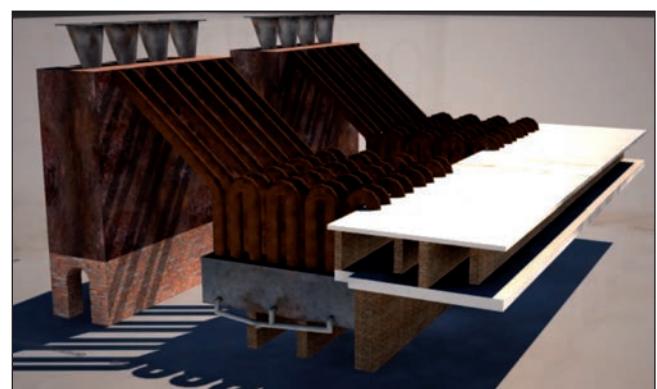


Fig. 15: Render de la reconstrucción virtual de los Hornos Almadén: vasos y sistema de condensación

A la vista de lo mostrado, una característica propia que se encuentra presente en cualquier trabajo de reconstrucción es la de inspirarse en el estilo que posee el edificio o monumento objeto de la reconstrucción. Para ello, se deben estudiar las influencias arquitectónicas o tecnológicas de la época (según los casos). No obstante, puesto que los datos que se poseen en algunas ocasiones no son lo reveladores que se quisiera, las reconstrucciones virtuales se prestan a posibles discrepancias por parte de quiénes las puedan llevar a cabo.

A esto hay que sumar que la reconstrucción virtual ha logrado conseguir cuatro dimensiones en sus representaciones: tres dimensiones espaciales y otra temporal. Los casos presentes evidencian esta afirmación. El resultado obtenido permite la formación de un historial completo que posibilita que un usuario pueda conocer un horno en un momento concreto y los cambios experimentados con el paso del tiempo. Dicho de otra forma, se genera una base de datos que puede



Fig. 16: Render de la reconstrucción virtual de los Hornos Almadén: vasos y sistema de condensación más contorno de huecos del edificio que los acogen (vista Noreste)

ser consultada sin que cualquier actualización signifique una pérdida de fiabilidad histórica. Un ejemplo se tiene al comparar la reconstrucción real y la virtual. La primera implica una gran inversión realizándose con la información conocida en un momento dado. En contraste, la reconstrucción virtual conserva los restos originales que existen, propone soluciones para los elementos que ya no existen y da la posibilidad de modificar estas soluciones, simplemente con nueva información que aporten las investigaciones.

Por otro lado, el éxito de las reconstrucciones virtuales, llevadas a cabo sobre la base de la información histórica, dependerá de la forma de la interacción y el formato de presentación puestos a disposición del usuario final, ya sea para un público general o especializado. Un ejemplo se puede encontrar en la *realidad inmersiva* utilizada en la reconstrucción virtual en museos [9]. También conocida como *realidad aumentada* (Augmented Reality-AR), se refiere a la posibilidad de insertar en el mundo real representaciones tridimensionales de objetos, información en textos, imágenes, videos y sonidos. Otro ejemplo se encuentra en la introducción de hologramas mediante técnicas láser [10].

5. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS

Esta línea de investigación contribuye a la recuperación inmaterial y a la revalorización de una parte del legado metalúrgico de las *Minas de Almadén*, que no ha podido ser reconstruido materialmente en el Parque Minero existente.

La técnica que se propone puede utilizarse en la recuperación de numerosas actividades industriales, sin embargo, en el caso de la metalurgia del mercurio en las *Minas de Almadén*, los trabajos de reconstrucciones virtuales como los presentados en este artículo, suponen una oportunidad única para poner al servicio de la comunidad educativa e investigadora todo este vasto legado industrial y minero como patrimonio inmaterial. Sus particularidades ponen de manifiesto que su estudio, análisis y recuperación son especialmente interesantes, ya que esto implica su conocimiento en gran

profundidad y la utilización de las técnicas más novedosas del campo de la Ingeniería Gráfica. Además de la necesidad de estar al día en estas técnicas, es necesario optimizar la difusión de los resultados. En este caso, los resultados que se vayan obteniendo deben pasar a formar parte del material de museos ya existentes en el Parque Minero, como el “*Museo del Mercurio*”, a través de la creación de un espacio virtual. También es importante su difusión mediante un CMS optimizando los recursos de la web del Parque Minero.

Este trabajo representa solo el principio de lo mucho que queda por hacer. Los desarrollos futuros deben ir en la línea de reconstruir virtualmente el resto de tipologías de hornos metalúrgicos (incluidos los inventos fallidos) en el momento de su historia donde experimentaron avances significativos, así como sus procesos. Posteriormente, se debe realizar una recuperación virtual del *Cerco de Buitrones* donde se pueda apreciar su evolución a lo largo de sus muchos siglos de vida y las distintas ubicaciones de los hornos. De esta forma, se constituiría una base de datos digital que permita la conservación inmaterial de estos elementos patrimoniales y que forme parte de los importantes Archivos de la *Fundación Almadén*.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rojas-Sola JI y Castro-García M. "Overview of the treatment of historical industrial heritage in engineering graphics". *Scientific Research and Essays*. December 2011. Vol. 6 (33). p. 6717-6729. <http://dx.doi.org/10.5897/SREX11.008>.
- [2] Tejero J. "Evolución histórico tecnológica de los hornos en la metalurgia del mercurio de las Minas de Almadén: implantación de los hornos Cermak-Spirek y Spirek". Director: Montes-Tubío Fº. Departamento de Ingeniería Gráfica. Universidad de Córdoba. 2011.
- [3] Ovaldo F. "Bases teóricas y legales para la conservación del patrimonio urbano-arquitectónico". *Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo*. (Tuxtla Gutiérrez). 1996. N (2). p. 59-94.
- [4] Fernández J. "La formación de los arquitectos en la restauración de monumentos". En: *Actas del Simposio Internacional Arquitectura Fortificada: Conservación, restauración y uso de los castillos*, (Segovia 24- 26 de noviembre de 2004). Valladolid: Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León, 2006.p. 265-284. 458 p. ISBN: 84-933024-4-9.
- [5] Sylaiou S, Liarakapis F, Kotsakis K, Patias P. "Virtual museums, a survey and some issues for consideration". *Journal of Cultural Heritage*. October–December 2009. Vol. 10 (4). p. 520-528. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2009.03.003>.
- [6] Sylaiou, S., Mania, K., Karoulis, A., White, M. "Exploring the Relationship between Presence and Enjoyment in a Virtual Museum". *International Journal of Human Computer Studies*. May 2010. Vol. 68 (5). p. 243-253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2009.11.002>.
- [7] Rojas-Sola JI, Castro-García M, Carranza-Cañadas MP. "Content Management System incorporated in a virtual museum hosting". *Journal of Cultural Heritage*. Marzo 2011. Vol. 12 (1). p. 74-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2010.10.004>.
- [8] Escosura Luis. *Historia del tratamiento metalúrgico del Azogue en España*. Madrid: Imprenta y Fundición de M. Tello, 1878. p.139
- [9] Carrozzino M. y Bergamasco M. "Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums". *Journal of Cultural Heritage*. April 2010. Vol. 11 (4). p. 452-458. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2010.04.001>.
- [10] Bjelkhagen HI. "Colour holography: the ultimate 3D imaging technique". *Imaging Science Journal*. April 2011. Vol. 59 (2), p. 83-89. <http://dx.doi.org/10.1179/174313111X12966579709278>.