**La primera máquina de vapor de las minas de Almadén**

**Dr. David Calderón Herrera1, Dr. Francisco Mata Cabrera 2,**

1Ingeniería Gráfica Y Patrimonio Industrial (IGYPI), Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén, Universidad de Castilla la Mancha (UCLM), España. Email: profesor.dcalderon@uclm.es

2 Tecnologías Aplicadas al Diseño (TAD), Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén, Universidad de Castilla la Mancha (UCLM), España. Email: francisco.mcabrera@uclm.es

**Resumen**

La instalación de la primera máquina de vapor en las Minas de Almadén supuso un auténtico hito en la historia de este establecimiento, marcando el comienzo de lo que sería la revolución industrial de estas minas. Gracias a las labores de investigación llevadas a cabo y a las nuevas herramientas y tecnologías que nos ofrece la ingeniería gráfica, se ha podido realizar una reconstrucción virtual y una maqueta a escala, de esa primera máquina de vapor. De esta forma, se puede dar a conocer a la sociedad, las características y el funcionamiento de una máquina extinta en el tiempo, dando aún más valor, si cabe, al patrimonio industrial y minero de Almadén.

**Palabras clave:** Historia de la tecnología; Patrimonio; Máquina de vapor; Ingeniería Gráfica; Minas de Almadén.

**Abstract**

The installation of the first steam engine in the Almadén mines was a real milestone in the history of this establishment, marking the beginning of what would become the industrial revolution of these mines. Thanks to the research work carried out and the new tools and technologies offered by graphic engineering, it has been possible to carry out a virtual reconstruction and a scale model of that first steam engine. In this way, society can be made aware of the characteristics and operation of an extinct machine, giving even more value, if possible, to Almadén's industrial and mining heritage.

**Keywords:** History of technology; Heritage; Steam machine; Graphic Engineering; Almaden mines.



Figura . a) Fotografía Maqueta 1ª Máquina de Vapor (expuesta en el parque minero de Almadén. b) Render 1ª Máquina de Vapor. Fuente: [[1](#_ENREF_1)].

# Introducción

La realización de trabajos de investigación para la recuperación y puesta en valor del patrimonio industrial y minero de Almadén (Ciudad Real) ha permitido preservar un gran número de sus elementos patrimoniales que, de otro modo, habrían desaparecido, convirtiéndose en instrumentos estratégicos para el desarrollo de la localidad y su comarca [[2](#_ENREF_2)]. Prueba de ello es su inclusión el 30 de junio de 2012 en la lista de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO.

La combinación de una metodología de investigación histórica y de carácter interdisciplinar, junto con las nuevas herramientas que nos aporta la ingeniería gráfica [[3](#_ENREF_3)], han conseguido dar un nuevo impulso a la puesta en valor de este patrimonio industrial y minero, permitiendo así la recuperación de máquinas o edificios ya extintos, algo que hasta la actualidad no era posible. De esta forma, se ha recuperado el elemento más emblemático de la era del vapor en estas minas, la primera máquina de vapor en su especie, en instalarse en una mina española durante el siglo XVIII (1787-1805).

El estudio nos ha permitido conocer la máquina al detalle y el edificio donde se albergaba, además de aproximarnos a la comprensión de lo que fue la transferencia tecnológica de una nueva fuente de energía que cambiaría su organización productiva, los espacios de trabajo, el desarrollo técnico industrial de la sociedad y la problemática ocasionada. La falta del conocimiento de esta nueva tecnología, el uso de combustibles inadecuados y diversos problemas estiraron en el tiempo la instalación de esta primera máquina. Toda esta problemática retrasó la llegada de más máquinas de vapor al establecimiento minero, lo que puede considerarse como un claro ejemplo de la lenta incorporación de la revolución industrial en la España del siglo XIX.

Este trabajo pretende mostrar el proceso seguido para la recuperación y puesta en valor de este bien desaparecido y poder dar a conocer a la sociedad actual los orígenes de lo que se consideró como el predecesor del motor de combustión interna [[4](#_ENREF_4)].

Otra de las novedades que aporta este trabajo es la de mostrar una de las diferentes utilidades que puede tener una reconstrucción virtual (Figura 1-b), como es la construcción de una maqueta (Figura 1-a) a escala de la máquina de vapor y sus calderas, aproximándonos aún más así a la realidad.

# Metodología

La metodología empleada en este trabajo de investigación se conoce como “método histórico”. Se trata de un procedimiento basado en la busqueda de datos y hechos del pasado de forma fiel, y obtener unos resultados que nos permitan formular ideas, teorías y, en definitiva, extraer conclusiones que den explicación a los hechos estudiados.

El método se puede dividir en tres fases:

1. Heurística: Fase en la que se identifican, localizan y recopilan las diferentes fuentes documentales. Se diferencian las fuentes primarias, como documentos elaborados en la época, y las fuentes secundarias, que son trabajos o análisis de fuentes primarias realizados por expertos en la materia.
2. Crítica: Las tareas propias de esta fase comprenden el estudio de los documentos recopilados, a fin de valorar la autenticidad, integridad y credibilidad de la fuente. Para ello, es necesario un proceso exhaustivo de contextualización: circunstancias sociales, tecnología utilizada en la época, procesos de trabajo, antecedentes, etc. Esto permite que las fuentes sean evaluadas bajo la óptica de diferentes disciplinas: historia, arqueología, tecnología, dibujo, etc.
3. Síntesis: Es el producto final de la investigación. Tras el análisis de la documentación, se procede a reconstruir los hechos, explicar las causas y arrojar las conclusiones que procedan.

Conforme a esta propuesta, el proceso que se ha seguido en este trabajo es el siguiente:

En primer lugar, se realiza una recopilación de datos y un estudio del contexto minero-tecnológico del siglo XVIII-XIX, en especial de la tecnología del vapor [[5](#_ENREF_5)] y de los métodos de representación gráfica [[6](#_ENREF_6)], lo que nos facilitará el análisis, la valoración y la selección de la información más relevante.

A continuación, se realiza un estudio gráfico de las diferentes representaciones de la máquina de vapor, contextualizándolos en la época. Esto nos permitirá conocer sus dimensiones, los materiales empleados, su funcionamiento, etc.

En tercer lugar, se hace una selección de las diferentes herramientas informáticas que se utilizarán para el modelado en 3D, la creación de espacios virtuales y la texturización de los materiales, realizándose a continuación la reconstrucción virtual de la máquina.

En último lugar, a partir de los planos elaborados para la reconstrucción virtual y el resto de información obtenida en el estudio, se construye una maqueta, mediante materiales básicos como madera, plásticos, arcillas, etc., a escala 1:25, que en el día de hoy se expone en el Parque Minero de Almadén. De esta forma, se consigue devolver a la vida, a esta máquina de vapor desaparecida en la historia y que a partir de ahora podrá ser recordada como fue [[1](#_ENREF_1)].

# Contextualización

## Tecnología del vapor durante los siglos XVIII y XIX.

La máquina de vapor es un dispositivo mecánico que transforma la energía térmica del vapor de agua en energía mecánica, con aplicaciones para generación de movimiento y electricidad. Esta transformación se consigue mediante la expansión del vapor generado en unas calderas, y su posterior enfriamiento dentro de un cilindro equipado con un pistón móvil.

La utilización de este tipo de máquinas supuso la sustitución de la fuerza humana y animal, por la del vapor para generar el movimiento de los mecanismos.

Aunque nos podemos remontar a la antigua Grecia, donde Herón de Alejandría[[1]](#footnote-1) en el siglo II a.C. menciona en un manuscrito[[2]](#footnote-2), la utilización del vapor como energía para generar movimiento [[7](#_ENREF_7)], no es hasta el siglo XVI cuando comienzan a aparecer evidencias claras de la utilización de la fuerza del vapor [[8](#_ENREF_8)].

Tal fue la repercusión y la importancia de la máquina de vapor, que la atribución de su invención, por lo menos en España, ha sido un tema bastante controvertido. Existen evidencias suficientes de que el inventor navarro Jerónimo de Ayanz consiguió el privilegio de patente en 1606, de una máquina de vapor, a través de una Real Cédula [[9](#_ENREF_9)]. Esta máquina fue utilizada por primera vez en 1611, para realizar el desagüe de las minas de Guadalcanal (Sevilla, España), permitiendo así la reanudación de los trabajos de explotación minera [[10](#_ENREF_10)]. A pesar de ello, no sería hasta mediados del siglo XVIII, en Inglaterra, cuando la máquina alcanzara su máximo desarrollo de la mano de Watt, que mejoraría la máquina atmosférica de Newcomen, añadiendo un condensador, que permitía que se produjera la condensación del vapor fuera del cilindro, mejorando así el rendimiento [[5](#_ENREF_5)].

Los avances más importantes que sufrió la máquina de vapor a partir del siglo XVIII, siguiendo un orden cronológico, fueron [[1](#_ENREF_1)]:

* 1705. Newcomen presenta la máquina atmosférica, mejorando la de Savery, al separar la caldera de la propia máquina.
* 1763. Polzunov desarrolla la máquina de dos cilindros, que no requiere accionamiento lateral para los mecanismos de escape del vapor [[11](#_ENREF_11)].
* 1769. Watt introduce un condensador separado del cilindro, logrando un menor consumo de combustible y un mejor rendimiento.
* 1782. Boulton&Watt presentan la máquina de vapor de doble efecto, ofreciendo un mayor rendimiento que su primera máquina.
* 1789. Betancourt proyecta una máquina de doble efecto muy similar a la de Watt.
* 1802. Trevithick desarrolla la máqui­na de vapor de alta presión.
* 1802. Evans construye una máquina de alta presión, similar a la máquina de Trevithick.
* 1804. Woolf desarrolla la primera máquina de vapor compuesta. En esta máquina, de media presión, el vapor se expande con ayuda de dos cilindros, y presentaba una notable economía frente a la máquina de Watt además de un movimiento más regular del balancín.
* 1882. Laval presenta la turbina de vapor.
* 1884. Parsons proyecta otra turbina de vapor.

Fueron numerosos los beneficios que llegó a aportar la máquina de vapor a la sociedad y su contribución al desarrollo tecnológico. Su sustitución por la electricidad y por los motores de combustión interna fueron otro salto evolutivo en la tecnología, aunque en la actualidad las turbinas de vapor siguen utilizándose para la generación de energía eléctrica.

## Aplicación del vapor en la minería a partir del siglo XVIII.

Durante este periodo, la fuerza del vapor sustituiría la fuerza humana y animal para la realización de multitud de trabajos tanto en la minería como en otros sectores.

Por el tema que nos ocupa, nos centraremos en el sector de la minería, considerada una de las actividades más antiguas desarrolladas por el ser humano. De la multitud de aplicaciones que tuvo el vapor en la minería, una de las más importantes fue su utilización en las labores de desagüe. El uso del vapor supuso un gran avance, mejorando el rendimiento, reduciendo la mano de obra y aumentando la profundidad desde la que se podía elevar el agua. Así pudo mejorar notablemente la minería subterránea, permitiendo llegar a cotas de nivel mucho más profundas para la extracción de mineral [[12](#_ENREF_12)].

Aunque tenemos datado el primer uso del vapor para la elevación del agua en 1611 en las minas de Guadalcanal, no sería hasta la llegada de la máquina de Newcomen en 1712, cuando empezaría a expandirse el uso del vapor en la minería, extendiéndose rápidamente por Inglaterra, Eslovaquia (1722), Suecia (1726), Bélgica (1726) y Francia (1732) [[13](#_ENREF_13)]. La principal problemática de la máquina de vapor era su dependencia del combustible (carbón), y de agua para la generación del vapor. por lo que en minas donde no era posible acceder a estos recursos, bien por la escasez o por el precio del transporte, seguirían utilizando los métodos tradicionales de desagüe.

Con la aparición de la máquina de Watt a mediados del siglo XVIII, con un mayor rendimiento y un menor consumo de combustible, el uso de vapor se expandiría con mayor rapidez por todo el mundo. En España, después del caso de Guadalcanal, no sería hasta 1785 en las minas de Almadén cuando se volvería a utilizar el vapor en una mina.

Tras resolver el problema del desagüe, otro de los usos relevantes de la máquina de vapor en la minería fue en el trabajo de extracción y transporte vertical de operarios y materiales [[12](#_ENREF_12)]. Otras de las aplicaciones fue la primera locomotora de vapor en minería, idea de Trevithick (1804). Tras estos logros, nace la idea de resolver con estos medios el transporte horizontal (acarreo) en la minería. El transporte horizontal se presenta tanto en el interior de la mina, desde la extracción del mineral, como en el exterior de la mina, hasta la planta de tratamiento, preparación y metalurgia si fuese necesario. Los métodos han evolucionado desde los cubos y carrillos de mano hasta las vagonetas sobre raíles de hierro, incorporadas a mediados del siglo XIX en Inglaterra y a finales de este siglo en España.

La utilización del vapor en el interior de las minas no era la mejor opción por los gases y vapores que perjudicaban las condiciones de ventilación y de trabajo; aunque un ejemplo de su utilización lo tenemos en la mina metálica de Rio Tinto (Huelva, España), explotada por compañías extranjeras, donde la locomotora de arrastre exterior entraba en el interior de las galerías para recoger los vagones. En cuanto al tratamiento del mineral, la utilización del vapor también supuso una mejora. A partir del siglo XIX, estas máquinas se emplean para triturar, cribar y lavar el mineral [[14](#_ENREF_14)]. Junto con estas aplicaciones, también aparecieron máquinas que facilitaron los diferentes trabajos como las excavadoras de vapor y los martillos de vapor incorporados en España después de 1850.

## Técnicas de representación gráfica en los siglos XVIII y XIX.

Durante este periodo, se produce una transición, marcada por la revolución industrial, haciendo cada vez más necesario una forma de dibujar centrada en las máquinas y sus elementos. Surge el concepto de normalización, para facilitar la fabricación y la producción. Además, se produce la separación definitiva entre el dibujo técnico y el artístico, tal y como hoy lo entendemos, dando origen al dibujo industrial [[15](#_ENREF_15)].

Tal era la calidad de los planos que se desarrollaron en esta época, que gracias a un análisis gráfico se pueden determinar la estructura, los materiales, las dimensiones y el funcionamiento de máquinas, ante la falta de vestigios físicos, como es el caso que nos ocupa con la primera máquina de vapor de las minas de Almadén.

### **Sistemas de Representación.**

Durante el siglo XVIII, no existía un sistema de representación como tal, y la disposición de las vistas y elementos, estaban ligados al conocimiento del propio autor. A pesar de ello, se ponía un gran interés en definirlos lo mejor posible, añadiendo información para identificar la dirección y el sentido de la vista, utilizando flechas, símbolos, textos e incluso figuras humanas mostrando el accionamiento de la máquina. Ya en el siglo XIX, comienza a normalizarse la utilización del sistema de representación diédrico inventado por Gaspard Monge, basado en la proyección cilíndrica ortogonal, la utilización de cortes y secciones para una mejor interpretación del elemento representado [[16](#_ENREF_16)].

### **Técnicas de dibujo.**

Dentro de las técnicas de dibujo utilizadas en España, podemos destacar dos tipos. Para la divulgación científica, cartografía, geografía y estampas artísticas, se utilizaba el Grabado, técnica que se venía utilizando en España desde el siglo XV. Consiste en grabar la imagen en una plancha metálica, que posteriormente es entintada y trasladada a un soporte, generalmente papel, por medio de determinados medios de estampación [[17](#_ENREF_17)].

Cuando se trataba de planos únicos, la técnica empleada era la del dibujo lavado, aplicando a cada elemento a representar un color similar al real, conjugando el em­pleo de los colores con los efectos de som­bra e luz para dar un aspecto de realidad a la representación, consiguiendo un efecto tridimensional de la imagen. Se trata de un proceso muy laborioso, donde hay que prestar especial atención al papel utilizado, las diferentes capas de tinta, tiempos de secado, etc.

### **Líneas, Colores, Símbolos y Figuras.**

Aunque no existiera una normalización como la que conocemos hoy en día, sí pueden verse o apreciarse ciertas reglas en la utilización de líneas, colores, símbolos y figuras que nos ayudan a interpretar los planos. La tipología de líneas utilizadas se resume a una línea continua más o menos gruesa para los contornos y aristas, una línea de puntos en los ejes de simetría, líneas auxiliares y de cota, estando los grosores limitados a la herramienta de dibujo (la pluma) [[17](#_ENREF_17)]. La utilización de los colores tenía un papel fundamental en los dibujos lavados, y aunque tampoco seguían ninguna normalización, puede determinarse cuales eran los más habituales en la representación de algunos elementos [[18](#_ENREF_18)]. Para muros de mampostería el carmín o colorado, para tejados de pizarra el negro, para huecos de puertas y ventanas el blanco, para carpintería y estructura de madera el marrón, etc.

En este tipo de planos era habitual encontrar figuras humanas, de animales, incluso manos o flechas para escenificar el funcionamiento de una máquina o el sentido de desplazamiento o giro de algún elemento. Como era habitual en la época, es difícil encontrar una normalización, aunque podemos decir que en los planos de cartografía y topografía sí se utilizaban unos símbolos específicos para simplificar la elaboración y compresión de los planos [[19](#_ENREF_19)], [9].

# La primera máquina de vapor de las minas de Almadén a través del estudio de planos de la época.

El objetivo principal de este trabajo es la puesta en valor de la primera máquina de vapor instalada en las minas de Almadén, a través de los análisis gráficos de diferentes planos o dibujos donde aparecía la máquina, con la finalidad de realizar una reconstrucción virtual y construir una maqueta que pueda mostrar a la sociedad el funcionamiento y el aspecto que tuvo esta máquina

## Breve historia de la primera máquina de vapor de las minas de Almadén.

La máquina llega al establecimiento minero en el año 1787, con la intención de poner fin al problema del desagüe que tantos años había dificultado las labores de extracción del cinabrio. Tal fue la problemática de la implantación de esta nueva tecnología, que la instalación de la máquina se demoró en el tiempo durante 18 años. El principal problema, es que el encargado de adquirir la máquina, el ilustre Tomás Pérez Estala, sólo encargó a Wilkinson las piezas principales de la máquina, aquellas que no podía fabricar en España, fiando el resto de las piezas y su montaje a su propio conocimiento. Además de que la máquina que adquirió se encontraba desfasada frente a la de doble efecto que ya había diseñado Watt, la máquina fue adquirida a Wilkinson, quien había aprovechado el encargo de fabricar algunas piezas a Watt, para copiar la máquina y montar algunas de ellas sin la licencia de Watt [[20](#_ENREF_20)].

Estas dos decisiones condicionaron en gran medida el montaje de la máquina. La fabricación de piezas en diferentes lugares propició retrasos en las entregas e incompatibilidades entre elementos. Además, al adquirir la máquina a Wilkinson, no hubo ningún compromiso de asesoramiento técnico. En Junio de 1805, transcurridos 18 años, se pudo dar por concluido el periodo de instalación de la máquina, y su utilización en las minas supondría un ahorro de 324.572 reales al año, sin contabilizar el ahorro de mano de obra, que a partir de entonces podía destinarse a otras labores. Pero no todo fueron ventajas, la transferencia tecnológica del vapor llevaba consigo la necesidad de un conocimiento técnico y personal cualificado, factores que, sumados a los avatares del proceso de montaje, nunca dejaron que la máquina mostrase su mejor versión.

A pesar de su antigüedad y de no haber implementado las mejoras que habían ido teniendo las de su género, la máquina merece una mención honorífica, pues al menos durante 80 años estuvo en funcionamiento aliviando el trabajo a “fuerza de sangre” de los mineros. Por todo ello, puede afirmarse que tiene un valor incalculable, aunque por circunstancias fuera vendida como chatarra en 1919 durante las reformas llevadas a cabo en las minas para la introducción de la electricidad.

## Análisis gráfico de los planos de la primera máquina de vapor.

Tras la exhaustiva búsqueda de información sobre la primera máquina de vapor instalada en las minas de Almadén, repartirda entre diferentes archivos históricos, bibliotecas y museos, se han podido localizar algunos planos o dibujos donde la maquina había sido representada en mayor o menor detalle. Cabe destacar que la mayoría de los planos que se realizaron sobre esta máquina fueron destruidos o donados a colecciones donde se les ha perdido la pista.

Entre ellos, tenemos que destacar los siguintes, que vamos a enumarar para poder referirnos a ellos a lo largo de este trabajo (Figura 2):

* Plano nº 1: Plano construcción del edificio de la máquina de vapor junto al baritel del pozo de San Teodoro. FCMA-1488, [[21](#_ENREF_21)].
* Plano nº 2: Plan, perfil y corte de las calderas de la máquina de vapor. Plano P-05429, [[22](#_ENREF_22)].
* Plano nº 3: Plano de las tres máquinas del pozo de San Teodoro[[3]](#footnote-3). Plano Nº 12, [[23](#_ENREF_23)].
* Plano nº 4: Plano de Diego de Larrañaga y Braulio Correa de la Mina de Almadén. Año 1796 [[24](#_ENREF_24)]

Para este análisis, se van a seguir los pasos indicados en el trabajo de Patricia Zulueta Perez [[17](#_ENREF_17)]. En primer lugar se determinará la utilidad del plano o dibujo, después se identificará el sistema de representación utilizado por el autor y la técnica de dibujo utilizada. También hay que prestar atención a la utilización de efectos de iluminación, sombras y colores que nos puedan ayudar a determinar los materiales de los que estaba construida la máquina, así como la presencia o no de algún len­guaje alfanumérico.

### **Sistemas de Representación.**

En el plano nº 1 se ha utilizado un sistema de representación de proyección ortogonal horizontal, donde se representa una sección en planta del edificio que va a albergar la máquina de vapor junto al que ya existe del baritel del pozo de San Teodoro. El plano nos permite conocer la disposición y dimensiones en planta de ambos edificios, y la ubicación que llevará la máquina dentro del edificio, pues se trata de un plano de obra.

Para el plano nº 2 se ha empleado el sistema diédrico, dividiendo el papel en cuatro partes donde se representa la planta, alzado, perfil y secciones de la bateria de dos calderas, que alimentaba a la primera máquina de vapor. Este plano nos permite identificar con claridad las dimensiones, la geometría y las diferentes piezas de las que estaba compuesto el conjunto.

En el plano nº 3, nos volvemos a encontrar una representación de proyección ortogonal, pero en este caso en vertical, de las tres máquinas que se utilizaban en el pozo de San Teodoro. Estas son la máquina de vapor, la máquina de extracción o de mulas (malacate) y la máquina de cargar y descargar. Aunque en el plano se representan más elementos, en él podemos determinar las dimensiones y geometría de la máquina de vapor en su conjunto, incluso nos permite ubicar la posición de las calderas respecto a la máquina y entender el funcionamiento en las labores de desagüe, pues representa el cañonaje que desciende por el pozo para la extracción del agua.

Al igual que en el plano anterior, el el plano nº 4 encontramos una representación de proyección ortogonal en vertical, donde el objetivo principal no es el de representar a la máquina de vapor, pero si nos sirve para ubicarla en tiempo, identificar la posición y forma en las minas, y poder contrastar varias de las conclusiones obtenidas del análisis de los demás planos.

### **Técnica de Dibujo.**

Salvo el plano nº 1, que ha sido dibujado en tinta negra, con rellenos en tinta más o menos suave sobre algunos elementos para su mejor definición, en el resto de planos la técnica empleada ha sido el dibujo lavado al agua. Gracias a este tipo de técnica se pueden determinar de qué materiales estaba compuesta la máquina en estudio.

Los tonos azulados se utilizan para los metales, excepto para las calderas que se utiliza un color rojizo por estar fabricadas en cobre. De igual forma, para representar el agua se utilizan tonos azules verdosos y para la madera tonos marrones.

****

Figura . Arriba a la izquierda: Plano nº 2; Arriba a la derecha: Plano nº 3; Abajo a la izquierda: Plano nº 1; Abajo a la derecha: Plano nº 4. Fuente: Elaboración propia.

La composición de los materiales con los que fue construido el edificio se ve reflejado en los tonos carmín utilizados para la mamposteria seccionada y la que no está cortada, en tonos grises, siendo más oscuro el punto más cercano al observador, dejando en blanco los huecos libres de puertas y ventanas.

La iluminación se considera natural y va de izquierda a derecha con una inclina­ción de 45º, como se deduce de las sombras utilizadas. Con todo ello se consigue un efecto tridimensional, aunque se trate de una plano en 2D, aproximando el dibujo a la realidad.

### **Lenguaje Alfanumérico.**

La presencia del lenguaje alfanumérico en estos planos ha sido de vital importancia para poder comprenderlos y así llegar a identificar las diferentes piezas que componen la máquina de vapor, así como el funcionamiento de la misma y de sus calderas. En todos los planos analizados se encuentra una numeración, ya sea por letras como por números para identificar cada una de las piezas, o para identificar las vistas o secciones representadas.

En el plano nº 1 la leyenda esta impresa en el propio plano, pero en los planos nº 2 y 3 esta leyenda se realizó en un documento anexo a los planos, dada la extensión de la misma y la imposibilidad de poder incluirla en el propio plano. Como ejemplo, la leyenda del plano de D. José Morete de Valera ocupa dos folios A-4. En el caso del plano nº 2 no hemos tenido la suerte de localizar dicho documento y hemos tenido que elaborarla con los conocimientos adquiridos durante la investigación.

Por último en el plano nº 4, aunque tambièn existe la presencia de este tipo de lenguaje, en lo que se refiere a la máquina de vapor, no hay información alguna.

Otro de los elementos incluidos en los planos ha sido la presencia de una escala gráfica, como norma general en pies franceses[[4]](#footnote-4), que nos ha permitido determinar las dimensiones reales de la máquina de vapor [[1](#_ENREF_1)].



Figura . a) Esquema funcionamiento 1ª Máquina de Vapor. b) Render Funcionamiento Caldera 1ª Máquina de Vapor. Fuente: [[1](#_ENREF_1)]

### Descripción de la primera máquina de vapor

Del análisis gráfico de los planos se ha podido determinar que la primera máquina de vapor del pozo de San Teodoro se correspondía con el primer modelo diseñado por Watt, de simple efecto, con condensador independiente, sin regulador de apertura de válvulas y sin volante de inercia, con unas pequeñas modificaciones realizadas por Tomás Pérez Estala, ilustre que recibió el encargo de la adquisición y montaje de la máquina. Hubo modificaciones que, lejos de mejorar la máquina, la perjudicaron, como fueron la falta de volante de inercia o de regulador que cerrase la válvula para evitar la comunicación del cilindro con la caldera en el momento de ascensión del pistón del cilindro.

Además de identificar el tipo de máquina, también hemos podido inferir el ciclo de funcionamiento (Figura 3-a), que que comienza con la generación de vapor en las calderas de tipo Watt. En sus planos se ve perfectamente su geo­metría, con forma rectangular y con los costados planos, la parte inferior en for­ma cóncava y la parte superior en forma de semicilindro y hogar exterior. El vapor circula a través de las tuberías hasta la parte superior del cilindro. Una vez dentro del cilindro, el vapor empuja al pistón, produciendo un movimiento de vaiven alterno. Cuando el pistón llega al final de su recorrido, se produce la apertura de una válvula que deja escapar el vapor hasta el condensador, donde se enfriará para transformarse en agua, que se reutiliza para volver a generar vapor en la caldera.

El movimiento de vaiven del pistón se trasmite al balancín, el cual tiene conectado por el otro extremo un contrapeso para favorecer la ascensión del pistón. Además, en el propio balancín, existen unos guionajes o cadenas, para accionar las bombas de extracción de agua de las minas, para el accionamiento de las válvulas que dan paso al vapor y para enviar el agua del condensador nuevamente a las calderas.

# Resultados.

## Reconstrucción Virtual.

Para poder realizar la reconstrucción virtual ha sido necesario la utilización de programas de diseño gráfico y realidad virtual, en los que se construye el modelo y se implementa toda la información tecnológica e histórica del elemento representado.

De suma importancia ha sido la existencia de escalas gráficas en los planos, que nos ha permitido obtener todas las medidas necesarias para hacernos una idea de las dimensiones de la máquina de vapor. El balancín tenía una longitud aproximada de 9 m y el cilindro tenía un diámetro de 1,50 m y un recorrido de 3,20 m. En caso contrario, la tarea hubiera sido mucho más complicada, teniendo que extraer dimensiones de cálculos técnicos realizados en la época. (Figura 3-a).

La metodología de trabajo empleada ha sido la siguiente: recopilación de datos, análisis gráfico, análisis constructivo y de materiales, selección software, modelado en 2D y 3D, renderizado, retoque fotográfico y resultados.

Partiendo de que ya hemos realizado el análisis gráfico, el siguiente paso ha sido un análisis constructivo, donde se han estudiado edificios y máquinas similares para poder determinar detalles como los materiales empleados, la fijación de elementos y así elegir las texturas que se utilizarán en el renderizado.

Con todo el estudio realizado, el siguiente paso ha sido la elección del software de Autodesk, AutoCAD Inventor 2015, montado sobre un orde­nador equipado con un procesador Intel Core i7, 3.6 GHZ con memoria RAM de 16 Gb DDR3, tarjeta gráfica 4 Gb Geforce GTX1050 y disco duro SSD 500 GB Sata 3.



Figura 4. a) Edificios Máquina de Vapor (3D). b) Edificios Máquina de Vapor (Maqueta). Fuente: [[1](#_ENREF_1)]

Entrando en materia, y dada la complejidad del elemento a representar, se decide dibujar los componentes por separado; los edificios, por un lado, las calderas (Figura 3-b) por otro y la máquina en último lugar, comenzando por las piezas más significativas como el balancín, el cilindro o el condensador. Como norma general, se comienza dibujando en 2D, para luego transformar los elementos en 3D con las herramientas que ofrece el software de diseño. En este caso no se ha recurrido a la generación de mallas, trabajando exclusivamente con sólidos y sus trasformaciones.

Terminada la representación de todos los elementos, hay que elegir los materiales y las texturas que se utilizarán para obtener los mejores resultados. Se ha recurrido a la creación de las texturas, en vez de utilizar imágenes prediseñadas, mediante fotografías de edificios y máquinas similares. Definidos todos estos parámetros, sólo nos queda renderizar las representaciones para obtener las imágenes finales de la reconstrucción realizada, danto por terminado el proceso. (Figura 4-a)

## Construcción de Maqueta

La representación en 3D que se ha realizado, nos ha permitido elaborar planos para la construcción de una maqueta a escala 1:25. El proceso de construcción de la maqueta comienza con la elección de un elemento principal que sirva como referencia, en este caso se ha elegio el balancín de la máquina de vapor. (Figura 1-a)

A partir de aquí comienzan a crearse el resto de elementos como el condensador, el armazón de los edificios, etc. Seguidamente, se aplican las diferentes texturas para simular los materiales reales de los que se fabricó esta máquina. El paso final consiste en montar todos los elementos para formar el conjunto de la máquina de vapor, su edificio, las calderas que alimentaban a la máquina y la balsa de agua que servía de suministro para las calderas. Finalmente, se aplican unos retoques de pinturas, remates y la adición de elementos decorativos que den una aspecto mucho más llamativo y real a la maqueta. (Figura 4-b)

# Conclusiones

El trabajo que se ha llevado a cabo ha permitido conocer con todo de­talle la primera máquina de vapor instalada en las minas de Almadén, su forma, tipo, problemática y funcionamiento.

La utilización de los programas informáticos para el diseño en 3D son un claro ejemplo de las nuevas herramientas que nos ofrece la ingeniería gráfica para la recuperación de elementos de un gran valor patricomonial desaparecido, como es el caso de esta máquina de vapor. Ofrecen utilidades como la creación de una maqueta a escala para poder mostrar de forma real como era esta máquina. Otra de las utilizades que puede tener este tipo de trabajos es la creación de una plataforma on-line de modelos 3D y realidad virtual (VR) para que puedan ser visitados por todas aquellas personas interesadas en estos temas.

Podemos concluir indicando que este tipo de trabajos es aplicable a cualquier campo de la Ingeniería y la Arquitectura en el que se pretenda recuperar elementos desaparecidos en el tiempo y que poseen un valor incalculable, lo que abre un abanico de posibilidades muy amplio.

# Referencias

*[1] D. Calderón Herrera, "La Tecnología del Vapor aplicada en las Minas de Almadén. Desde su origen hasta el Consejo de Administración.," Universidad de Córdoba., España, 2017.*

*[2] L. Mansilla Plaza, Metodología para la valorización del patrimonio minero industrial de Castilla la Mancha. Cordoba: Universidad de Cordoba, 2013.*

*[3] J. G. S. Tejero Manzanares, I; Perez Calle, M.D.; Montes Tubío F., "La reconstrucción virtual en la recuperación del patrimonio metalúrgico de minas de Almadén," DYNA. Ingeniería e Industria., vol. 3, pp. 299-307, 2013.*

*[4] D. Calderón Herrera, D. Fuentes Ferrera, L. Mansilla Plaza, and M. J. Navas Sanchez-Tirado, "Las Calderas de la Primera Máquina de Vapor de Minas de Almadén. Reconstrucción 3D y maqueta a partir de sus planos.," DYNA. Ingeniería e Industria., vol. 92. Nº 6, p. 5, 2017.*

*[5] T. Tredgold, Tratado de las Máquinas de Vapor, y de su Aplicación a la Navegación, Mina, Manufacturas, etc. Madrid: Imprenta de D. León Amarita, 1831.*

*[6] P. Zulueta Pérez, "El dibujo de máquinas: sistematización de un lenguaje gráfico.," in Técnica e Ingeniería en España. VI. El Ochocientos. De los lenguajes al patrimonio., M. S. Suarez, Ed., ed España: Real Academia de Ingeniería, Institución "Fernando el Católico", Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011, pp. 213-254.*

*[7] E. A. Müller, Termodinámica Básica: máquinas de vapor. España: Publidisa S.A., 2004.*

*[8] R. H. Thurston, Una historia del crecimiento del Vapor-Motor.* [*www.gutenberg.org:*](http://www.gutenberg.org:) *El Proyecto Gutenberg eBook (19 de Abril de 2011), 1886.*

*[9] N. García Tapia, Patentes de invención española en el siglo de oro: Oficina Española de Patentes y Marcas. Ministerio de Industria y Energía., 1994.*

*[10] N. García Tapia, Les premières applications de la vapeur: le cas de Jerónimo de Ayanz. San Francisco: Relations Science-Technique., 1993.*

*[11] E. P. Popov, The dynamics of automatic control systems: Elsevier, 2014.*

*[12] L. Mansilla Plaza, Aproximación a la Evolución de la Tecnología Minera a lo Largo del Siglo XIX. Ciudad Real: Cuadernos de Estudios Manchegos. Instituto de Estudios Manchegos (CSIC), 2011.*

*[13] J. Sánchez Gómez, Minería Metalurgia en la Edad Moderna vol. 16. Madrid: Ediciones Akal, 1997.*

*[14] A. Escudero, "Transferencias Tecnológicas en la Minería del Hierro Españolas (1850-1936)," Boletin Geologico y Minero, vol. 119, pp. 297-308, 2008.*

*[15] I. Casado Galván. (2009, Apuntes para un estudio del diseño industrial. Contribuciones a las Ciencias Sociales.*

*[16] C. Piélago, Teoría mecánica de las construcciones para los estudios de la Academia especial de ingenieros: sacada de las obras de M. Navier y de varios autores : comprende la resistencia de los cuerpos que sirven de materiales, y la descripción y establecimiento de las construcciones de tierra, de piedra, de madera y de hierro:, 1837.*

*[17] P. Zulueta Pérez, Los Ingenios y Las Máquinas. Representación Gráfica en el Período Ilustrado en España. España: Secretario de Publicaciones e Intercambio Editoral. Universidad de Valladolid., 2007.*

*[18] A. G. Fernandez, Compendio de la geometria elementar, especulativa y practica: forma de levantar, y labar los planos, y modo de hacer las tintas para su manejo... Sevilla: Oficina de D. Nicolás Vazquez y Compañia., 1778.*

*[19] D. Fuentes Ferrera, Estudio de la Evolución de los Métodos de Explotación de la Mina de Almadén a través de sus Representaciones Gráficas en el Periodo comprendido entre Finales del Siglo XVIII y Principios del Siglo XX. España: Universidad de Córdoba, 2012.*

*[20] T. S. Ashton, Iron and Steel in the Industrial Revolution,. Manchester, 1963.*

*[21] Archivo Histórico Nacional, Gastos de las Bombas de Vapor 1787-1798. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 1488, caja 1, 2 y 3: Manuscrito no publicado. Madrid, 1798.*

*[22] V. Romero, "Plan, perfil y cortes de las calderas de la máquina de vapor.," ed. Archivo Histórico Minas de Almadén, Plano P-05429, Cajón Nº 18: Plano No Publicado. Almadén-España, 1830.*

*[23] J. Morete de Valera, Las Minas de Almadén. Colección de Planos de las Reales Minas de Almadén. Madrid: Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1803.*

*[24] C. B. Larrañada D., "PLANO Y PERFIL DE LAS REALES MINAS DE AZOGUE DE LA VILLA DE ALMADÉN," ed. Minas de Almaden, 1792.*

1. Posiblemente discípulo de Ctesibio, célebre mecánico al que se le atribuye la invención de la bomba aspirante-impelente. [↑](#footnote-ref-1)
2. En su obra *“Spiritalia seu Pneumatica”:* *“The Pneumatics Of Herón Of Alexandria”* traducida por Bennet Woodcroft (London, 1851) [↑](#footnote-ref-2)
3. Los derechos de propiedad intelectual pertenecen al MUNCYT (Museo Nacional de Ciencia y Tecnología). [↑](#footnote-ref-3)
4. La medida de “1 pie francés” equivale a 325 mm. [↑](#footnote-ref-4)