



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

— Tesis Doctoral —

LA TECNOLOGÍA DEL VAPOR APLICADA
EN LAS MINAS DE ALMADÉN. DESDE SU ORIGEN
HASTA EL CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN

David Calderón Herrera
Córdoba, 2017

TITULO: *La tecnología del vapor aplicada en las Minas de Almadén. Desde su origen hasta el Consejo de Administración*

AUTOR: *David Calderón Herrera*

© Edita: UCOPress. 2017
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

TESIS DOCTORAL

**LA TECNOLOGÍA DEL VAPOR APLICADA
EN LAS MINAS DE ALMADÉN. DESDE SU
ORIGEN HASTA EL CONSEJO DE
ADMINISTRACIÓN.**

Dirigida por:

Dr. D. Luis Mansilla Plaza

Dr. D. Demetrio Fuentes Ferrera

Tutor:

Dr. D. Francisco de Paula Montes Tubio.

Autor: David Calderón Herrera



TÍTULO DE LA TESIS:

**LA TECNOLOGÍA DEL VAPOR APLICADA EN LAS MINAS DE ALMADÉN.
DESDE SU ORIGEN HASTA EL CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN**

DOCTORANDO/A: DAVID CALDERÓN HERRERA

INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

Dr. D. LUIS MANSILLA PLAZA, Titular de Universidad del Departamento de Ingeniería Geológica y Minera de la Universidad de Castilla-La Mancha y Dr. D. DEMETRIO FUENTES FERRERA, Titular de Universidad del Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos de la Universidad de Castilla – La Mancha como directores de tesis,

INFORMAN

Que la Tesis Doctoral titulada “LA TECNOLOGÍA DEL VAPOR APLICADA EN LAS MINAS DE ALMADÉN. DESDE SU ORIGEN HASTA EL CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN “, de la que es autor D. David Calderón Herrera ha sido realizada bajo nuestra dirección durante los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017 y cumple las condiciones académicas exigidas por la legislación vigente para optar al título de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Que la Tesis Doctoral realizada tiene como fuentes principales de trabajo e investigación las siguientes: el Archivo Histórico Nacional de Madrid, la Biblioteca del Museo de Ciencia y Tecnología de Madrid, el Archivo Histórico del Hospital de Mineros de Almadén, de Minas de Almadén, el Centro Geográfico y Archivo Cartográfico del Ejército de Madrid, el Instituto de Historia y Cultura Militar de Madrid, el Archivo Histórico Provincial de Ciudad Real, el Museo Histórico Minero “Francisco Pablo Holgado”, así como la propia población minera de Almadén (Ciudad Real), trabajos y publicaciones (algunas inéditas) de carácter histórico, científico y tecnológico relacionadas con sus objetivos.

La metodología empleada en el trabajo realizado, como en toda investigación de este tipo se ha basado en la recogida y análisis exhaustivo de información en los distintos archivos y fuentes de información contrastándola con la historiografía existente sobre dicha temática.

La introducción de la máquina de vapor en las Minas de Almadén originó uno de los cambios tecnológicos más importantes acaecidos en estas minas, situándola en un contexto minero internacional de primer orden en cuanto al campo de la tecnología se refiere.

Este estudio de investigación ha permitido comprobar 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 y sin volante de inercia, con unas pequeñas modificaciones realizadas por Tomás Pérez Estala.

Y para que conste a los efectos oportunos firman el presente informe en Córdoba a 25 de septiembre de 2017.

Trabajos relacionados:

- “LA TRANSFERENCIA TECNOLOGÍA DEL VAPOR EN LAS MINAS DE ALMADEN, SIGLOS XVIII Y XIX”. XI Congreso Internacional de Historia de la Minería. IMHC2016
- “LAS CALDERAS DE LA PRIMERA MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN: RECONSTRUCCIÓN 3D Y MAQUETA A PARTIR DE SUS PLANOS. Revista Dyna. 2017

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

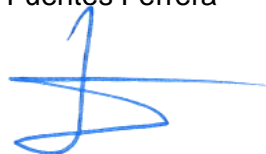
Córdoba, 25 de Septiembre de 2017

Firma del/de los director/es

Fdo.: Luis Mansilla Plaza



Fdo.: Demetrio Fuentes Ferrera





UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

TESIS DOCTORAL

**LA TECNOLOGÍA DEL VAPOR APLICADA
EN LAS MINAS DE ALMADÉN. DESDE SU
ORIGEN HASTA EL CONSEJO DE
ADMINISTRACIÓN.**

Dirigida por:

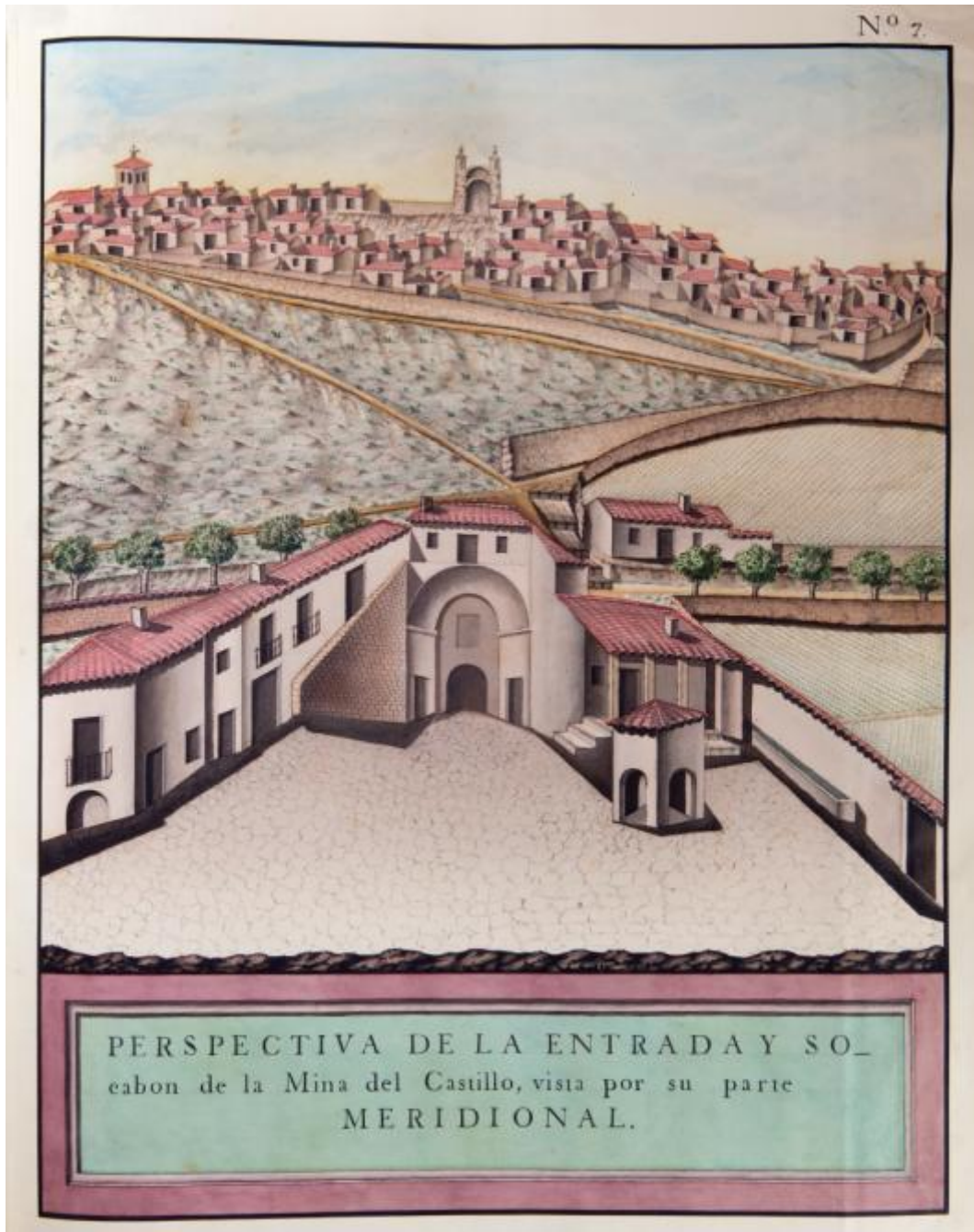
Dr. D. Luis Mansilla Plaza

Dr. D. Demetrio Fuentes Ferrera

Tutor:

Dr. D. Francisco de Paula Montes Tubio.

Autor: David Calderón Herrera



**Perspectiva de la entrada y socavón de la Mina del Castillo.
Fuente: (Morete de Valera, 1803)**

NOTA: Las imágenes que se presentan en versión reducida es debido a los derechos de propiedad intelectual ejercidos por el MUNCYT (Museo Nacional de Ciencia y Tecnología) sobre La Colección de Planos de las Reales Minas de Almadén de D. José Morete de Valera, 1803.

Agradecimientos

A M^a Julia por su comprensión y apoyo, a Natalia por sacarme siempre una sonrisa en los momentos más complicados y a mi familia por su enorme paciencia.

Al Dr. Francisco Montes Tubío (Tutor de Tesis), por sus valiosas y útiles sugerencias.

Al Dr. Luis Mansilla Plaza (Director de Tesis), por sus consejos, su inestimable apoyo, por orientar mi investigación y por todo el tiempo dedicado a supervisar este trabajo.

Al Dr. Demetrio Fuentes Ferrera (Director de Tesis), dándome siempre ánimos para no ceder en el empeño y por dar luz a mi investigación en los momentos de oscuridad.

A D. Adrián Fernández Sánchez, fundamental en la elaboración de la reconstrucción virtual.

A D. Arturo Molina Benítez y a D. José Carlos Molina de las Heras, indispensables para la construcción de la maqueta.

Al Archivo Histórico de Minas de Almadén, por poner a mi disposición todos sus fondos.

A D. Antonio Trenado Naharro, por facilitarme fotografías de su archivo particular.

A mis amigos, por acompañarme en todo momento durante esta ardua tarea.

RESUMEN

La desaparición de un gran número de elementos importantes del patrimonio industrial está siendo compensada en los últimos años con el incremento de la labor investigadora tradicional combinada con el uso de las técnicas de reconstrucción virtual, lo que le ha dado un nuevo impulso a la recuperación y puesta en valor de éste patrimonio acercándolo con ello a la sociedad.

En este trabajo de investigación se estudia la etapa de instalación de la tecnología del vapor en las minas de Almadén (Ciudad-Real), a través de las diferentes máquinas utilizadas en dicho establecimiento minero a lo largo del siglo XIX, concretamente en la mina vieja y en especial en sus tres pozos principales, los de San Teodoro, San Aquilino y San Miguel, analizando sus ventajas y los problemas de la implantación de una nueva tecnología en una empresa que en esta época es reacia a los cambios.

Otro de los aspectos que se han tratado en esta investigación ha sido el uso de las nuevas herramientas de la ingeniería gráfica, gracias a las cuales ha sido posible la recuperación del elemento más emblemático de la época del vapor en estas minas, la primera máquina del siglo XVIII. Fue la primera de su especie instalada en una mina española llegando a funcionar casi un siglo, siendo uno de los ejemplos más claros de la lenta incorporación de la revolución industrial en la España del siglo XIX.

El conocimiento de la máquina al detalle, desde sus planos originales y otras representaciones contemporáneas, junto con la utilización de programas de modelado 3D y la generación de espacios virtuales, han permitido devolver a ésta al momento actual. Mostrando su funcionamiento, sus materiales, dimensiones, e incluso llegar a construir una maqueta a escala 1:25.

Este trabajo de investigación es el punto de partida para poder recuperar, mediante realidad aumentada, todo el conjunto patrimonial del pozo de San Teodoro donde estuvo instalada la máquina de vapor, contribuyendo con ello a aumentar el conocimiento de las instalaciones mineras y su evolución tecnológica de la emblemática mina de Almadén considerada hoy día Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (30/06/2012).

Palabras clave: Patrimonio, Historia de la Tecnología, Máquina de Vapor, Reconstrucción Virtual, Almadén

ABSTRACT

The disappearance of a large number of important elements of the industrial heritage is being compensated in the late years with the increment of researching works, combined with techniques of virtual reconstruction that has brought a new impulse to the heritage recovery and setting in value to bring near to the society.

The present research work studies the stage when the steam technology was implemented in Almaden Mine (Ciudad Real), through the different machines used in the mining establishment along the XIXth century, specifically in the Old Mine and in its three main shafts: St. Teodoro, St. Aquilino and San Miguel. We analyze their advantages and problems of the implantation of the new technology in a company that in those days was obstinate to the changes.

Another side that has been treated in this research are the new tools of the graphic engineering, thanks to them is possible the recovery of the most emblematic element of the epoch of the vapor in these mines, the first machine at XVIII th century. It was the first of its characteristics installed in a Spanish mine and it was working almost a century, being a clear example of the slow development the industrial revolution in the Spain of the XIX th century.

The knowledge of the machine in detail, with his blueprints and other contemporary representations, along with the use of software of modeling 3D and the generation of virtual spaces, have allowed giving back to the present-day moment. Showing its functioning, its materials, dimensions, even allowing us to build a maquette scale 1:25.

This research work is the starting point to be able the recovering, by means of enlarged reality, the whole patrimonial set of the well of San Teodoro where the steam engine was installed, contributing with it to increase the knowledge of the mining facilities and its technological evolution of the emblematic mine of Almadén declared World Heritage by UNESCO (30/06/2012).

Keywords: Heritage, History of technology, Steam Machine, Virtual Construction, Almadén

INDICE

I-INDICE GENERAL

Contenido

I-INDICE GENERAL.....	2
II-INDICE DE TABLAS	7
III-INDICE DE FIGURAS.....	9
IV-INDICE DE GRAFICOS.....	18
1.-INTRODUCCIÓN.....	20
2.- OBJETIVOS.....	26
3.- METODOLOGÍA.....	30
3.1.-Primera fase: Heurística o búsqueda de las fuentes.....	30
3.2.-Segunda fase: Crítica o valoración de la validez de los documentos.....	32
3.3.-Tercera fase: Síntesis o producto final.....	33
4.-ESTADO DEL ARTE.....	36
5.-ANTECEDENTES.....	46
5.1.-Aspectos mineros.....	46
5.1.1.-Contexto de la minería en los siglos XVIII y XIX.....	46
5.1.2.-La minería española en el siglo XIX.	51
5.1.3.-Tecnología minera en el siglo XIX.	55
5.1.3.1.-Arranque.....	57
5.1.3.2.-Fortificación.	64
5.1.3.3.-Transporte y extracción.	67
5.1.3.4.-Desagüe.	89
5.1.3.5.-Ventilación.	100
5.1.3.6.-Alumbrado.	105
5.1.4.-Apunte sobre legislación minera española en el siglo XIX.	109
5.2.-La tecnología del vapor en el siglo XIX.	115
5.2.1.-Breve historia de la máquina de vapor.	115
5.2.2.-Tipos de máquinas de vapor en el siglo XIX.....	136

5.2.3.-Inicios de la era del vapor en España.....	148
5.2.4.-Aplicaciones del vapor en la minería desde el siglo XVIII hasta el siglo XX.....	155
5.3.-Aspectos de la representación gráfica de la época.....	159
5.4.-Las Minas de Almadén.....	172
5.4.1.-Breve historia de las Minas de Almadén.	172
5.4.2.-Patrimonio minero e industrial de Almadén y Comarca.....	184
5.4.2.1.-Recursos patrimoniales.....	184
5.4.2.1.1.-Las Minas de Almadén.....	184
5.4.2.1.2.-El horno de Aludeles o de Bustamante.	189
5.4.2.1.3.-La puerta de Carlos IV y su cerco de Buitrones.....	191
5.4.2.1.4.-El cerco de Buitrones de Almadenejos.....	192
5.4.2.1.5.-Los castilletes.	193
5.4.2.1.6.-Restos arqueológicos de la Real Cárcel de Forzados.....	195
5.4.2.1.7.-La plaza de toros hexagonal de Almadén.	197
5.4.2.1.8.-El Real Hospital de los Mineros de San Rafael.	198
5.4.2.1.9.-La Academia de Minas.....	200
5.4.2.1.10.-Otras edificaciones de interés.....	202
5.4.2.2.-Valorización del patrimonio.	206
5.4.3.-Causas que favorecieron el repunte tecnológico en Minas de Almadén hasta la llegada del vapor.	212
5.4.4.-Método de explotación en Minas de Almadén en el siglo XIX.	218
6.-LA ERA DEL VAPOR EN MINAS DE ALMADÉN	224
6.1.-El problema del desagüe en Minas de Almadén.	224
6.1.1.-Desde los romanos hasta mediados del siglo XVIII.....	224
6.1.2.-Desde la década de 1750 hasta comienzos del siglo XIX. .	227
6.2.-La primera máquina de vapor del pozo de San Teodoro.	234
6.2.1.-La instalación de la primera máquina de vapor 1787-1805.	234
6.2.2.- Cálculos y datos técnicos de la primera máquina de vapor.	242

6.2.3.- Los últimos días de la primera máquina de vapor.	256
6.3.-La era dorada del vapor en Minas de Almadén.....	259
6.3.1.- La segunda máquina de vapor 1848-1870.	259
6.3.2.- Las nuevas máquinas de vapor.....	265
6.4.-El fin de la era del vapor en Minas de Almadén.	276
6.4.1.- El informe de 1906.	276
6.4.2.- El informe de 1916.	278
6.4.3.- El informe del Sr. Souvirón 1918.	282
6.5.-Análisis de la primera máquina del pozo de San Teodoro a partir de planos de la época.	288
7.-RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL.....	290
7.1.-Análisis de la primera máquina de vapor del pozo de San Teodoro a partir de planos de la época.	290
7.1.1.-Plano en planta del edificio de la máquina de vapor y del baritel.	290
7.1.2.-Plano de la primera máquina de vapor, de la de cargar y descargar y del malacate del pozo de San Teodoro.	296
7.1.3.-Plano de las calderas de la primera máquina de vapor del pozo de San Teodoro.	317
7.2.-Reconstrucción virtual de la primera máquina de vapor del pozo de San Teodoro.....	333
7.2.1.-Introducción y metodología de trabajo.....	333
7.2.2.-Datos de partida.	335
7.2.3.-Análisis constructivo.	340
7.2.4.-Software.	345
7.2.5.-Modelado.....	352
7.2.6.-Materiales y texturizado.....	363
7.2.7.-Iluminación y sombras.	376
7.2.8.-Renderizado.	378
7.2.9.-Retoque fotográfico.	381

7.2.10.-Resultados.....	387
7.3.-Construcción de maqueta de la máquina de vapor.	390
8.-CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	396
8.1.-Conclusiones.....	396
8.2.-Futuras líneas de investigación.....	400
9.-BIBLIOGRAFÍA.....	404
9.1.-Bibliografía.	404
9.2.-Recursos electrónicos y páginas web.	418
10.-ANEXOS.....	422
10.1.-Láminas de la reconstrucción virtual de la primera máquina de vapor de Minas de Almadén.....	422
10.1.1.-Plano en planta del edificio de la máquina de vapor y del baritel, 1787.	422
10.1.2.- Plano de la máquina de vapor, de la de cargar y descargar y del malacate del pozo de San Teodoro, 1803.....	422
10.1.3.- Plano de las calderas de la máquina de vapor del pozo de San Teodoro, 1830.	422
10.1.4.-Lámina 01. Alzado, planta, perfil y perspectiva de las calderas.	422
10.1.5.- Lámina 02. Alzado, planta, perfil y perspectiva del cilindro.	422
10.1.6.- Lámina 03. Alzado, planta, perfil y perspectiva del condensador.	422
10.1.7.- Lámina 04. Alzado, planta, perfil y perspectiva del balancín.	422
10.1.8.- Lámina 05. Alzado, planta, perfil y perspectiva de la máquina de vapor.	422
10.1.9.- Lámina 06. Alzado, planta, perfil y perspectiva del conjunto de edificios.	422
10.1.10.- Lámina 07A. Comparativa del plano original de las calderas con el resultado obtenido en la reconstrucción virtual.	422

10.1.11.- Lámina 07B. Comparativa del plano original de las calderas con el resultado obtenido en la reconstrucción virtual.	423
10.1.12.- Lámina 08. Comparativa del plano original de la máquina de vapor con el resultado obtenido en la reconstrucción virtual.	423
10.1.13.- Lámina 09. Despiece de la Máquina de Vapor.	423
10.2.-Reportaje fotográfico de la maqueta de la primera máquina de vapor de Minas de Almadén.	424
10.3.-Actas de mantenimiento de las máquinas de vapor de minas de Almadén.	428
10.3.1.-Acta de mantenimiento de 1907.	428
10.3.2.-Actade mantenimiento de 1910.	430
10.4.-Partes de trabajo de la máquina de vapor del pozo de San Teodoro.	431
10.4.1.-Parte de trabajo del 28-30 de Junio de 1869.	431
10.4.2.-Parte de trabajo del 1-6 de Julio de 1879.	432
10.5.-Planos máquinas de vapor.	433
10.5.1.-Plano máquina de vapor del Arsenal de la Carraca 1813.	433
10.5.2.-Plano máquina de vapor del Arsenal de Ferrol 1813.	434
10.6.-Real Cedula privilegio introducción Bombas de Fuego en España 1790.	435
10.7.-Reglamento para el establecimiento de máquinas de vapor en la ciudad de Barcelona y su territorio 1835.	441
10.8.-Tabla cronológica de las ordenanzas referentes a las máquinas de vapor fijas y a locomotoras en Francia 1865.	456

II-INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Innovaciones mineras Renacimiento-Revolución Industrial</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 2. Clasificación general del conjunto de labores que se practican en las minas.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 3. Medios mecánicos de arranque.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 4. Resistencias relativas de algunas clases de madera, empleadas en la fortificación.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 5. Estudio comparativo planos inclinados por tracción mecánica.</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 6. Resumen evolución legislativa.</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 7. Aportaciones a la máquina de vapor de Newcomen.</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 8. Clasificación de las máquinas de vapor..</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 9. Clasificación de las calderas de vapor.</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 10. Caballos de vapor instalados en España en 1900.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 11. Equivalencias unidades de medidas.</i>	<i>168</i>
<i>Tabla 12. Antecedentes de la Revitalización del Patrimonio Minero de Almadén.</i>	<i>207</i>
<i>Tabla 13. Evolución del Sistema de Laboreo en Minas de Almadén.....</i>	<i>218</i>
<i>Tabla 14. Estado de las Aguas de las Reales Minas de Almadén en 1783.....</i>	<i>230</i>
<i>Tabla 15. Gastos instalación primera máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>238</i>
<i>Tabla 16. Comparación resultados de los cálculos de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>250</i>
<i>Tabla 17. Producción de agua y costes del desagüe del quinquenio 1851-1855.</i>	<i>253</i>
<i>Tabla 18. Costes por m³ de varias máquinas de vapor.</i>	<i>254</i>
<i>Tabla 19. Coste del desagüe con la primera máquina de vapor en el quinquenio de 1863-1867.....</i>	<i>256</i>
<i>Tabla 20. Máquinas de vapor instaladas en las minas de Almadén.....</i>	<i>281</i>

<i>Tabla 21. Ficha del plano de planta del edificio del baritel y del edificio de la máquina de vapor.....</i>	<i>291</i>
<i>Tabla 22. Leyenda. Plano FCMA-1488</i>	<i>293</i>
<i>Tabla 23. Ficha del plano de las tres máquinas del pozo de San Teodoro Nº12.</i>	<i>296</i>
<i>Tabla 24. Leyenda del plano Nº 12.</i>	<i>304</i>
<i>Tabla 25. Ficha del plano de las calderas de la máquina de vapor P-05439.</i>	<i>317</i>
<i>Tabla 26. Leyenda del plano P-05429.....</i>	<i>322</i>
<i>Tabla 27. Ficha del plano del Cerco de San Teodoro Nº3..</i>	<i>336</i>
<i>Tabla 28. Comparativa Software Diseño 3D.</i>	<i>348</i>

III-INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Portada interior del libro Elementos de Laboreo de Minas de D. Joaquín Ezquerro del Bayo. 1839</i>	55
<i>Figura 2. Herramientas tradicionales empleadas en minería</i>	58
<i>Figura 3. Excavadora a vapor.</i>	63
<i>Figura 4. Ejemplos de fortificación</i>	65
<i>Figura 5. Ejemplo entibación con madera, en Minas de Almadén.</i>	66
<i>Figura 6. Carretilla de mano.</i>	68
<i>Figura 7. Aperos de transporte en minería</i>	69
<i>Figura 8. Vagón metálico para el transporte de mineral</i>	70
<i>Figura 9. Dibujo plano inclinado.</i>	71
<i>Figura 10. Dibujo de transporte aéreo de mineral</i>	73
<i>Figura 11. Extracción de mineral mediante torno de mano</i>	75
<i>Figura 12. Esquema malacate de caballerías.</i>	76
<i>Figura 13. Croquis castillete de la Mina de Barruelo. Palencia.</i>	78
<i>Figura 14. Paracaídas. Sistema de seguridad para las jaulas.</i>	79
<i>Figura 15. Máquina de extracción transportable de cilindros gemelos</i>	80
<i>Figura 16. Rueda hidráulica para la extracción</i>	81
<i>Figura 17. Maqueta de una máquina de columnas de agua.</i>	82
<i>Figura 18. Detalle máquina de extracción de columna de agua.</i>	83
<i>Figura 19. Galería inclinada de acceso a la mina de Las Caleras de Cartagena</i>	84
<i>Figura 20. Detalles escalas de mano y escalas móviles</i>	86
<i>Figura 21. Bajada a la mina mediante el torno de mano</i>	87
<i>Figura 22. Bajada a la mina mediante jaulas.</i>	88
<i>Figura 23. Galerías de desagüe</i>	90
<i>Figura 24. Maqueta de norias romanas. Museo de Bochum</i>	92
<i>Figura 25. Tornillo de Arquímedes</i>	93
<i>Figura 26. Polea de Cangilones</i>	94

<i>Figura 27. Bomba Aspirante.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 28. Bomba Aspirante Impelente</i>	<i>96</i>
<i>Figura 29. Bomba Aspirante Impelente Doble Efecto.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 30. Máquina de vapor de Newcomen.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 31. Ventilación natural en mina subterránea</i>	<i>101</i>
<i>Figura 32. Ventilación Artificial con hogar interior</i>	<i>103</i>
<i>Figura 33. Aparatos para la ventilación en las minas</i>	<i>104</i>
<i>Figura 34. Tipos de candil para la iluminación en las minas</i>	<i>105</i>
<i>Figura 35. Candil de Minas de Almadén.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 36. Lámparas de seguridad.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 37. Lámpara de Carburo de Minas de Almadén.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 38. Máquina de Vapor de Herón de Alejandría</i>	<i>116</i>
<i>Figura 39. Experimento con vapor de Juan Escrivá</i>	<i>117</i>
<i>Figura 40. Máquina de vapor de Jerónimo de Ayanz.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 41. Aparato de vapor de Salomón de Caus</i>	<i>120</i>
<i>Figura 42. Máquina de vapor de Giovanni Branca</i>	<i>120</i>
<i>Figura 43. Máquina de vapor de Edward Somerset, marqués de Worcester .</i>	<i>121</i>
<i>Figura 44. Máquina de vapor de Dionisio Papín.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 45. Máquina de vapor de Thomas Savery.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 46. Los barqueros del Weser destrozan el barco de vapor de Papín..</i>	<i>124</i>
<i>Figura 47. Máquina de vapor de Newcomen.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 48. Máquina de vapor de Boulton & Watt. Mina de carbón de Hawkesbury, Bedworth. 1776.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 49. Máquina de vapor de doble efecto de Boulton & Watt. New River Head, London. 1785.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 50. Máquina de doble efecto de Agustín de Betancourt.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 51. Máquina de vapor de Arthur Woolf.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 52. Esquema de cilindros conjugados de la máquina de Woolf</i>	<i>133</i>
<i>Figura 53. Cilindro Simple Efecto a la izq. y Cilindro Doble Efecto a la dcha .</i>	<i>137</i>
<i>Figura 54. Esquema condensador máquina de vapor.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 55. Máquina de vapor horizontal.</i>	<i>138</i>

<i>Figura 56. Máquina de vapor Locomóvil.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 57. Tornillo-Hélices movidos a vapor de Stevens, 1804.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 58. Caldera de vapor rectangular.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 59. Caldera de vapor cilíndrica.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 60. Caldera con hogar interior.....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 61. Caldera tubular de Babcock y Wilcox.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 62. Mecanismo de sierras movido por máquina de vapor en el Arsenal de la Carraca.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 63. Lámina grabada de Juan López de Peñalver << La Prensa de Bramah >>. El Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 64. Dibujo lavado al agua de Agustín de Betancourt. << Descripción del Establecimiento de Yndrid >>.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 65. Plano malacate.....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 66. Parte caligráfico letra romana.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 67. Reconstrucción Virtual Baritel Santa Cristina de Almadenejos (Ciudad Real).....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 68. Fotografía digital Hornos de Bustamante.....</i>	<i>190</i>
<i>Figura 69. Puerta de Carlos IV.....</i>	<i>192</i>
<i>Figura 70. Fotografía Castillete del Pozo de San Aquilino.....</i>	<i>194</i>
<i>Figura 71. Maqueta de la Real Cárcel de los Forzados de Almadén.....</i>	<i>196</i>
<i>Figura 72. Plaza de Toros Hexagonal de Almadén.....</i>	<i>197</i>
<i>Figura 73. Real Hospital de los Mineros de San Rafael de Almadén.....</i>	<i>199</i>
<i>Figura 74. Reconstrucción virtual de la Academia de Minas de Almadén.....</i>	<i>201</i>
<i>Figura 75. Esquema del Parque Minero de Almadén.....</i>	<i>209</i>
<i>Figura 76. Diagrama: El Patrimonio Minero-Industrial como Recurso en Almadén.....</i>	<i>210</i>
<i>Figura 77. Primera etapa método Larrañaga.....</i>	<i>219</i>
<i>Figura 78. Segunda etapa método Larrañaga.....</i>	<i>220</i>
<i>Figura 79. Tercera etapa método Larrañaga.....</i>	<i>220</i>
<i>Figura 80. Etapas método de Larrañaga.....</i>	<i>221</i>

<i>Figura 81. Desagüe a fuerza de sangre con torno de mano y zacas de cuero</i>	225
<i>Figura 82. Charquero llenando zaca de cuero.</i>	225
<i>Figura 83. Tornos de achicar agua en las minas de Almadén.</i>	226
<i>Figura 84. Bombas aspirantes minas de Almadén</i>	228
<i>Figura 85. Bombas aspirantes en la mina de la Concepción de Almadenejos.</i>	232
<i>Figura 86. 1ª Máquina de Vapor durante su construcción</i>	258
<i>Figura 87. Máquina de Vapor de 20 CV del Pozo de San Miguel</i>	268
<i>Figura 88. Máquina de Vapor de 30 CV del Pozo de San Aquilino.</i>	270
<i>Figura 89. Taller de preparación mecánica de minerales de Minas de Almadén. Fuente: Plano P-04705 Archivo Histórico de Minas de Almadén.</i>	271
<i>Figura 90. Caldera de vapor con hogar interior de las Minas de Almadén</i>	271
<i>Figura 91. Plano construcción edificio de la máquina de vapor junto al baritel del pozo de San Teodoro. FCMA-1488.</i>	290
<i>Figura 92. Escala gráfica. Plano FCMA-1488.</i>	292
<i>Figura 93. Leyenda. Plano FMCA-1488</i>	293
<i>Figura 94. Detalle de la sección en planta del baritel. Plano FCMA-1488.</i>	294
<i>Figura 95. Detalle de la planta del edificio de la máquina de vapor. Plano FCMA-1488.</i>	295
<i>Figura 96. Plano de las tres máquinas del pozo de San Teodoro</i>	298
<i>Figura 97. Detalle del marco del plano N° 12.</i>	298
<i>Figura 98. Cajetín del plano N° 12.</i>	299
<i>Figura 99. Escala gráfica del plano N° 12.</i>	301
<i>Figura 100. Vistas de las tres máquinas del Plano N° 12.</i>	302
<i>Figura 101. Página 1 de 2 del anexo leyenda del plano N° 12.</i>	305
<i>Figura 102. Página 2 de 2 del anexo leyenda del plano N° 12.</i>	306
<i>Figura 103. Detalle del malacate del plano N° 12.</i>	307
<i>Figura 104. Detalle de la máquina de cargar y descargar del plano N° 12.</i>	309
<i>Figura 105. Detalle de la máquina de vapor del plano N° 12.</i>	310

<i>Figura 106. Detalle del cañonaje de las bombas de desagüe del plano N° 12.</i>	313
<i>Figura 107. Esquema funcionamiento de la máquina de vapor.....</i>	315
<i>Figura 108. 3D 1ª Máquina de Vapor de Minas de Almadén.....</i>	316
<i>Figura 109. Plan, perfil y corte de las calderas de la máquina de vapor. Plano P-05429.....</i>	318
<i>Figura 110. Detalle del marco del plano P-05429</i>	319
<i>Figura 111. Cajetín del plano P-05429.....</i>	320
<i>Figura 112. Escala gráfica del plano P-05429.....</i>	321
<i>Figura 113. Sección en planta del plano P-05429.....</i>	325
<i>Figura 114. Sección M-N del plano P-05429.....</i>	326
<i>Figura 115. Sección A-B del plano P-05429.....</i>	328
<i>Figura 116. Sección C-D del plano P-05429.</i>	330
<i>Figura 117. Esquema caldera de la máquina de vapor en 3D.....</i>	332
<i>Figura 118. Plan del Cerco de San Teodoro. Plano N° 3.</i>	336
<i>Figura 119. Sección en planta del pozo de San Teodoro del plano N° 3.</i>	337
<i>Figura 120. Alzado del plano N° 3.....</i>	339
<i>Figura 121. Casa Cornish.....</i>	340
<i>Figura 122. Esquema cubierta teja árabe sobre cañizo</i>	341
<i>Figura 123. Cilindro máquina de vapor de James Watt.....</i>	342
<i>Figura 124. Balancín de madera de la máquina de vapor de Watt en el museo de Londres</i>	343
<i>Figura 125. Cilindro máquina de vapor del pozo de San Aquilino de Minas de Almadén</i>	344
<i>Figura 126. Logotipo corporativo de Autodesk Inventor 2015.</i>	349
<i>Figura 127. Captura de pantalla de Autodesk Inventor opciones renderizado.</i>	351
<i>Figura 128. Plano en 2D del Baritel del pozo de San Teodoro.....</i>	352
<i>Figura 129. Plano en 3D del Baritel del pozo de San Teodoro.....</i>	353
<i>Figura 130. Detalle edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.</i>	354

<i>Figura 131. Balcón del edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	355
<i>Figura 132. Extrusión de la caldera de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	356
<i>Figura 133. Ensamblaje 01 de elementos de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	357
<i>Figura 134. Ensamblaje 02 de elementos de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	357
<i>Figura 135. Cilindro de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	358
<i>Figura 136. Válvula regulación del cilindro de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	359
<i>Figura 137. Detalle conexión válvula de regulación al cilindro y al condensador de la 1ª máquina de minas de Almadén</i>	359
<i>Figura 138. Condensador de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	360
<i>Figura 139. Cadenas de unión de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	361
<i>Figura 140. Detalle fijación eje balancín de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	362
<i>Figura 141. Sala de máquinas del pozo de San Aquilino de minas de Almadén</i>	364
<i>Figura 142. Textura ladrillo visto</i>	364
<i>Figura 143. Fachada ladrillo encalado Hospital de los Mineros de Almadén</i>	365
<i>Figura 144. Textura ladrillo encalado blanco</i>	365
<i>Figura 145. Textura adoquines de terrazo</i>	366
<i>Figura 146. Textura terracota, techo de las calderas</i>	366
<i>Figura 147. Textura revestimiento calderas</i>	367
<i>Figura 148. Edificio de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	367
<i>Figura 149. Textura teja árabe</i>	368

<i>Figura 150. Detalle cubierta del edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>368</i>
<i>Figura 151. Textura de madera de encina.....</i>	<i>369</i>
<i>Figura 152. Balancín de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>369</i>
<i>Figura 153. Textura depósito principal de agua</i>	<i>370</i>
<i>Figura 154. Textura balsa de agua del condensador</i>	<i>370</i>
<i>Figura 155. Textura del agua de las balsas o depósitos</i>	<i>371</i>
<i>Figura 156. Depósito o balsa principal para el abastecimiento de agua de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>371</i>
<i>Figura 157. Textura metal viejo</i>	<i>372</i>
<i>Figura 158. Textura de cobre</i>	<i>372</i>
<i>Figura 159. Cilindro de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>373</i>
<i>Figura 160. Sección de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>373</i>
<i>Figura 161. Textura suelo de arena</i>	<i>374</i>
<i>Figura 162. Detalle del suelo arenoso del Pozo de San Teodoro de minas de Almadén</i>	<i>374</i>
<i>Figura 163. Estructura de la cubierta del balcón del edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>375</i>
<i>Figura 164. Captura de pantalla de Autodesk Inventor opciones iluminación.</i>	<i>376</i>
<i>Figura 165. Ejemplo iluminación y sombras. Balancín y balcón de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>377</i>
<i>Figura 166. Sección del edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>379</i>
<i>Figura 167. Captura de pantalla creación de restricciones para el movimiento de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.</i>	<i>380</i>
<i>Figura 168. Captura de pantalla de Autodesk Inventor opciones de animación</i>	<i>380</i>
<i>Figura 169. Textura ladrillo encalado blanco.....</i>	<i>382</i>
<i>Figura 170. Textura moho</i>	<i>382</i>
<i>Figura 171. Captura pantalla edición textura moho.....</i>	<i>383</i>

<i>Figura 172. Captura de pantalla edición textura chimeneas.....</i>	<i>383</i>
<i>Figura 173. Textura ladrillo blanco manchado chimeneas</i>	<i>384</i>
<i>Figura 174. Textura ladrillo visto manchado chimeneas</i>	<i>384</i>
<i>Figura 175. Render chimeneas de la caldera de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>385</i>
<i>Figura 176. Render sección de la caldera de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>386</i>
<i>Figura 177. Ejemplo retoque fotográfico del render de la sección de la caldera de la primera máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>386</i>
<i>Figura 178. Render conjunto de edificios de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>387</i>
<i>Figura 179. Render nocturno del conjunto de edificios de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>387</i>
<i>Figura 180. Render cilindro y condensador de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>388</i>
<i>Figura 181. Balancín maqueta de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>390</i>
<i>Figura 182. Armazón maqueta del edificio de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>391</i>
<i>Figura 183. Textura suelo realizada con arcilla</i>	<i>392</i>
<i>Figura 184. Textura ladrillo visto realizada con papel</i>	<i>392</i>
<i>Figura 185. Balancín, cilindro, condensador y balsa de agua de la maqueta de la 1ª máquina de vapor.....</i>	<i>393</i>
<i>Figura 186. Maqueta de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>394</i>
<i>Figura 187. Alzado de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén</i>	<i>424</i>
<i>Figura 188. Condensador de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>424</i>
<i>Figura 189. Interior edificio de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>425</i>

<i>Figura 190. Detalle balancín de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>425</i>
<i>Figura 191. Vista aérea de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>426</i>
<i>Figura 192. Detalle cubierta de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>426</i>
<i>Figura 193. Calderas de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.</i>	<i>427</i>
<i>Figura 194. Cubierta de las calderas de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>427</i>
<i>Figura 195. Plano de la máquina de vapor del Arsenal de la Carraca. Cádiz 1813</i>	<i>433</i>
<i>Figura 196. Plano de la máquina de vapor del Arsenal de Ferrol. Coruña 1813</i>	<i>434</i>

IV-INDICE DE GRAFICOS

<i>Gráfico 1. Producción de plomo en el último tercio del siglo XIX</i>	<i>53</i>
<i>Gráfico 2. Gráfico nº XX. Línea del Tiempo Evolución de la Máquina de Vapor.</i>	<i>135</i>
<i>Gráfico 3. Diagrama producción de mercurio en el mundo</i>	<i>213</i>
<i>Gráfico 4. Evolución de la producción de mercurio en Minas de Almadén.....</i>	<i>214</i>
<i>Gráfico 5. Factores que intervienen en la Evolución Tecnológica de Minas de Almadén. Siglo XVIII.....</i>	<i>217</i>
<i>Gráfico 6. Evolución gastos instalación primera máquina de vapor de minas de Almadén.</i>	<i>238</i>
<i>Gráfico 7. Evolución costes del desagüe con la primera máquina de vapor de minas de Almadén.....</i>	<i>257</i>
<i>Gráfico 8. Evolución costes del desagüe de minas de Almadén en el siglo XIX.</i>	<i>273</i>
<i>Gráfico 9. Producción de azogue Minas de Almadén 1775-1885 Vs Instalación Máquinas de Vapor</i>	<i>274</i>
<i>Gráfico 10. Producción de azogue Minas de Almadén 1870-1885 Vs Instalación Máquinas de Vapor</i>	<i>274</i>

1.- INTRODUCCIÓN

1.-INTRODUCCIÓN

La presente tesis doctoral, se enmarca en el programa de doctorado de Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y Desarrollo Sostenible y en la línea de investigación del Diseño en la Ingeniería y la Arquitectura aplicada al campo de la Historia de la Tecnología y el Patrimonio Industrial.

En los últimos años la recuperación y la puesta en valor del patrimonio industrial y minero, está adquiriendo una gran importancia y está permitiendo la recuperación de un gran número de elementos patrimoniales. Por desgracia, la falta de percepción del valor patrimonial ha provocado la pérdida de innumerables elementos, como edificios con gran importancia arquitectónica o máquinas tan relevantes para la humanidad como la máquina de vapor, el elemento más emblemático de la Revolución Industrial.

Prueba de ello, es lo sucedido en las minas de Almadén, considerada una de las minas más importantes e interesantes de la minería metálica mundial. Bien por poseer un yacimiento único por su geología, mineralogía, antigüedad y dimensiones, o por haber producido 7,5 millones de frascos¹ aproximadamente de mercurio, lo que supone más de la tercera parte de la producción mundial. Y por haber sostenido las arcas de la corona española durante varios siglos, gracias al método de amalgamación utilizado en la obtención de metales preciosos como el oro y la plata en las minas de América, que utilizaba como elemento principal el mercurio. A pesar de todo esto, la falta del concepto de valor patrimonial, ha provocado la pérdida de muchos de los edificios y de la maquinaria entre otras cosas de incalculable valor patrimonial, que hubiesen servido para un mejor conocimiento de las diferentes etapas tecnológicas por las que han pasado las minas de Almadén.

Por ello y con el fin de recuperar una de estas etapas tecnológicas, se considera como objeto general de este trabajo de investigación estudiar la evolución en el empleo del vapor como energía a través de las diferentes máquinas utilizadas en el establecimiento minero de Almadén², concretamente

¹ 1 Frasco = 34,5 kilogramos = 3 arrobas. → 1 arroba = 11,5 kilogramos.

² El establecimiento minero de Almadén está formado por un grupo de minas como son las de: La Nueva Concepción, La Vieja Concepción y El Entredicho en la localidad de Almadenejos (Ciudad Real) y las mina de Las Cuevas y la Mina Vieja de Almadén en el término municipal de Almadén. En este estudio

en la mina vieja y en especial a sus tres pozos principales, el de San Teodoro, San Aquilino y San Miguel. Además se pretende mostrar cómo era la primera máquina instalada en estas minas, a través de un análisis gráfico de los planos hallados, junto con otras técnicas de recuperación del patrimonio que ayudan a rescatar elementos que desgraciadamente ya no están presentes.

Con la llegada de la máquina de vapor en el siglo XVIII, y gracias a sus numerosas aplicaciones, se produce un gran impulso en la industria y en los transportes.

Aunque fue en Inglaterra donde se promovió este gran invento para el mundo, no tardaría en llegar al resto de países, incluida España, haciéndose notar de la única manera que era posible, dando el empuje que la industria española necesitaba y en especial el sector de la minería. Esta difusión se produjo por la gran actividad comercial, así como por el espionaje industrial lo que dio origen a la profusión de fabricantes de estas máquinas.

En España la implantación de esta tecnología fue un tanto peculiar. Había escasez de carbón y este tenía un elevado coste de transporte hasta los centros de consumo. Además, el escaso conocimiento científico sobre el uso de esta tecnología, trajo problemas de instalación que dilataron en el tiempo tanto la selección de las máquinas como la finalización de su instalación y que en algunos casos llevará a que ni si quiera se lleguen a poner en marcha.

La longevidad e importancia de las minas de Almadén ha permitido que en ellas se vea reflejado el progreso y la evolución de la tecnología minera desde sus comienzos. Testigo de esa importancia es que fue la primera mina española que dispuso de una máquina de vapor para las labores del desagüe en 1785, concretamente en el pozo de San Teodoro, constituyendo así uno de los episodios más importante para el establecimiento minero y para la sociedad industrial española.

Este estudio se inicia con la instalación de la primera máquina, fecha que coincide con los finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, siglo en el que se produce la mayor evolución tecnológica de minas de Almadén, y la Revolución Industrial Generalizada de España y culmina con la llegada de la

de investigación todas las referencias al establecimiento minero de Almadén o a sus minas se referirán a la Mina Vieja de Almadén.

energía eléctrica al establecimiento minero hacia el año 1920 aproximadamente, finalizando el periodo de uso de las máquinas de vapor, y como consecuencia el derribo de los edificios que las albergaban dando paso a la construcción de otras instalaciones.

Queda así acotado el periodo de estudio entre finales del siglo XVIII, con la instalación de la primera máquina de vapor, hasta principios del siglo XX, con la creación en 1916 del Consejo de Administración, el abandono de los sistemas antiguos de extracción y la introducción de nuevas mejoras entre las que está la sustitución de la energía del vapor por la electricidad.

El principal inconveniente encontrado durante este trabajo de investigación ha sido la falta de vestigios físicos, por lo que se ha recurrido a la utilización de informes, expedientes y distintos tipos de documentación tanto de la época como posterior, que ayudarán a la recuperación y puesta en valor de los elementos patrimoniales. En este trabajo se intenta mostrar cómo recuperar el patrimonio a través del conocimiento de su tecnología, planos..., apoyados en las actuales técnicas de recuperación que ofrece la ingeniería y el diseño gráfico.

Durante el periodo de estudio en varios archivos, entre ellos el Archivo Histórico de Minas de Almadén y el Archivo Histórico Nacional de Madrid, hemos encontrado información relativa a sus características técnicas, sus costes, sus producciones, rendimientos, expedientes de renovación, etc. En estas se ha encontrado que a lo largo del siglo XIX han existido problemas con las máquinas de generación de energía con vapor, que o bien estaban mal dimensionadas siendo insuficiente la potencia que generaban, o bien su estado de conservación no era el adecuado, o que el uso al que se las destinaba era inadecuado.

Todos estos problemas desembocaban en la única solución, la de emplear el trabajo humano junto al animal como único sistema de generación de energía mecánica. Como ejemplo de este problema, se pueden destacar el problema del desagüe en los pozos, o el caso de la extracción con el malacate.

El trabajo se ha estructurado en diez capítulos principales con sus correspondientes apartados, que dan lugar a seis bloques.

En el primer bloque, se introduce en la investigación a realizar, donde se muestra la temática del estudio, su interés y justificación de la elección.

También se enumeran los diferentes objetivos que se pretenden conseguir y la metodología de trabajo llevada a cabo durante todo el trabajo de investigación.

En el segundo bloque, se realiza un análisis del marco de referencia y estado del arte. Se hace una revisión de las fuentes de información que se han ido empleando en los diferentes apartados, también se ha estudiado el estado del conocimiento del objeto de estudio que se ha seleccionado como mejor fuente de información.

El tercer bloque se ha dedicado a los antecedentes y en él se han agrupado los capítulos en los que se estudian todos aquellos aspectos que sin ser objeto principal de la investigación ayudan a poder contextualizarlo en su momento y a conocer mejor los medios, las herramientas y la tecnología de la época objeto de estudio, y así obtener una mejor visión de los hechos y sus circunstancias. Toda la información obtenida en esta fase, resulta imprescindible para poder hacer frente al resto de la investigación.

En el cuarto bloque se desarrolla la parte más importante de este trabajo de investigación, comenzando en primer lugar con el estudio del problema del desagüe de las minas por ser el problema causante de la utilización del vapor como solución y que llevó a la instalación de la primera máquina de vapor.

Dentro de este bloque, se estudia la utilización de la energía del vapor en minas de Almadén a través de las diferentes máquinas de vapor que se instalaron en el establecimiento durante el siglo XIX. Se trata de analizar, su origen, causas, características, aplicaciones, ventajas e inconvenientes, que presentaron hasta su sustitución por la energía eléctrica, completándolo con un análisis gráfico de algunos planos localizados de la primera máquina de vapor que se instaló en las minas, ubicada en el brocal del pozo de San Teodoro. Con los datos obtenidos del análisis gráfico, se ha realizado su reconstrucción virtual, permitiendo con ello mostrar parte de este patrimonio tecnológico-minero tan importante para la sociedad, del que ya no quedan restos físicos.

En el quinto bloque se exponen las conclusiones del trabajo y se sugieren futuras líneas de investigación que ayudaran a completar este estudio.

El sexto bloque se ha dedicado a la bibliografía, donde se exponen las diferentes fuentes de información y recursos que se han utilizado durante la confección de esta tesis doctoral, y a un apartado de anexos.

2.-OBJETIVOS

2.- OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es el conocer y entender como fue la utilización de la energía del vapor en el establecimiento minero de la Mina de Almadén y en particular en los tres pozos principales de la mina vieja, San Teodoro, San Aquilino y San Miguel. Alcanzar este objetivo requiere analizar las diferentes labores que se realizaban en la mina como son el transporte vertical, transporte horizontal, desagüe, ventilación, fortificación, excavación, talleres, metalurgia, etc., y ver en cuales se empleaba la energía generada por las máquinas de vapor.

Para poder entender cómo se empleó la energía del vapor, no se puede realizar un análisis aislado del establecimiento minero, sino englobar este dentro del contexto minero tecnológico de la época. Se obtiene así una visión general de la minería española en el siglo XIX y de la situación en Almadén en particular.

En el marco tecnológico se ha recurrido a la consulta de diferentes tratados de laboreo de minas tanto españoles como europeos del siglo XIX. Esto permite encuadrar y comparar la explotación minera de Almadén con su época, y comprender el método de explotación empleado en el establecimiento minero de Almadén, como se encontraba y la evolución experimentada durante el periodo de estudio.

Como objetivo secundario se establece el conocer y comprender el funcionamiento, dimensiones, geometría, y características principales de las máquinas de vapor por medio del análisis de los documentos gráficos. En especial se mostrará la primera máquina de vapor construida en la mina, a través de sus planos junto con el empleo de técnicas de reconstrucción virtual que permiten recuperar aquellos elementos que forman parte de nuestro patrimonio minero e industrial y que desgraciadamente ya no están presentes. Este objetivo lleva asociada la necesidad de conocer y entender los métodos y técnicas de representación gráfica empleados en los planos del siglo XIX para una correcta interpretación de estos. Se trata de conocer los aspectos de la representación de planos, las unidades, escalas, colores, líneas, sistemas de representación, técnicas de trazado empleados y necesarios para poder realizar una correcta interpretación de los planos recuperados.

De los objetivos principales del trabajo de investigación, derivan los objetivos específicos, que nos permitirán alcanzar el objetivo principal y dar forma y estructura a esta investigación. Estos son:

1. Conocer la evolución de las máquinas de vapor en el establecimiento minero.
2. Comprender el sistema de vapor empleado en minas de Almadén.
3. Conocer los usos del vapor y sus aplicaciones a las labores mineras.
4. Identificar los tipos de máquinas de vapor utilizados.
5. Conocer y entender los motivos por los que se produjeron tantos problemas en la implantación de las máquinas de vapor.
6. Comprender cuándo y cómo se produce la sustitución del vapor por la energía eléctrica.
7. Interpretar el funcionamiento de la máquina de vapor a través del estudio de sus planos.
8. Realizar la reconstrucción virtual de la primera máquina de vapor que se llegó a instalar en las minas de Almadén, recuperando con ello para el patrimonio minero de Almadén, esta parte de la tecnología que se empleo en sus minas
9. Construir una maqueta a escala a partir de su reconstrucción virtual.

3.- METODOLOGÍA

3.- METODOLOGÍA

En primer lugar se ha procedido a seleccionar el tema de investigación, acotando el periodo histórico que se va a estudiar y definiendo sus objetivos.

La metodología de investigación empleada en este trabajo es el “método histórico”. Este método es un proceso organizado, que se basa en la realidad de lo estudiado representando hechos del pasado de una forma fiel y obteniendo unos resultados y conclusiones sobre los hechos históricos estudiados.

Se puede dividir el método en tres fases: heurística (localización y recopilación de las fuentes documentales), crítica (valora la validez de los documentos recopilados en la fase heurística) y síntesis (producto final de la investigación, con la reconstrucción, explicación y afirmaciones sobre los hechos).

3.1.-Primera fase: Heurística o búsqueda de las fuentes.

La fase heurística consiste en la localización y recopilación de las fuentes documentales, que son la materia prima del trabajo del investigador.

En esta fase se ha intentado recopilar la máxima cantidad de información sobre la mina de Almadén en el siglo XIX, sobre todo en lo concerniente a la explotación minera y su tecnología, así como a las técnicas de representación gráfica que se utilizaban en dicho siglo.

La fuente de información principal han sido los archivos donde se encuentran los documentos generados a lo largo de la vida del establecimiento minero de Almadén. Entre ellos destacan el Archivo Histórico Nacional y el Archivo Histórico de Minas de Almadén³. Otros lugares donde también se encuentran documentos de Minas de Almadén son el Archivo General de

³ Pasa a denominarse así desde la extinción de la Fundación Francisco Javier de Villegas de Minas de Almadén.

Indias, la Biblioteca Nacional de España y Biblioteca del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología.

La búsqueda de información se completa con otros archivos históricos como el de Simancas, el Archivo provincial de Ciudad Real, las Bibliotecas de Puertollano, Ciudad Real, Almadén y en especialmente en el fondo histórico de la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén de la Universidad de Castilla La Mancha.

Para el conocimiento de la tecnología y circunstancias de la época se ha recurrido principalmente a tratados escritos desde finales del siglo XVIII hasta el siglo XX destacando las memorias de (Betancourt, 1783), (Bernáldez & Rúa Figueroa, 1861) y los estudios de (Matilla Tascón, 1958, 1987) y (Zarraluqui, 1983).

Se completa la búsqueda de fuentes con el objeto de cubrir un abanico más amplio de documentación con la utilización de portales de internet, bases de datos, bibliotecas virtuales, motores de búsqueda, a través de los cuales se han conseguido documentos relacionados con la minería, las máquinas de vapor y la representación gráfica. En muchas de las páginas visitadas se ofrece una digitalización del documento que se puede descargar directamente, o bien te indican como adquirir una copia. Las principales páginas visitadas han sido la Biblioteca digital del Instituto Geológico y Minero de España, Biblioteca Nacional de España, Biblioteca virtual de Andalucía, Biblioteca virtual de Asturias y Portal Pares.

3.2.-Segunda fase: Crítica o valoración de la validez de los documentos.

En esta fase se realiza una labor de clasificación de toda la documentación recopilada separando aquellos documentos que no van a ser de utilidad para el trabajo de investigación.

Las fuentes se han sometido a dos tipos de crítica, una externa para determinar la autenticidad de los documentos y una interna en la que se examina la objetividad del autor, que en algunos casos puede distorsionar la realidad. Algunos de los documentos estudiados no aportaban información relevante para el trabajo o solamente repetían aportaciones de otros investigadores. Otros incluían opiniones personales sin aportar ningún tipo de justificación técnica que las avalase y que fueron descartados.

En el apartado dedicado a los planos de mina, no existen apenas documentos anteriores al siglo XIX. Sin embargo, a partir de principios de siglo y seguramente como consecuencia de la creación de la Academia de Minas en Almadén, el número de planos encontrados es mayor aunque relacionados con todas las secciones del establecimiento minero, teniendo que hacer de nuevo una minuciosa selección de estos.

Otro conjunto de planos se ha localizado en la Biblioteca del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología dentro del libro Colección de Planos de Las Reales Minas de Almadén realizados por (Morete de Valera, 1803).

En el estudio e interpretación de planos ha sido necesario acceder a otras fuentes bibliográficas para conocer y comprender las herramientas y métodos empleados en las representaciones.

Para la selección de fuentes se ha confiado principalmente en un análisis cualitativo en lugar de los cuantitativos prefiriendo los documentos que contengan la justificación de su contenido frente a aquellos que aportaban mucha información pero sin justificar o sin poder contrastarse.

3.3.-Tercera fase: Síntesis o producto final.

La síntesis pretende dar respuesta al objetivo fundamental del trabajo de investigación y conseguir la reconstrucción o representación de los hechos además de responder al resto de objetivos secundarios planteados.

Toda esta fase de síntesis se refleja en todo el trabajo de investigación, la información aportada es el fruto de las dos fases anteriores, comenzando por la búsqueda inicial de documentación y continuando con la selección exhaustiva de los mismos.

4.-ESTADO DEL ARTE

4.-ESTADO DEL ARTE

La longevidad de las minas de Almadén, con varios milenios de historia⁴, ha dado pie a multitud de publicaciones que tratan sobre ella desde diferentes perspectivas y un amplio abanico de temas.

A pesar de ello, en lo referente a la utilización del vapor como fuente de energía, aunque no se parte de cero, son pocos los trabajos que hacen referencia al empleo de esta tecnología en la mina durante el siglo XIX. Para solventar este vacío se ha recurrido a documentos, informes, y expedientes generados por el propio establecimiento y que se encuentran dispersos en diferentes archivos y ciudades.

Se ha tomado como referencia para el periodo anterior al de estudio, la obra de (Sánchez Gómez, 1997), titulada *“Minería y Metalurgia en la Edad Moderna”*, donde realiza una análisis de la evolución de la minería de España y América desde el siglo XV hasta el siglo XVIII y de las transferencias de técnicas entre Europa y la América colonial a través de España.

Para entender y comparar el establecimiento minero de Almadén en el periodo de estudio, se realiza un análisis general del estado de la minería en el siglo XIX tomando como referencia los trabajos de (Sánchez Picón, 1981, 1995), (Puche Riart, Jordá Bordehore, & Mazadiego Martinez 2005), (Escudero, 2008) y (Mansilla Plaza, 2011) junto con los artículos que aparecen en los tres primeros tomos de los Anales de Minas y en la Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería escritos por ingenieros de minas y técnicos del momento durante el siglo XIX. En estos artículos hay datos sobre el estado de la minería en España, el desarrollo de la ingeniería de minas y los avances de las explotaciones mineras además de información sobre diferentes establecimientos mineros como el de Peñarroya, Rio Tinto o Almadén.

La tecnología minera del siglo XIX aparece descrita en la obra Elementos de Laboreo de Minas de (Ezquerro del Bayo, 1839, 1851), del que existen dos ediciones, habiendo sido notablemente ampliada la segunda edición. En este trabajo se describe de forma exhaustiva las formas de realizar

⁴ Hay investigaciones que hablan de que hace 6.000 años antes de Cristo ya se utilizaba el cinabrio de las Minas de Almadén para enterramientos, (Hunt, 2009)

una excavación, su fortificación, las diferentes maneras de desaguar, ventilar e iluminar el interior de la mina para hacerla practicable para los mineros. Y en su último capítulo se trata la forma y los medios para extraer el mineral del interior de la mina al exterior. Para un entendimiento mejor de estas obras se han consultado apuntes sobre geología y criaderos del mismo autor (Ezquerria del Bayo, 1838, 1844).

En lo que hace referencia a los sistemas de laboreo y su evolución se han consultado trabajos escritos durante el siglo XIX y principios del siglo XX como (Guillman, 1885), (Malo de Molina, 1889, 1891) y (Moncada, 1902), en todos ellos se encuentran datos sobre excavación, fortificación, arranque de material, transporte horizontal, transporte vertical, desagüe, extracción, ventilación, y además de la explicación de diferentes métodos de explotación, también se incluyen datos de otros países.

Después del estudio del contexto de los aspectos mineros se ha continuado con el análisis de las máquinas de vapor y la generación de energía donde existe un gran número de publicaciones, centrandó la investigación en aquellos que fueron escritos en el siglo XIX. Se toma como punto de partida el *“Tratado de las máquinas de vapor y de su aplicación a la navegación, minas, manufacturas, etc.”* de (Tredgold, 1831), escrito en inglés y traducido al español por Gerónimo de la Escosura. Esta obra está dividida en diez secciones:

1. Dedicada a la historia de la invención y mejoras sucesivas de la máquina de vapor.
2. Presenta el análisis de la naturaleza y propiedades del vapor su fuerza elástica y expansiva, y su potencia dinámica.
3. Analiza la producción y condensación del vapor, y de los aparatos propios al efecto.
4. Dedicada a la potencia mecánica del vapor, y de la naturaleza, proporciones y clasificación de las máquinas de vapor.
5. Estudia la construcción de las máquinas de vapor sin condensador.
6. Estudia la construcción de las máquinas de vapor con condensador.
7. Estudia las proporciones y construcción de las diversas partes de las máquinas de vapor.
8. Analiza los medios de regularizar la acción de las máquinas de vapor, arreglar su potencia, calcular su efecto útil, y manejarlas.
9. Aplicación de las máquinas de vapor a diferentes usos (en esta sección se ha encontrado el uso en las minas).

10. Dedicada a la navegación por el vapor.

Otras obras consultadas para profundizar en el tema son la “*Descripción de las máquinas de vapor y de sus más importantes aplicaciones*” (Martínez y Tacón, 1835). Esta obra está dividida en siete capítulos:

1. Describe los principios físicos y mecánicos aplicados a la construcción de las máquinas de vapor.
2. Dedicado al proceso de combustión de las máquinas.
3. Análisis de las calderas de vapor.
4. y 5. Estudio de las máquinas con condensación y acción doble.
6. Estudio de las máquinas de condensación que obran expansivamente, de las de alta presión, de las de acción sencilla y de las atmosféricas.
7. Aplicaciones de la máquina de vapor.

Además de las obras referidas, se ha comprobado su calidad y contenido al compararlas con otros como el Manual de Física de (Rico & Santisteban, 1858), a los apuntes históricos sobre los grandes inventos de (Figuer, 1867), otros documentos o manuales más técnicos como los de (Odriozola, 1839), (Valdés, 1859), (Perez, 1868), (Vicuña, 1872), (Malo de Molina, 1886), (Agacino, 1897) relacionados con la teoría y la mecánica aplicada.

Referente a la llegada de la tecnología del vapor a España se han consultado los textos de (Sánchez Gómez, 1994), donde sigue la introducción de la máquina de vapor en las labores de desagüe y de extracción de la minería española e hispanoamericana, el de (Nadal, 1999) analizando la fabricación de máquinas con la firma de la Maquinista Terrestre y Marítima, y el trabajo sobre la lenta penetración del vapor en España (Helguera Quijada & Torrejón Chaves, 2001), y otros trabajos similares como los de (Rosés, 2001), (Ortiz-Villajos, 2005), en los que se muestran diferentes aplicaciones del vapor en la industria y el comienzo de su utilización en España.

En lo relativo a la utilización de la máquina de vapor en la minería, se ha consultado el trabajo sobre las transferencias tecnológicas que se produjeron en la minería del hierro (Escudero, 2008), donde cita las diferentes innovaciones que se introdujeron en la minería gracias a los beneficios del

vapor, y a la obra de (Fernández Bolea, 2010) donde realiza un análisis sobre la repercusión de la fuerza del vapor en la Sierra Almagrera de Almería. También se ha consultado el estudio de Andrés Sánchez Picón, sobre la industrialización y modelos tecnológicos de la minería del plomo andaluza durante el siglo XIX (Sánchez Picón, 1981, 1995). En todos estos trabajos, se incluye la evolución de la utilización del vapor como energía, desde su origen en las máquinas de desagüe, hasta su presencia indispensable en labores mineras, como el transporte o la preparación del mineral.

La aplicación del vapor con mayor importancia en minería fue la realización de los trabajos de desagüe, y para su conocimiento se ha consultado la obra de (García Tapia, 1993), donde aporta pruebas más que suficientes para atribuir la invención de la máquina de vapor a Jerónimo de Ayanz, un navarro que en el año 1611 puso en marcha una máquina de su invención para el desagüe de las minas de Guadalcanal en Sevilla (España), paralizadas por su inundación. Otros trabajos relacionados con el desagüe son los de (Herrera Canales, 1992), (Cabo Hernández, 1995), (Cuevas Ruiz, 2009), (Argudo García, 2009) y (Cano Sanchiz, 2010), en todos ellos se destaca el problema que constituía el desagüe de las minas durante los siglos XVIII y XIX, y las diferentes soluciones aportada en cada uno de los casos.

En lo referente a las representaciones gráficas en el siglo XIX, se han consultado textos para poder conocer los sistemas de representación, las técnicas de dibujo, el soporte utilizado, los colores, los tipos de línea, signos y símbolos, el lenguaje alfanumérico e incluso los instrumentos utilizados. Los trabajos de (Fernandez, 1778), un texto anónimo del siglo XIX en el que solo aparecen las iniciales del autor o autores y titulado "*Método práctico para el dibujo lavado...*" (Desconocido, 1833), (Bandarán, 1838), (Villanueva, 1845, 1847a, 1847b) y (Zulueta Pérez, Suárez Sánchez, & Geijo Barrientos, 2005), han servido para entender las representaciones.

Para el análisis gráfico de los planos se ha tomado como referencia principal la obra "*Los ingenios y las máquinas. Representación gráfica en el periodo ilustrado en España*" de (Zulueta Pérez, 2007).

En lo referente a la mina de Almadén, se ha analizado el estado del arte en cuanto a su historia, su tecnología y la evolución experimentada.

Existen multitud de trabajos sobre las minas de Almadén, y centrados en el periodo temporal del estudio, (Bowles, 1775), realiza una descripción de las

minas con importantes aportaciones sobre su geología. Otros textos existentes son (Gallardo Fernandez, 1808), (Madoz, 1845) y los trabajos de Casiano del Prado (Prado, 1846, 1848), quien realizó el primer estudio geológico riguroso y de detalle de la mina vieja de Almadén.

Del siglo XIX hay que destacar la obra *“Memoria sobre las Minas de Almadén y Almadenejos”* de (Bernáldez & Rúa Figueroa, 1861) que incluye un estudio detallado de la situación de la explotación minera. Otro texto de interés es el de (Rodríguez Ferrer, 1881) que incluye la descripción de sus vistas a las minas más importantes de carbón y mercurio

Del siglo XX encontramos el estudio de minas de Almadén desde la época romana hasta 1799 de (Matilla Tascón, 1958, 1987) y desde su origen hasta el siglo XX por (Zarraluqui, 1983), aportando datos históricos, geológicos, mineros, metalúrgicos y económicos.

Otros autores que estudian el devenir histórico de estas minas son, (C. Fernández, Caballero, & Morano, 1983) centrados en la localización de Sisapo, (Menéndez Navarro, 1990) en su estudio sobre el Real Hospital de los Mineros de San Rafael, (Muñoz Sumozas, 1997) en su trabajo sobre la plaza de toros de Almadén, (Mansilla Plaza & Fernández, 2010) con un análisis sobre la historia de la Academia de Minas de Almadén y (Fuentes Ferrera, 2010) que estudia la evolución de la mina vieja desde 1900 hasta 1931 a través de sus planos.

Otros trabajos sobre el patrimonio minero de Almadén son el de (Mansilla Plaza, 1997) sobre el patrimonio minero metalúrgico, el de (Villar Díez, 2005) sobre el archivo histórico de las minas, el de (Cañizares Ruiz, 2003, 2008) sobre el patrimonio minero industrial de Almadén-Puertollano y el de (Sumozas García-Pardo, 2007, 2012) y los de (García de Miguel, 2010), (Carcavilla & Palacio, 2010) y (Prior Cabanillas, 2012).

Sin duda alguna durante los últimos años se ha producido un aumento del interés y la preocupación por la preservación del patrimonio histórico industrial lo que ha redundado en la aparición de un mayor número de publicaciones reivindicando su conservación. Una de las más importantes es la Carta del Bierzo elaborada en 2008 por el Instituto de Patrimonio Histórico Español. (V.V.A.A., 2009)

Un referente básico para el estudio de la situación previa a la llegada de la máquina de vapor lo constituyen las tres “Memorias sobre las Reales Minas de Almadén” de (Betancourt, 1783).

La primera de ellas trata sobre las aguas existentes, y sobre las máquinas y demás concerniente a su extracción. En tres artículos cuenta los lugares donde se acumulaba el agua, el número de bombas y zacas con que se extraía, las personas que se requerían para la extracción y el método utilizado.

La segunda, presenta las máquinas existentes, sus ventajas y defectos y algunos medios para remediarlos. Está dividida en seis artículos: en el primero detalla cómo es el acarreo del mineral en las galerías; en el segundo, la subida del mineral por tornos; en el tercero, la extracción del mineral fuera de la mina; el cuarto trata sobre la máquina de tambor de Almadenejos; el quinto, sobre la extracción del mineral con carros; y el sexto sobre el modo de bajar la madera en la mina.

La tercera memoria describe las operaciones que se realizan en el cerco de buitrones. Dividida en cinco capítulos en los que habla de la invención y construcción de los hornos; en el modo de cargar, cocer y descargar los mismos; en el sistema utilizado para sacar el azogue de los aludeles; además indica las observaciones que hay que efectuar sobre el aire de los hornos; y finalmente, describe el modo de empacar el azogue.

Las tres memorias tienen un carácter didáctico pues incluye un vocabulario minero que facilita la comprensión del lector, así como una serie de láminas con ilustraciones que facilitan la comprensión de las memorias donde se incluye la firma del propio Betancourt.

En cuanto a la primera máquina de vapor pocos son los trabajos encontrados, pero existen referencias a ella en la memoria sobre las minas de Almadén de (Cavanillas, 1838) y en los apuntes mineros de (Ezquerro del Bayo, 1838).

La primera memoria técnica que se ha encontrado sobre la primera máquina de vapor corresponde a (Cia, 1839), donde calcula el trabajo mecánico y el efecto útil de la máquina a nivel de los pisos 5º y 7º. Incluye unas observaciones generales, en las que propone soluciones y cambios para aumentar su rendimiento. De una forma más esquemática, se recogen

cálculos en la obra de (Bernáldez & Rúa Figueroa, 1861), junto con una mención al agua que genera la mina.

Durante el largo periodo de vida de la máquina se generaron varios informes que se pueden localizar en (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1867) y en las memorias sobre el estado de las minas de (Zuaznavar, 1880) y de (Oyarzabal, 1880)

Un estudio más actual pero menos técnico es el elaborado por (Helguera Quijada, 1999), donde narra la introducción de la primera máquina de vapor en las minas de Almadén a cargo del ilustre Tomás Pérez Estala. En el artículo se cita el posible espionaje industrial, denominándose a la máquina de vapor de Almadén como una máquina pirata, por ser una copia de la de Watt.

El trabajo más reciente es el libro *“La Bomba de Fuego de Almadén”* de (Hernández Sobrino & Fernández, 2005), que se centra en el porqué de la lenta instalación de la primera máquina de vapor en las minas de Almadén. En el encontramos datos de cómo, cuándo y en que barco se cargaron las piezas de la primera máquina de vapor desde Inglaterra a España, además de datos referentes a Tomás Pérez, encargado de comenzar la construcción de la máquina de vapor. Este libro toma como base el estudio no publicado de (Fernández Aparicio, 2004), que también se encuentra en el Archivo Histórico e Minas de Almadén.

La segunda máquina construida generó una gran controversia y de ello queda reflejo en el periódico Guía del Minero (Anónimo, 1848), más tarde pasa a ser la Revista Minera en la que aparezcan publicados varios trabajos (Anónimo, 1850), (Rodríguez Ferrer, 1881) que incluye un cálculo sobre la máquina, debatido por (Fernández Soba, 1865), y en (Sanchez Molero, 1859).

Para el resto de máquinas instaladas se ha encontrado información en las memorias e informes sobre las minas de (Bernáldez & Rúa Figueroa, 1861), (Zuaznavar, 1880), (Oyarzabal, 1880), (Rodríguez Ferrer, 1881) y (Anónimo, 1907).

Se ha encontrado más información en documentos propios del establecimiento minero localizados en (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1856a, 1867, 1867b, 1869, 1919, 1919-1920), (Archivo Histórico Nacional, 1916, 1918, 1919, 1926, 1933). En ellos aparece la construcción de nuevas máquinas de vapor, su evolución a lo largo de los años y el cambio de la

energía del vapor por llegada de la energía eléctrica al constituirse el Consejo de Administración. Siguiendo la misma línea de los documentos anteriores también se ha consultado el informe encargado al ingeniero Souvirón (Archivo Histórico Nacional, 1919).

En los últimos años, las Minas de Almadén han sido objeto de estudio en otras tesis doctorales tales como (Dobado González, 1989) *“El trabajo en las minas de Almadén, 1750-1855”*, (Gil Bautista, 2012) *“Almadén y sus Reales Minas del Azogue en el siglo XVIII”*, (Almansa Rodríguez, 2012) *“El Real sitio de Almadenejos (Siglos XVIII y XIX)”*, (Fuentes Ferrera, 2012) *“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”* y (Mansilla Plaza, 2013) *“Metodología para la valorización del patrimonio minero e industrial de Castilla la Mancha”* que aunque no se centra exclusivamente en la mina localizada en Almadén abordan temas de interés para el trabajo de investigación que se está realizando.

De entre las diferentes tesis mencionadas, la de (Fuentes Ferrera, 2012)”, ha sido un pilar fundamental en nuestra investigación, pues el origen de la misma parte de una de las futuras líneas de trabajo apuntadas en sus conclusiones.

5.-ANTECEDENTES

5.-ANTECEDENTES

5.1.-Aspectos mineros.

5.1.1.-Contexto de la minería en los siglos XVIII y XIX.

A partir del siglo XV, los alemanes representaban la vanguardia en el campo de la minería y sus desarrollos tecnológicos, sobre todo desde la creación de la primera academia de minas de Freiberg en 1765 que se erigió como el principal centro de investigación y foco para el desarrollo y aprendizaje de la minería, integrando todos los adelantos químicos, físicos y geológicos de la ilustración. (Lang, 2002)

Las fuentes de energía más utilizadas en minería hasta el siglo XVIII, eran la fuerza de tiro por hombres o animales y la energía hidráulica. Es en este siglo con la aparición de la máquina de vapor y la posibilidad de utilizarla en el sector minero, cuando se produjo un cambio importante en las formas de trabajar en las explotaciones mineras lo que derivó en la sustitución de las técnicas alemanas por la tecnología inglesa (Escudero, 2008)

Dentro de las innovaciones alemanas a destacar en el ámbito de la minería estaban la utilización de máquinas hidráulicas para el desagüe, el arranque por fuego o pólvora, la ventilación a través de fuelles movidos por fuerza animal o hidráulica, la entibación y mampostería para la fortificación, las velas de sebo para la iluminación, la utilización de vagonetas sobre raíles de madera para el transporte horizontal, la utilización de la misma maquinaria que en el transporte vertical con el acople de algunos elementos como bolsas de cuero para el desagüe. En la preparación del mineral se utilizaba la fuerza animal y la hidráulica y por último para la metalurgia se empleaban hornos al carbón vegetal.

Las innovaciones que llegaron desde Inglaterra fueron de gran transcendencia para la minería como fueron la máquina de vapor para el desagüe, el uso de nuevos explosivos como la dinamita, los martillos a vapor a mediados del siglo XIX, fuelles de vapor para la ventilación, junto con un perfeccionamiento en las técnicas de entibación y mampostería, comenzando a utilizar el hormigón y el hierro dulce. El uso de las lámparas para dos fines: la iluminación exclusivamente con lámparas de aceite y cristal y las que

posibilitaban la detección de gases explosivos como la lámpara de seguridad Davy. El transporte horizontal comenzó a realizarse con vagones sobre raíles de hierro, planos inclinados, cadenas sin fin, cables aéreos, o ferrocarril. En el transporte vertical se empleaban máquinas de extracción y ascensores movidos por máquinas de vapor. Se emplearon máquinas de vapor para la preparación y beneficio de minerales accionando cribas, trituradores y máquinas de lavado, y la utilización de hornos con carbón mineral para la metalurgia.

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN MINERIA		
LABORES MINERAS	RENACIMIENTO S. XVI INNOVACIONES "ALEMANAS"	REVOLUCIÓN INDUSTRIAL S. XVIII INNOVACIONES "INGLESAS"
PROSPECCIÓN		<ul style="list-style-type: none"> Sondas a Vapor.
ARRANQUE	<ul style="list-style-type: none"> Arranque por Fuego "Fire Setting" o con Pólvora 	<ul style="list-style-type: none"> Explosivos: Dinamita, Gelatina, Algodón-Pólvora, etc. Martillos a Vapor (S. XIX).
FORTIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Inicios de la Topografía Subterránea Uso de la Brújula en el Laboreo Subterráneo ordenado Entibación y Mampostería de galerías de gran tamaño, capaz de sostener el tránsito de animales. 	<ul style="list-style-type: none"> Avances Topografía Subterránea. Perfeccionamiento Mampostería y Entibación. Hormigón y Hierro dulce
ACARREO A EXTERIOR	<ul style="list-style-type: none"> Transporte Horizontal, con vagonetas sobre raíles de madera. Transporte Vertical, mediante máquinas de drenaje acoplado bolsas de cuero. 	<ul style="list-style-type: none"> Transporte Horizontal, con vagonetas sobre raíles de hierro. Transporte Vertical, con poleas a Vapor Ascensores a Vapor "Man Engine".
DESAGÜE	<ul style="list-style-type: none"> Máquinas de bombeo hidráulicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Máquinas de Vapor.
VENTILACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Máquinas de bombeo hidráulicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Fuelles a Vapor.
ALUMBRADO	<ul style="list-style-type: none"> Velas de Sebo. 	<ul style="list-style-type: none"> Lámparas de aceite con cristal. Lámpara de seguridad (Davy)
PREPARACIÓN DE MENAS	<ul style="list-style-type: none"> Maquinaria de Trituración accionados con energía animal o hidráulica. Concentración por lavado. 	<ul style="list-style-type: none"> Maquinas a Vapor para cribar. Máquinas a Vapor para triturar. Máquinas a Vapor para concentración por lavado.
METALURGIA	<ul style="list-style-type: none"> Hornos al carbón vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> Hornos con carbón mineral
TRANSPORTE		<ul style="list-style-type: none"> Bocamina-Ferrocarril: maquinaria a Vapor (planos inclinados, cadenas sin fin, cables aéreos) Ferrocarril. Embarcaderos mecánicos. Dragas a Vapor (S. XIX).

Tabla 1. Innovaciones mineras Renacimiento-Revolución Industrial Fuente: (Escudero, 2008)

De este modo la minería en Inglaterra alcanzo un importante desarrollo gracias a la utilización de la máquina de vapor, sustituyendo máquinas y mecanismos, desarrollando mejoras en la fortificación en base al empleo de hierro y el hormigón y en la metalurgia al sustituir el carbón vegetal por carbón mineral. Tan solo en la minería de la plata, los alemanes seguían por delante gracias a la experiencia conseguida en las minas de Hungría, Sajonia y en la región del Hartz. (Von Mentz de Boege, 1980)

La transferencia del conocimiento tecnológico en minería se ha producido de forma continua a la largo de la historia. Los avances tecnológicos alemanes se fueron extendiendo merced al fenómeno de la emigración de los mineros alemanes en búsqueda de nuevas riquezas minerales. Esta emigración se veía favorecida por los privilegios y las altas remuneraciones que concedían los dirigentes de los estados deseosos de atraer a técnicos especializados como eran los “alemanes”⁵. (Sánchez Gómez, 1997).

Los textos dedicados al mundo de la minería fueron escasos hasta el final de siglo XVIII con las creaciones de las escuelas de minas de Freiberg o la de Almadén. Con anterioridad a estas fechas se encuentra el texto “*De Pyrotechnia libri X*”, de Vanoccio Biringuccio, publicada en 1540 en Venecia, donde describe técnicas metalúrgicas además de máquinas movidas por la energía hidráulica. El siguiente texto cronológicamente es “*De Re Metallica*” de Georg Bauer, más conocido como “*Agrícola*”, publicado en Basilea en 1556. Una obra con una gran repercusión por su amplio contenido en las técnicas metalúrgicas acompañado de un gran número de grabados.

Un tercer texto del mismo periodo es el de Lazarus Ercker, que en 1574 publica “*Descripción de venas metálicas*”, donde explica técnicas de ensayo de minerales y que será referente en el desarrollo de estas técnicas en el siguiente siglo.

Con la Revolución Industrial y los grandes avances tecnológicos apareció en escena el espionaje industrial y el contrabando de máquinas como un método más en la transferencia de tecnología. Por un lado, el espionaje industrial permitió construir réplicas de las máquinas que se encontraban bajo alguna patente, y por el otro el contrabando permitía sacar del país de origen máquinas, que lo tenían prohibido por la legislación o patente.

⁵ Termino genérico que engloba a los alemanes, eslovacos, sajones, alsacianos, etc.

La difusión de las nuevas técnicas mineras inglesas por Europa se vio también favorecida por la aparición de grandes empresas multinacionales, la realización de exposiciones y ferias con la finalidad de dar a conocer las nuevas máquinas y comercializarlas.

El proceso de transferencia de tecnología es algo más que la mera incorporación de maquinaria o procedimientos, pues este no es posible sin factores como la capacidad de absorción del país o empresa, un cierto nivel de desarrollo y un capital humano cualificado, todo ello para conseguir solucionar los problemas iniciales, implantar la nueva tecnología e incluso buscar nuevos usos. Por eso los procesos de difusión se caracterizan por su lentitud, debido a la convivencia con las viejas tecnologías, y al periodo de adaptación a las condiciones del país o empresa receptora. (Betrán Pérez, 1999)

Claro ejemplo de ello es el caso de España, que motivado por las diferentes condiciones particulares de los distintos establecimientos mineros, en los que se produjo la convivencia de nuevas y viejas técnicas mineras, se demoró el periodo de asentamiento de las técnicas mineras inglesas desde el siglo XIX, hasta bien entrado el siglo XX.

Dentro de los problemas técnicos que presentaba el sector minero en el siglo XVIII, destaca el desagüe. Este trabajo se venía haciendo mediante la energía manual, animal o hidráulica, aplicada a ruedas, bariteles o bombas de pistones, pero los rendimientos obtenidos eran muy bajos comparados con su elevado coste⁶. La solución llegó desde Inglaterra con la utilización de máquinas de vapor específicas para este trabajo.

Pero no todo eran ventajas, la máquina de vapor planteaba el problema de su dependencia de la materia prima para la combustión, principalmente el carbón. A falta de carbón, se sustituía por otros combustibles como la madera, ramas, taramas lo que generaba un coste de funcionamiento más elevado, incluso superior a los sistemas tradicionales que se estaban utilizando hasta la fecha.

⁶ A mediados del siglo XVII, en el distrito minero de Banská Stiavnica, una sola mina utilizaba 800 hombres y 576 caballos para el desagüe. (Sánchez Gómez, 1997)

Esta situación llevó a buscar otros sistemas de desagüe sin la dependencia del carbón. De estos, el más importante fue la máquina de columnas de agua basada en la utilización combinada del vacío y la presión atmosférica. El desarrollo de este sistema ocurrió casi de forma paralela a la máquina de vapor, construyéndose por primera vez en las minas alemanas de Harz en 1748. Estos avances tecnológicos además de aliviar el problema del desagüe también solucionaron el transporte vertical de material, herramientas y personas y fue empleado desde el siglo XVIII hasta principios del siglo XX.

A finales del siglo XVIII y como consecuencia del aumento de producción de hierro se produjo un nuevo avance en el sector minero. Entre otras mejoras, se sustituyeron las piezas de madera de las máquinas por otras metálicas mejorando notablemente sus prestaciones, se cambiaron los raíles de madera por otros metálicos para facilitar el transporte. La aparición de un acero de calidad se hizo esperar hasta bien entrado el siglo XIX. (Sánchez Gómez, 1997)

5.1.2.-La minería española en el siglo XIX.

En el siglo XVIII la minería española experimentó un crecimiento debido principalmente a las iniciativas estatales, (Sánchez Gómez, 1997). Aumentaron el número de explotaciones, como las de plomo de Falset en Cataluña y el yacimiento de Arrayanes en Linares, comenzaron las explotaciones de calamina en Alcaraz, de cobalto en el valle aragonés de Gistaín (Huesca), de grafito en Marbella (Málaga), y a finales de siglo la explotación de las minas de carbón asturiano.

En este mismo siglo destacaron personajes relacionados con la minería de origen español como Ulloa, difusor del hallazgo del platino en Nueva Granada (1748); Fausto y Juan José de Elhuyar descubridores del Wolframio (1781) o Andrés Manuel del Río descubridor del Vanadio (1801). También personajes que vinieron desde países europeos para mejorar las técnicas mineras empleadas (Luis Bowles) o la impartición de sus enseñanzas en la Academia de Minas de Almadén creada en 1777, como Köehler, Störr, o Hoppensack.

A lo largo del siglo XVIII el sector minero se caracterizó por estar bajo el control del estado y por la reactivación de la mina de Riotinto, absorbida por la Corona en 1783 cuando superaba la producción de 100 toneladas de cobre anuales, y de la mina de Almadén que pertenecía a la Corona desde mediados del siglo XVII. (López Burgos, 2005)

En el último tercio de este siglo en las cuencas mineras de Linares había más de 500 trabajadores, en la de Riotinto alrededor de 800 trabajadores y en e Almadén aproximadamente 2000 trabajadores, siendo las tres grandes explotaciones mineras del momento. (Sánchez Gómez, 1997)

Se considera el periodo comprendido entre el siglo XIX y principios del siglo XX como la época dorada de la minería española. Entre sus causas está una mayor demanda de minerales desde occidente, la entrada de capital extranjero y la importación de nuevas tecnologías, junto con las reformas de la Ley de Minas sobre la titularidad de los yacimientos. (Fuentes Ferrera, 2012)

Sin embargo, no en todo el siglo XIX se produjo un crecimiento del sector. El periodo de la Guerra de la Independencia (1808-1814) supuso la destrucción de las principales industrias metalúrgicas del país (Puche Riart, 2001). A ello hay que añadir que en el primer cuarto del siglo se perdieron las

colonias americanas con la consiguiente disminución en la producción de metales preciosos.

La legislación minera también evolucionó en este siglo. La Ley de Minas de 1825 especificaba que todas las minas pertenecían a la corona con la posibilidad de ceder pequeñas concesiones a manos privadas, pero reservando para el Estado las de mayor valor como eran las de Almadén (mercurio), Río Tinto (cobre), Linares (plomo), Asturias (hierro y carbón), Linares (plomo), Hellín (azufre), (Puche Riart, 2001).

A raíz de esta ley se creó la Dirección General de Minas en 1826, se abrió la Escuela de Minas de Madrid en 1836, apareció la publicación del primer tratado de laboreo de minas español por Ezquerria del Bayo en 1839 y vieron la luz numerosas revistas especializadas como Anales de Minas (1838); Boletín Oficial de Minas (1845); Revista Minera (1850). Se produjo una mejora de la organización del Cuerpo de Ingenieros Civiles separándolos en las secciones de caminos, canales y puertos, de minas y de bosques en 1835; se creó en 1849 la Comisión del Mapa Geológico y Minero (actual Instituto Geológico y Minero de España IGME).

En el año 1868 se promulgó la ley de Bases que facilitaba los trámites administrativos en la gestión de las concesiones mineras además de aumentar el tiempo de concesión. Antes de esta ley se exigía a los titulares a mantener la producción con un mínimo de trabajadores⁷, con la posibilidad de perder la concesión si no se cumplía dicha condición, y a partir de la ley de 1868 bastaba con el pago de un canon para mantenerla. Esta modificación favoreció la entrada de capital extranjero inversor, que fue el predominante en lo que restó de siglo. (Pérez de Perceval Verde, 2012)

La minería española también se adaptó a las nuevas tecnologías, desde el desagüe con la llegada del vapor⁸ a finales del XVIII hasta su sustitución por bombas eléctricas; en el alumbrado, con la inclusión de las lámparas de seguridad Davy (1816), Clay (1839) o las primeras lámparas eléctricas que llegaron de la mano de Edison tras su invención en 1878; en el arranque con la incorporación de la dinamita descubierta por Alfred Nobel (1866).

⁷ Obligación denominada “*el pueblo*”.

⁸ Como se verá a lo largo de la investigación la fuerza del vapor se utilizaba tanto para el transporte vertical (materiales, herramientas, minerales, personas, agua...) como para el transporte horizontal, para la ventilación, la preparación del mineral, etc.

A finales del siglo XIX se comenzó a emplear en España el aire comprimido para la perforación y ventilación⁹. Se emplearon las excavadoras de vapor, las primeras similares a las que se usaban en la construcción del Canal de Panamá, se utilizaron en las minas de Río Tinto desde 1904, pero no sería hasta 1907 en los trabajos de la mina a cielo abierto denominada Corta Atalaya, donde se adquirieron varias excavadoras a vapor Bucyrus. (Pérez de Perceval Verde, López-Morell, & Sánchez Rodríguez, 2006). Ya en el siglo XX los avances tecnológicos se multiplican con la llegada de la electricidad, los motores de combustión interna y la aparición de arcos metálicos.

Sin embargo, uno de los problemas del sector minero fue la distancia de los centros de extracción a los puntos de distribución y consumo. La mayoría de las explotaciones se encontraban en el interior, lejos de los puertos y de la red principal de transporte, lo que encarecía el producto final. La red ferroviaria no comenzó a construirse hasta la década de los 1840.

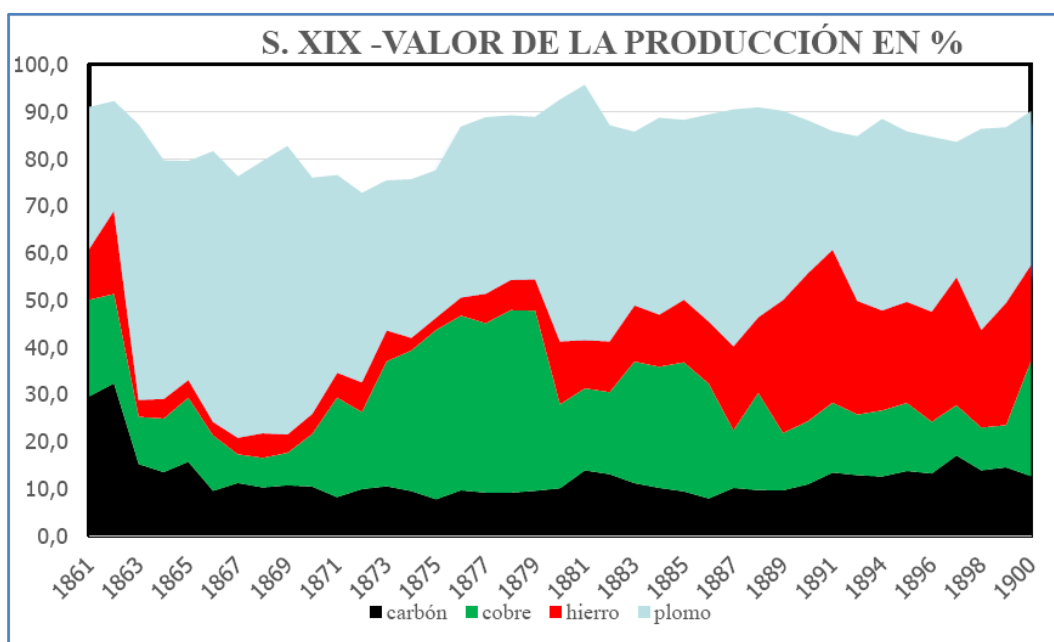


Gráfico 1. Producción de plomo en el último tercio del siglo XIX.
Fuente: (Sánchez Rodríguez & C., 2014)

⁹ En Almadén la primera instalación de aire comprimido se realizaría en 1924

A modo de resumen, indicar que la punta de lanza de la explotación minera contemporánea en España tuvo una localización muy concreta: la Sierra de Gádor en 1820, que junto con el mercurio de Almadén formaron el bloque más importante de España hasta finales de 1830. No obstante durante el siglo XIX aparecieron en España numerosas élites mineras como Sierra Almagrera, Sierra de Cartagena, Linares, Rio Tinto, Peñarroya, las minas de carbón de Asturias, que junto con las minas de plomo de Andalucía, Badajoz y Ciudad Real dieron una dimensión internacional a la minería y la metalurgia española a finales del siglo XIX.

5.1.3.-Tecnología minera en el siglo XIX.

El laboreo de minas se podría definir como el arte de excavar y extraer del interior de la tierra los minerales con seguridad, facilidad y economía para su beneficio después de un proceso de transformación o bien directamente.

Para poder llevar a cabo este proceso se requieren una serie de operaciones que conformaran el modelo de desarrollo tecnológico minero, que para nuestro caso se ha basado en las explicaciones incluidas en los textos de laboreo de minas del siglo XIX como son (Ezquerro del Bayo, 1839, 1851; Guillman, 1885; Malo de Molina, 1889, 1891; Moncada, 1902), de forma genérica y más concretamente para el yacimiento de Almadén. Las operaciones mineras que se van a analizar son las de arranque, fortificación, transporte y extracción, desagüe, ventilación y alumbrado.

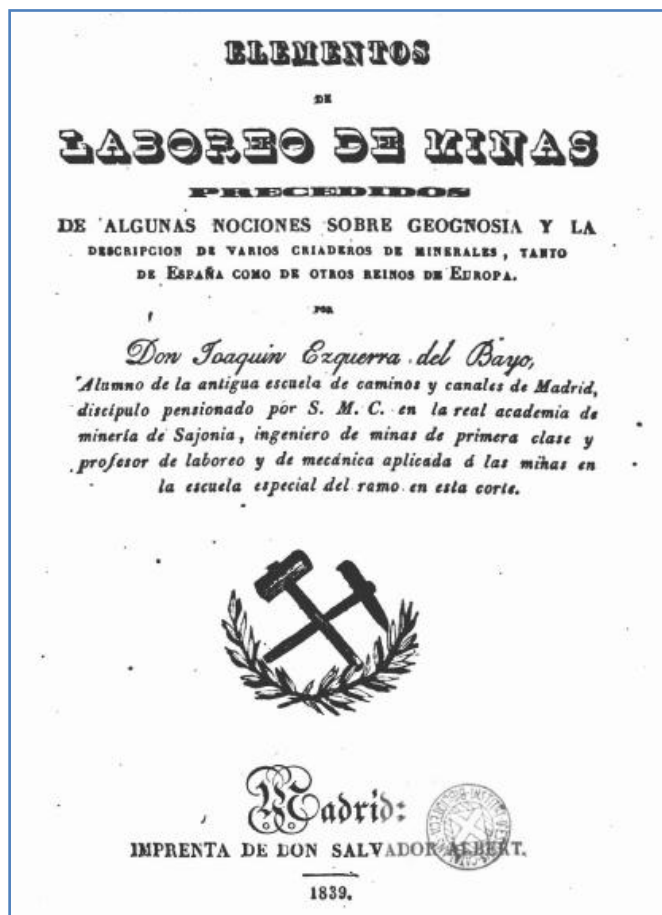


Figura 1. Portada interior del libro Elementos de Laboreo de Minas de D. Joaquín Ezquerro del Bayo. 1839

CLASIFICACION GENERAL DEL CONJUNTO DE LABORES QUE SE PRACTICAN EN LAS MINAS				
HACER Y FORTIFICAR LAS EXCAVACIONES	A CIELO ABIERTO		En masa	Siguiendo Estratificación
			Estratificada	Cortando Estratificación
	SUBTERRANEAS	Horizontales	En Masa	Siguiendo Estratificación
			Estratificada	Cortando Estratificación
Inclinadas				
HACER TRANSITABLE Y HABITABLE LAS EXCAVACIONES	A CIELO ABIERTO		Camino	Natural
			Desagüe	Artificial
	SUBTERRANEAS	Horizontales	Camino	Natural
			Desagüe	
		Verticales	Ventilación	Artificial
			Iluminación	
EXTRAER LOS MINERALES DE LAS EXCAVACIONES	A CIELO ABIERTO		Verticalmente	
			Camino	
	SUBTERRANEAS	Horizontales	Camino Ordinarios	Hombres Caballerías
			Carriles de Madera o Hierro	Hombres Caballerías Vapor
			Agua	Barcos de Remo Barcos de Vapor
		Verticales	Poleas	De Sangre
			Tornos	
			Malacates	De Sangre De Agua De Vapor
		Inclinadas	Tornos	De Sangre
			Malacates	De Sangre De Agua De Vapor

Tabla 2. Clasificación general del conjunto de labores que se practican en las minas.
Fuente: (Ezquerria del Bayo, 1851)

5.1.3.1.-Arranque.

Toda labor minera comienza por los trabajos de arranque, ya sea para las labores de acceso a la explotación a través de pozos o planos inclinados, o para arrancar el mineral directamente si este aflora sobre la superficie del terreno.

El pozo maestro o principal, es la primera labor que se realizaba y a partir de él se crea todo un entramado de galerías que lo comunican con el yacimiento, siendo sus funciones principales, la entrada y salida de los mineros, la extracción del mineral, la entrada y salida de materiales y la ventilación.

El entramado de las galerías varía en función de las características geológicas del yacimiento y del método de explotación utilizado.

Los medios a emplear para el arranque de la roca, a la hora de realizar una excavación, hueco o cavidad, depende de las condiciones que aquella presenta, es decir, de su dureza, su consistencia, su textura, en definitiva de la resistencia que ofrezcan a su extracción.

Medios Manuales.

Para las rocas menos duras se utilizaban medios manuales, con la ayuda de herramientas de madera, hierro o acero. Herramientas que comenzaron a utilizarse desde la época romana, sustituyendo a los útiles de piedra y hueso de la edad antigua, consiguiendo con ello un aumento de los rendimientos.

Cuando las rocas están sueltas o disgregadas el procedimiento que se utilizaba se denominaba cavar, y para ello se utilizaban herramientas como la pala, el azadón, el legón, cuñas, el pico de cavar.

Las características de estas herramientas en cuanto a dimensiones, formas y pesos variaban según el país e incluso según la zona geográfica dentro de un mismo país.

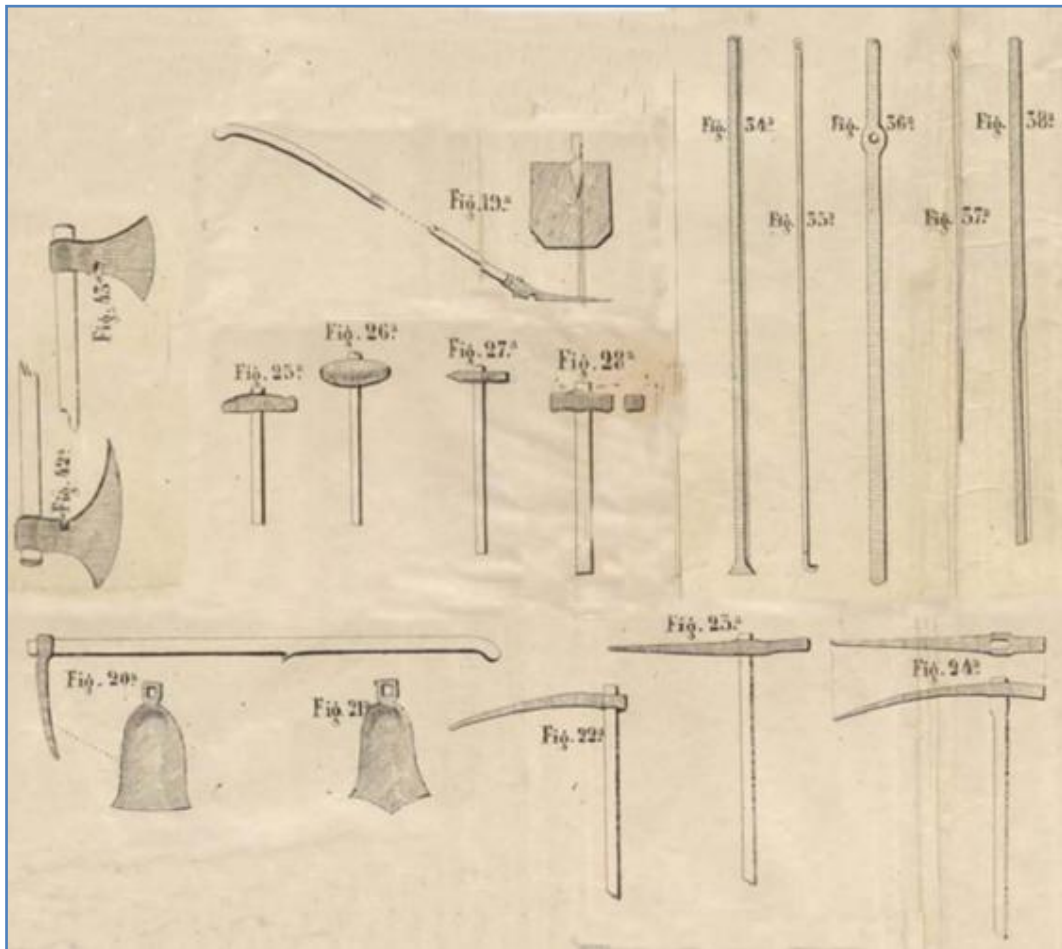


Figura 2. Herramientas tradicionales empleadas en minería.
Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

El procedimiento para arrancar rocas poco duras, se denominaba picar y para ello se empleaba un pico, herramienta muy similar al pico de cavar. Podía ser de una punta, o de dos, de punta y chaflán, tener uno de los extremos en forma de martillo o de cabeza, etc. Las formas, dimensiones y pesos de estas herramientas variaban mucho, lo que daba lugar a una gran variedad de instrumentos que se denominaban picos, zapapicos, picas, piquetas, escotas, alcotanas, picaporro¹⁰.

¹⁰ El picaporro se utilizaba en Almadén, tenía un peso de 6,5 kg, una longitud de unos 33 cm y el grueso de su cabeza de unos 4 cm; terminando en uno de los extremos en forma piramidal con el fin de introducirlo en las juntas del terreno y facilitar el arranque de la roca. El mango tiene unos 85 cm y su misión es la de sostenerlo para recibir los golpes sobre la cabeza de la herramienta. (Moncada, 1902)

En general se puede decir, que todo pico debía tener una curvatura proporcional al radio del círculo descrito en su utilización para conseguir un mayor aprovechamiento de la fuerza que se ejerce sobre él.

En cuanto al material eran preferibles las herramientas de acero frente a las de hierro, pero en el caso de instrumentos que actúen por su masa son preferibles las de hierro, teniendo en cuenta que su centro de gravedad debe caer en el centro del mango para facilitar su empleo tanto en planos horizontales como en inclinados y verticales.

Si las rocas son algo más duras el arranque se realizaba por medio de la punterola y el martillo.

La punterola es una barra recta de hierro o de acero, donde uno de sus extremos termina en punta aguda y el otro es una cabeza plana preparada para recibir el golpe del martillo. El trabajo con la punterola y el martillo se utilizaba principalmente para excavaciones donde se necesitaban unas dimensiones precisas dado que como sistema de avance era muy lento.

En las paredes que presentaban grietas se empleaban las cuñas, introduciéndolas en las juntas y golpeándolas con un martillo o una maza hasta conseguir la caída de los bloques o lajas.

A partir de la llegada de los explosivos, el arranque manual quedó circunscrito a aquellas zonas donde la utilización de explosivos era imposible.

Empleo del fuego y del agua.

Este método era conocido con el nombre de torrefacción y consistía en prender leña junto a la pared a excavar, hasta que se consuma, lo que produce el calentamiento de la roca que tras rociarla con agua y enfriarse rápidamente se resquebraja. Posteriormente se extraía la roca por medio de las herramientas manuales mencionadas anteriormente. Este procedimiento, estaba limitado a minas con un alto grado de ventilación y gran disponibilidad de leña.

El agua también se utilizó como método de extracción. Al introducir cuñas de madera secas en las grietas de la pared y después empaparlas, estas se expandían generando una presión que quebrantaba la roca.

Empleo de explosivos.

La fabricación de explosivos permitió el arranque de rocas más duras con una mejora en el rendimiento, empleando en sus comienzos principalmente la pólvora. El procedimiento consistía en introducir la sustancia explosiva en el interior de un agujero y tras su iniciación, la presión que ejercían los gases originados en su combustión sobre las paredes de la cavidad, provocaba el quebrantamiento de la roca.

El uso de la pólvora en la minería de interior comenzó en el primer tercio del siglo XVII en las minas de Harz y de Sajonia. A modo de referencia en 1613 se utilizó en las minas de Freiberg por Martin Weigel (Guillman, 1885), en 1627 en las minas de Banská Stiavnica (Eslovaquia,). En Almadén comenzó a utilizarse a partir de 1698 (Sánchez Gómez, 1997). Aunque en minería de exterior su utilización fue anterior, datándola en el siglo XIV en las canteras de Rammelsberg (Ezquerro del Bayo, 1851).

La operación del arranque por medio de barrenos se conoce con el nombre de *dar barreno* o *barrenar*. En este procedimiento se diferencian tres fases: 1ª *abrir el barreno*, que consiste en la realización de un agujero o taladro en la roca; 2ª *cargar el barreno*, introduciendo una cierta cantidad de pólvora en el agujero; 3ª *pegar el barreno*¹¹, prendiendo la pólvora para conseguir su explosión y el posterior quebrantamiento de la roca.

Durante el proceso de barrenar se utilizaban diferentes utensilios: 1º se marcaba el inicio de la barrena con la punterola y el martillo, para favorecer el agarre de esta; 2º con la barrena se realizaba el agujero o barreno; 3º por medio de una cuchara se limpiaban los restos del interior del barreno; 4º se carga el barreno introduciendo en el fondo del mismo el cartucho con el material explosivo; 5º se procede al relleno del barreno principalmente de arcilla y con la ayuda de un atacador, proceso que debía hacerse de tal manera que se pueda prender el explosivo a través de una mecha; 6º para colocar la mecha se dispone a lo largo de todo el barreno una aguja, durante el relleno del mismo, la cual será retirada una vez relleno este. La aguja terminaba en punta afilada para poder romper el cartucho y por el otro extremo disponía de

¹¹ Como norma general en todas las minas existía una hora señalada para la pega de los barrenos. En Almadén se realizaba tres veces al día, a las 10:30 h., a las 16:30 h. y a las 22:30 h. Para avisar de la pega se dejaban caer dos cuernos de carnero, uno detrás del otro, por el pozo de San Teodoro y el ruido que producían al ir chocando con la estructura del pozo servía de avisador. (Ezquerro del Bayo, 1851)

un ojal que servía de agarradero para su extracción, dejando el hueco por donde se coloca la mecha; 7º en último lugar se prendía la mecha y se esperaba hasta la detonación.

A medida que aparecían nuevos avances el método fue cambiando, una de estas invenciones fue la aparición de la mecha de seguridad¹² de Bickford en 1831 en Cornwall, con la que se logró dejar de emplear la aguja¹³, pues la mecha se introducía al mismo tiempo que el cartucho de pólvora.

En 1847, apareció un nuevo material explosivo la nitroglicerina, de la mano del químico italiano Ascanio Sobrero, pero esta sustancia fue considerada demasiado peligrosa para su utilización. En 1866 Alfred Nobel consigue dar utilidad a la nitroglicerina al descubrir la dinamita, sustancia que contiene el 25% de materia sólida (sílice) y el 75% de nitroglicerina. Posteriormente Nobel invento nuevas materias explosivas que llamo gelatina de minas y gelatina-dinamita ambas con un mayor contenido de nitroglicerina.

Otro avance tecnológico fue la utilización de la corriente eléctrica inducida para dar fuego al explosivo, introducido en 1881 por Dumas (Malo de Molina, 1889). Este método aportó grandes ventajas al poder dar el disparo simultáneo de varios barrenos a la vez, además de ser mucho más seguro a la hora de contar con atmosferas contaminadas con gases explosivos.

¹² Cuerda de cáñamo alquitranada y trenzada en cuyo interior había una cantidad de pólvora muy fina. La pólvora del interior de la mecha arde lentamente, aproximadamente a una velocidad de 60 cm por minuto. (Fuentes Ferrera, 2012)

¹³ La aguja metálica, al ser extraída, en ocasiones producía chispas en el roce con la piedra del barreno lo que originaba la explosión accidental y accidentes mortales del artificiero.

Medios mecánicos.

Cuando el arranque de la roca se realizaba a través de aparatos o máquinas mecánicas, donde el hombre se colocaba en la posición de maquinista, se denomina arranque mecánico. La fuerza motriz de estos aparatos podía ser manual, el aire comprimido, el agua y el vapor: Una clasificación de estas máquinas aparece en (Malo de Molina, 1889).

MEDIOS MECÁNICOS DE ARRANQUE			
Aparatos mecánicos de mano	Perforadoras por:		Percusión
			Rotación
Aparatos mecánicos de fuerza por	AIRE	Perforadoras por:	Percusión
	AGUA		Rotación
	VAPOR	Excavadoras	

Tabla 3. Medios mecánicos de arranque. Fuente: (Malo de Molina, 1889)

La utilización de estas máquinas requiere instruir al personal que se destine a esta labor, lo que hacía necesaria la presencia de técnicos cualificados en la materia.

Se denominan perforadoras a los aparatos que realizan el trabajo de abrir agujeros o taladros en la roca, que después se cargan con explosivos para el rompimiento de ésta. Estos aparatos vienen a sustituir el trabajo del barrenero, consiguiendo mejores tiempos con la mejora en el aumento del avance de la excavación. La perforación se puede ejecutar o bien a golpes consecutivos (percusión) o por movimientos giratorios (rotación).

Las primera perforadoras se movían por la fuerza del hombre, no sería hasta 1813 cuando Trevithick, en Cornwall, intentará barrenar de forma mecánica, aunque los primeros resultados prácticos llegarían en 1855 por Bartlett y en 1856 por Schumann.

A lo largo del siglo XIX se inventaron una larga serie de máquinas de barrenar o perforadoras, movidas por aire comprimido, agua y vapor principalmente, las movidas por motor eléctrico como la de Siemens y Halske no llegarían hasta finales del XIX y principios del XX.

Las máquinas que se emplean al arranque mecánico, sin la necesidad de emplear explosivos, se denominan excavadoras. Esencialmente estaban movidas por la fuerza del vapor, y constaban de una palanca móvil que sostenía en el extremo un cazo de hierro, cuyo borde estaba armado con fuertes púas. La máquina además de realizar la excavación, tenía la capacidad de trasladar el cazo con la tierra arrancada hasta un depósito o vagón para su posterior traslado.

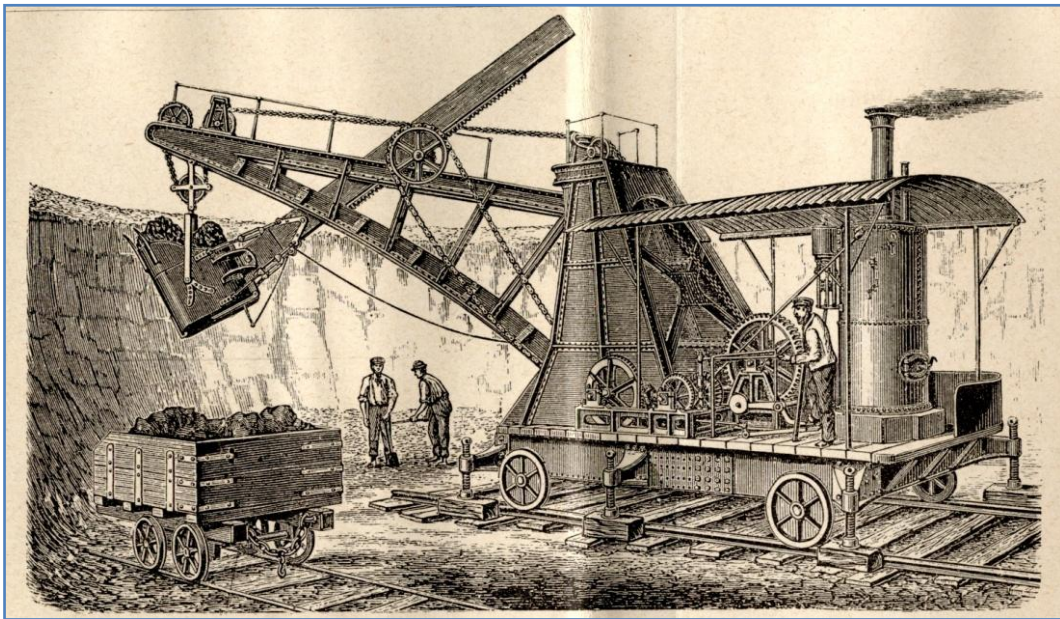


Figura 3. Excavadora a vapor. Fuente: (Guillman, 1885)

5.1.3.2.-Fortificación.

Toda excavación abierta, ya sean pozos o galerías, tienen la finalidad de permanecer practicables para su utilización. Cuando el terreno es suficientemente sólido, compacto y resistente podrá mantenerse por sí solo si las dimensiones y geometrías se han practicado conforme a las características del terreno. Si el terreno no tiene la solidez suficiente, es necesario realizar obras de seguridad, denominadas fortificación, para prevenir el hundimiento de la excavación.

Estas obras recibían el nombre de *entibación* si el material empleado es la madera, *mampostería* si se empleaban materiales pétreos y *blindaje* para materiales metálicos, no haciendo referencia a métodos más actuales que emplean materiales como el hormigón.

La entibación es un sistema que se utilizaba en la minería desde tiempos inmemoriales. Las características principales que ha de tener toda madera son: solidez, ligereza y resistencia a la humedad y al aire viciado. Entre las maderas más utilizadas se encuentran: la encina, el haya, el pino, el roble o el castaño. En cuanto a dureza y resistencia a la humedad se utilizaba principalmente la encina, y entre las maderas ligeras la más utilizada era el pino.

RESISTENCIAS RELATIVAS DE LAS MADERAS				
CLASE DE MADERA	GRAVEDAD ESPECIFICA	RESISTENCIA LATERAL	RESISTENCIA LONGITUDINAL	RESISTENCIA ABSOLUTA
Haya	0,720	1032	986	2480
Castaño	0,685	957	950	1944
Encina	0,905	1000	807	1821
Peral	0,715	850	816	1680
Pino	0,542	918	851	1250
Nogal	0,680	900	753	1120

Tabla 4. Resistencias relativas de algunas clases de madera, empleadas en la fortificación.
Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

Las principales ventajas de la entibación, es que ocupaban poco espacio, los tiempos de ejecución eran rápidos y en general eran más baratas. El principal inconveniente es que su vida útil era muy corta. Este sistema era aconsejable para labores que no presentaban grandes dimensiones y que su vida útil era corta, ya que en caso contrario se veían obligados a sustituir la madera en varias ocasiones, con el consiguiente aumento de los costes.

La ejecución de la mampostería, podía realizarse empleando materiales sin mortero, denominada *mampostería en seco*, o utilizando mortero, *mampostería trabada*. Los materiales empleados son los mismos que se utilizan en las construcciones ordinarias, como la piedra o el ladrillo.

La mampostería presentaba una resistencia muy superior frente a la entibación lo que le proporciona una vida útil mucho mayor. Sin embargo este sistema necesitaba de más espacio y de más tiempo de ejecución por lo que eran más costosas. Este sistema era aconsejable para labores que presentaban grandes dimensiones y que tenían una vida larga como por ejemplo los accesos principales a la mina (pozos). Este sistema fue el más empleado en la mina de Almadén durante todo el siglo XIX como base fundamental del método de explotación diseñado por el Ingeniero de Minas D. Diego de Larrañaga.

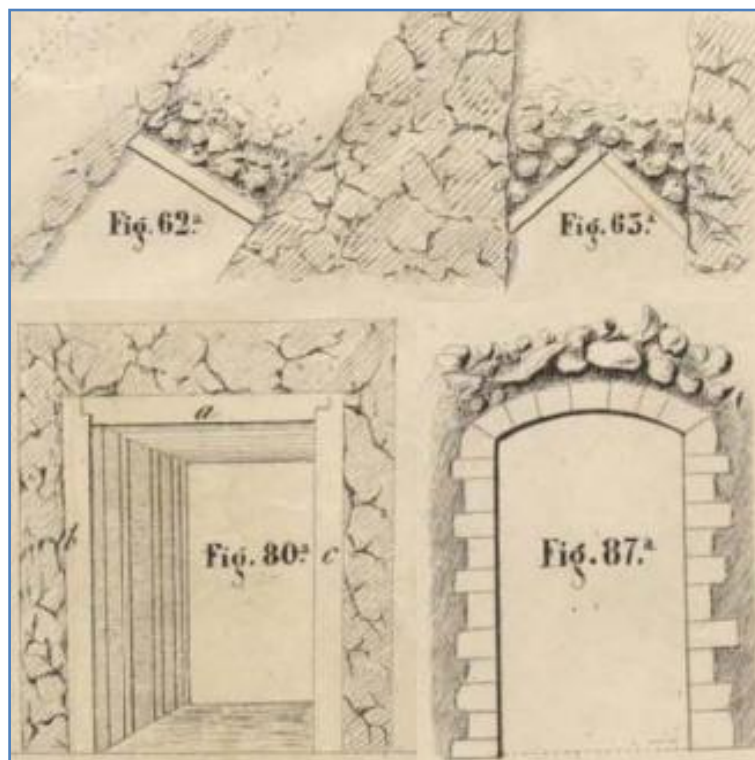


Figura 4. Ejemplos de fortificación.
Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

La utilización del blindaje se remonta al último tercio del siglo XIX, empleando como materiales, el hierro dulce, el hierro colado y el acero. Respecto a los sistemas de fortificación anteriores, estos presentaban las ventajas de poder adaptarse fácilmente a la geometría de los huecos y una mayor ligereza en su ejecución. Con relación a la madera, presentaban una mayor resistencia, mayor duración y evitaban la posibilidad de incendio. Respecto de la mampostería permitían reducir las dimensiones de las excavaciones, pues necesitaba menos espacio, con el consiguiente ahorro económico, además de poder ser reparado con facilidad ante cualquier deformación o rotura sufrida.

El principal inconveniente del empleo del hierro o el acero era que este material carece de la elasticidad propia de la madera, y su rigidez impide en algunos casos la deformación exigida sin llegar al punto de rotura.



Figura 5. Ejemplo entibación con madera, en Minas de Almadén. Fuente: Parque Minero de Almadén.

5.1.3.3.-Transporte y extracción.

Arrancado y seleccionado el mineral, la siguiente etapa en una mina es su traslado a la zona de tratamiento. En el caso de la minería subterránea, como por ejemplo Almadén, existía un transporte interior vertical y horizontal y un transporte exterior. El traslado se producía en primer lugar a través de las galerías horizontales o inclinadas en lo que se denomina transporte horizontal. Posteriormente se sacaba al exterior a través de pozos conformando el transporte vertical.

Transporte horizontal.

Este se puede subdividir en transporte por vías secundarias, que es el que se va desde el tajo hasta las galerías principales de arrastre, y el transporte por vías principales, que es el que va por las galerías principales hasta el enganche con el pozo o socavón¹⁴ de extracción.

Como norma general el acarreo de mineral se practicaba mediante la fuerza humana, y en función de los medios empleados, espuestas, carretillas, carros, o vagones, así se denominaba al método.

Para el estudio de este tema se toma como referencia la clasificación de (Malo de Molina, 1889, 1891)

¹⁴ Un socavón, es una galería horizontal o inclinada con diversas funciones: la de conducir las aguas de forma natural al exterior de la mina, para la ventilación de la mina y la de servir de entrada y salida de operarios, materiales y minerales.

Transporte horizontal. (Vías secundarias)

Transporte a costilla, o a espalda, o a hombros.

El transporte a costilla, consistía en el transporte de espuertas cargadas de mineral, ya sea sobre la espalda o sobre los hombros. El sistema solo era tolerable en labores de dimensiones reducidas o con un piso irregular, que hacían imposible la utilización de la carretilla.

Cuando los trozos de mineral eran demasiado grandes, para ser transportados sobre una espuerta, se cargaban directamente sobre el cuerpo del minero, trabajo denominado *a mano limpia*.

Transporte a carretilla.

El transporte a carretilla se realizaba por medio de una carretilla formada por un cajón que termina en su parte delantera en una rueda que apoya sobre el suelo y por su parte trasera en dos varas o asas para ser sujetadas por el minero.

En este tipo de transporte el minero solo sujetaba una parte de la carga, que era compartida con la que soportaba la rueda. La capacidad de la carretilla dependía del material de construcción y de las dimensiones. Generalmente el material utilizado era la madera, siendo sustituida con el paso de los años por el hierro.



Figura 6. Carretilla de mano. Fuente: Parque Minero de Almadén.

Transporte con carro de mano.

El carro de mano, era un cajón de madera reforzada con hierro, de forma rectangular sostenido sobre cuatro ruedas. Con este sistema el minero no soportaba la carga sino que la empujaba, aumentando así la capacidad de transporte por persona.

Estos carros rodaban por las galerías encima de unas tablas de maderas colocadas unas detrás de otras, o bien sobre unos raíles de madera, teniendo que ser volcados para conseguir vaciarlos.

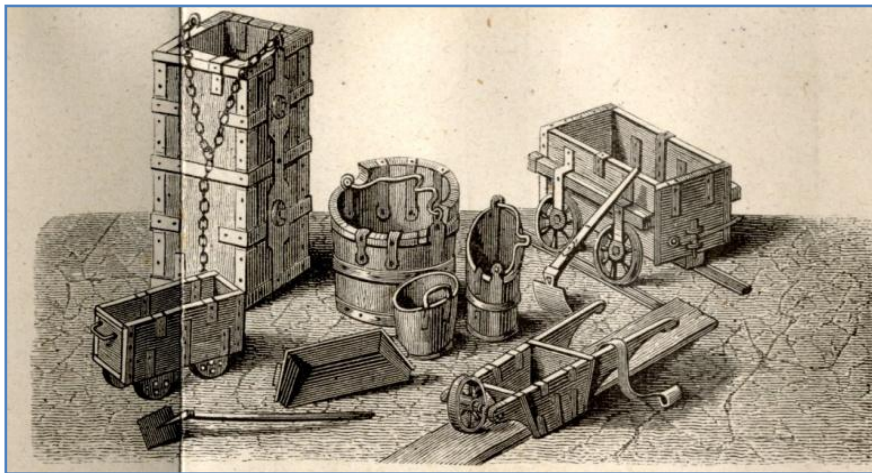


Figura 7. Aperos de transporte en minería.
Fuente: (Guillman, 1885)

Transporte horizontal. (Vías generales)

Transporte con vagones.

Eran empleados en aquellos casos que era necesario transportar grandes cantidades de mineral con el menor tiempo posible y siempre que las condiciones geométricas de las galerías lo permitiesen. Los vagones podían ser arrastrados por caballerías, personas o por locomotoras de vapor.

En España este tipo de sistema no se utilizó hasta el segundo tercio del siglo XIX, empleando principalmente el arrastre por tracción humana y animal. La tracción mecánica por medio de las locomotoras a vapor solo se utilizó en algunas minas metálicas como la de Río Tinto, donde la propia locomotora entraba en el interior de las galerías para recoger los vagones. A finales de siglo XIX aparecieron noticias sobre el interés por instalar máquinas de tracción

eléctrica, como por ejemplo en las minas de Puertollano. (Mansilla Plaza, 2011).

El vagón constaba de un cajón que descansa sobre los ejes de las ruedas, y como norma general se fabricaban de madera reforzada con hierro o totalmente de hierro. Se movían sobre unos carriles de hierro o acero, sujetos a traviesas de madera o de hierro colocadas en el piso como una vía férrea ordinaria.

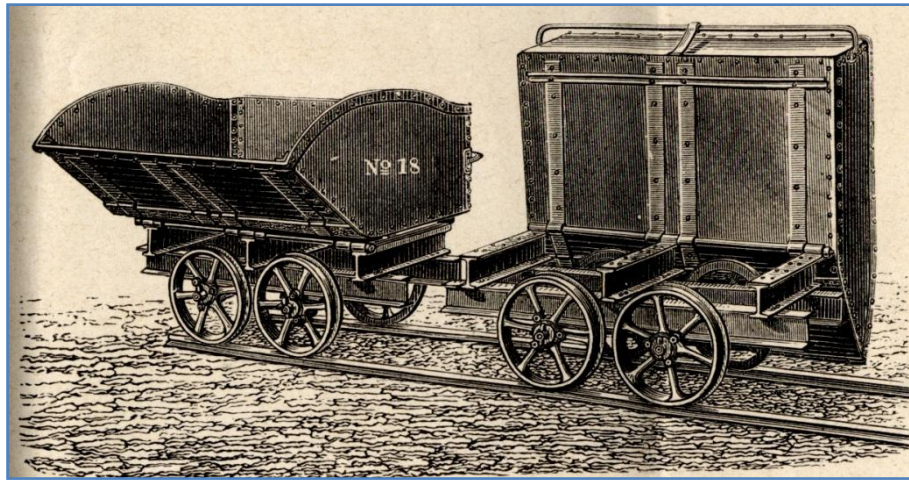


Figura 8. Vagón metálico para el transporte de mineral.
Fuente: (Guillman, 1885)

Planos Inclinados.

Utilizados para el transporte cuando es necesario salvar desniveles de altura. Estos planos tenían su aplicación tanto en el interior de la mina como en su exterior. Según el sentido del tráfico, pueden ser descendentes o ascendentes.

Los planos inclinados se clasificaban en automotores (descendentes), cuando el transporte de la carga se realizaba en virtud de la gravedad, o por tracción mecánica, cuando el transporte de la carga se realizaba por medio de una máquina.

Los planos automotores, podían ser sencillos cuando para subir el vagón vacío se utilizaba un contrapeso en la otra punta, o dobles cuando para su funcionamiento únicamente se usaban vagones, es decir por un lado bajaban los vagones cargados de mineral y por el otro subían los vagones vacíos. En el caso de los planos sencillos la bajada de los vagones cargados y la subida de los vagones vacíos son dos operaciones independientes, y en los planos dobles se realizan ambos trayectos en una sola operación.

Un plano inclinado automotor estaba formado por un tambor fijado en el extremo superior y sobre el que se enrolla la cuerda en la que se sostienen los vagones, para ser desplazados del extremo superior al inferior del plano inclinado y viceversa. En función del sistema empleado y de la inclinación del mismo disponía de frenos, contrapesos o plataformas intermedias. Una descripción más detallada la encontramos en (Malo de Molina, 1889, 1891)

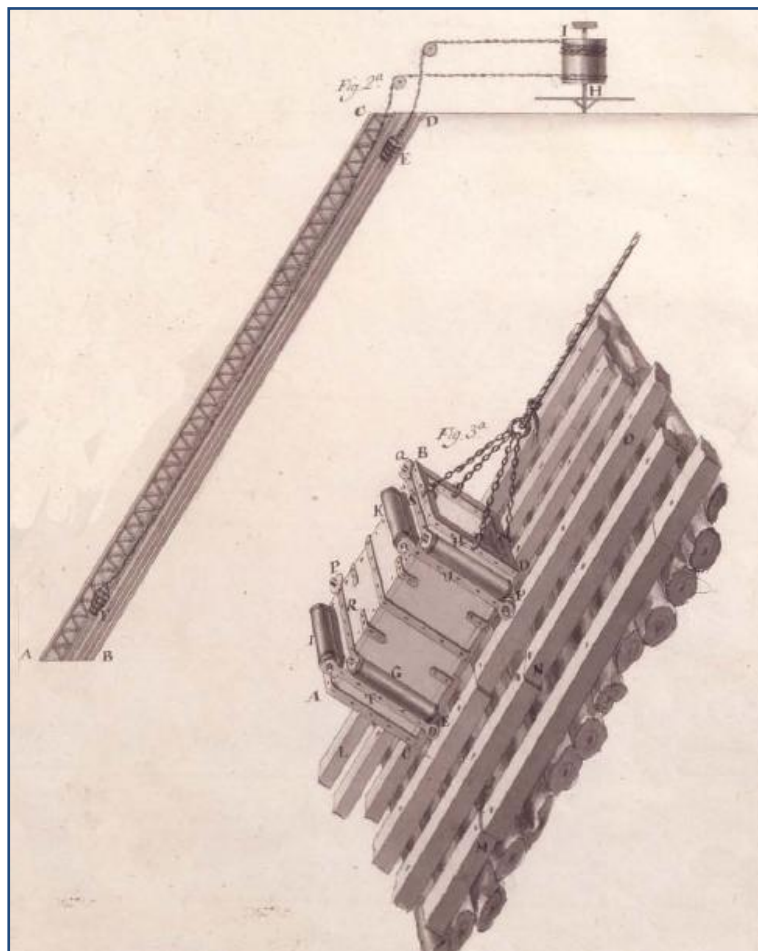


Figura 9. Dibujo plano inclinado. Fuente: (Betancourt, 1783)

En España el mayor plano inclinado construido en el siglo XIX se instaló en Orconera, en las minas de los Montes de Triano (Vizcaya) con una longitud de 1097 metros con una pendiente máxima del 21% con una media del 18%. Otros ejemplos notables, se encontraban en la sierra minera de Cartagena, en las minas de Fragua con 893 metros y en las del Trueno con 704 metros. (Malo de Molina, 1889, 1891)

Los planos inclinados por tracción mecánica empleaban cables o cadenas que se mueven gracias a la fuerza de una máquina motriz que normalmente eran máquinas de vapor. Entre los sistemas más utilizados estaban los de tracción por cables o cadenas sin fin, ya fuesen rastreros, cuando la cadena o el cable se arrastraban por el suelo, o flotantes, cuando se movían por el aire y los vagones colgaban del cable a una cierta altura sobre el suelo.

COSTES PLANOS INCLINADOS POR TRACCIÓN MECÁNICA					
SISTEMAS DE TRANSPORTE		Cable rastrero	Cadena flotante	Cable rastrero sin fin	Cable flotante sin fin
Toneladas transportadas en 12 h.		483	458	390	450
Recorrido medio en metros		1949	1270	843	777
Inclinación media en milímetros. Rampa para los vagones llenos.		4,7	16,9	20,8	27,8
Trabajo en caballos absorbido.		113,85	20,47	63,11	29,40
Gastos diarios de la mano de obra en pesetas.		34,74	16,37	22,37	37,92
Costo por transporte tonelada kilométrica	Cables o cadenas. Céntimos de pesetas.	1,77 (15%)	0,52 (16%)	1,69 (13%)	1,62 (9%)
	Conservación de la vía. Cént. de pesetas.	2,97 (24%)	3,02 (34%)	3,48 (26%)	4,65 (24%)
	Carbón Cént. de pesetas.	3,59 (30%)	1,65 (19%)	1,52 (12%)	2,07 (11%)
	Mano de obra. Cént. de pesetas.	3,75 (31%)	3,67 (41%)	6,55 (49%)	10,88 (56%)
	TOTAL. Cént. de pesetas.	12,08	8,86	13,24	19,22
Gastos de instalación	Vía. Pesetas.	85660	38509	37804	58523
	Máquinas, Calderas, etc., Pesetas.	27863	6947	14059	24522
	Precio del kilómetro de vía. Pesetas.	11308	14820	12902	13983

Tabla 5. Estudio comparativo planos inclinados por tracción mecánica.
Fuente: (Malo de Molina, 1889)

Transportes aéreos.

Este sistema de transporte se empleaba principalmente para salvar grandes desniveles, como es el caso de las minas de montaña.

Fue introducido en el último tercio del siglo XIX siendo los sistemas más empelados el de Hogdson y el de Bleichert, aunque aparece una referencia anterior en una ilustración de un libro de Johann Hartlieb en 1411, según Bleichert en 1644 se utilizaban en Danzing, en 1664 parece que también se utilizó en Holanda, pero su uso continuado en la minería se produjo después de la invención de Hogdson en 1868. (Guillman, 1885)

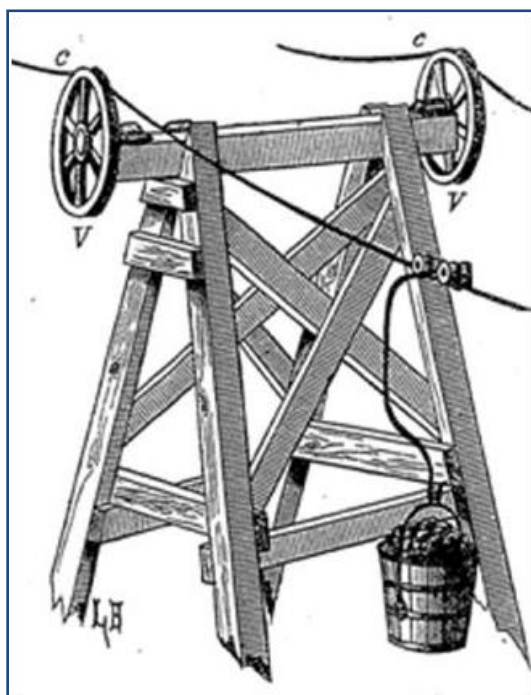


Figura 10. Dibujo de transporte aéreo de mineral. Fuente: (Barrinaga y Corradi, 1881)

El sistema Hogdson consistía en la existencia de grandes poleas, sujetas por unos caballetes, tanto en la llegada como en la partida por donde circulaba un cable móvil, movido por la fuerza del vapor. Sobre el cable se colgaban las vasijas o recipientes cargados de mineral por un ramal, y las vacías por otro.

El sistema de Bleichert, es más moderno, y su principal diferencia con el de Hogdson, era que disponía de un cable fijo sobre el que cuelgan los recipientes, y de un cable móvil que tiraba de los recipientes.

Dentro de la minería española, el transporte aéreo tuvo su mayor desarrollo en las minas de Vizcaya, Asturias, Almería¹⁵, Cartagena, etc.

Transporte vertical o extracción.

El transporte vertical y/o extracción, es la operación de elevación de minerales, materiales, herramientas y personal por los pozos desde el fondo de la mina o desde sus pisos hacia el exterior. Este transporte necesita de máquinas o aparatos accionados por fuerza humana, animal, del agua, del vapor o eléctrica situadas en la superficie.

Todos los sistemas de extracción tenían en común la presencia de cables donde sujetar la carga a elevar. Los materiales empleados para la fabricación de estos cables en el siglo XIX eran de esparto, cáñamo o abacá. Junto con estos materiales se emplearon cadenas de hierro, pero su uso fue muy limitado por su elevado peso y por sus numerosas roturas. A mediados de siglo estos materiales fueron sustituidos por cables de acero, compuestos en su núcleo por un cable de cáñamo embreado, para darle flexibilidad, y recubiertos por alambres entrelazados, consiguiendo una mayor capacidad de carga y resistencia. (Mansilla Plaza, 2011)

Torno de mano.

El torno de mano es el aparato más sencillo para realizar la extracción de materiales, herramientas, mineral, y personas desde el interior de la mina. Es considerado como el método más primitivo utilizado para la extracción.

Consistía en un cilindro de madera, generalmente de pino, que recibe el nombre de árbol, provisto de un eje central que lo atraviesa y que descansa sobre unos cojinetes colocados sobre una armadura de madera. En los extremos del eje, se montaban las manivelas o cigüeñas, que eran unas barras redondas de hierro dobladas en ángulo recto. La longitud de las manivelas

¹⁵ En (Malo de Molina, 1889, 1891), encontramos la explicación del cable aéreo de Bedar a Garrucha (Almería), que transporta los minerales de hierro desde la mina de la Serena a la playa de Garrucha.

dependía del número de hombres que lo iban a mover; lo general es un hombre para cada manivela.

La altura a la que debía colocarse el eje del torno era algo superior a la mitad de la estatura del operario para evitar que en el giro de la manivela, el mango de esta no superase la altura de los hombros del trabajador.

Sobre el árbol se enrollaban 3 ó 4 vueltas de cable y en los extremos se colocaban ganchos donde colgaban los recipientes. En un extremo se colgaba un recipiente lleno y en el otro vacío, aunque en ocasiones para poder ejercer de contrapeso y disminuir el esfuerzo, uno estaba cargado de material que se sacaba del interior y el otro (el descendente) se cargaba con herramientas o materiales a introducir.



Figura 11. Extracción de mineral mediante torno de mano. Fuente: <http://www.regmurcia.com> Consultada 16/01/2015

Malacate.

El malacate es una máquina de extracción que consistía en un árbol vertical que tiene en su parte superior un tambor horizontal cilíndrico donde se enrollan los cables o cinteros que sirven para sujetar los recipientes donde se transportaba el mineral, materiales y herramientas necesarias. De uno de los extremos del cable se colgaba el recipiente cargado y del otro extremo se podía colgar el recipiente vacío o con material necesario para trabajar en el

interior. Los cables pasaban por unas poleas que permitían cambiar el movimiento horizontal en el tambor por el vertical, necesario para el ascenso y el descenso de los recipientes.

Al árbol vertical se unía a una viga o palanca por medio de abrazaderas de hierro y por el otro extremo tenía una horquilla donde se colocaban las caballerías. Al moverse las caballerías en una trayectoria circular alrededor del eje vertical movían el árbol sobre su eje y a su vez del tambor, para enrollar o desenrollar los cables según fuese necesario. En función de la fuerza necesaria se podían colocar hasta cuatro palancas en sentido de cruz para poder enganchar ocho caballerías, como sucedía en las minas de Almadén.

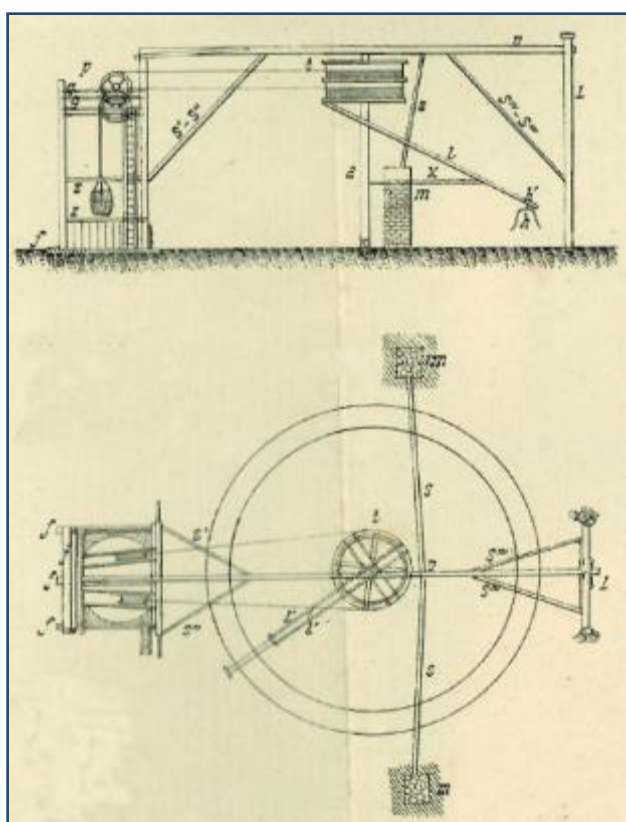


Figura 12. Esquema malacate de caballerías. Fuente: (Moncada, 1902)

En cuanto a la maniobra de descarga del recipiente existían varios modos de hacerla, ya sea amainando el recipiente por medio de unos ganchos, para ponerlo bocabajo sobre un vagón, o cubriendo la boca del pozo con maderas, para descansar sobre ellas el recipiente para poderlo volcar, cayendo el mineral al suelo o sobre un vagón. En cualquier caso, el recipiente era necesario subirlo por encima de la boca del pozo, para después bajarlo un

poco para descargarlo. Seguidamente se vuelve a subir para enderezarlo y así bajarlo al interior de la mina para que suba el otro recipiente. En esta operación era necesario cambiar el sentido de giro del tambor en varias ocasiones, tarea compleja al tener que hacerlo con las caballerías. Ezquerria del Bayo, cita las siguientes palabras sobre dicha maniobra en las minas de Almadén:

“Es admirable el ver como en Almadén ejecutan las ocho mulas toda esta maniobra a la voz de sus conductores, y aún muchas veces no necesitan oír la voz de mando, con solo ver salir el esportón, ya saben lo que tienen que hacer.” (Ezquerria del Bayo, 1851)

Los materiales principales que intervenían en la construcción del malacate eran la madera y los cables vegetales, por eso era habitual construir un edificio de planta circular o poligonal para protegerlo de la intemperie y condiciones climatológicas. A esta tipología de edificio se la conoce con el nombre de baritel.

Máquinas de extracción.

Dentro de este grupo de máquinas, se las podría clasificar en función del tipo de energía utilizada. Esta podía ser movida por agua, por aire comprimido, vapor y ya en el siglo XX por electricidad.

La profundización de las minas buscando nuevos puntos de obtención de mineral provocó que los sistemas de extracción vertical descritos anteriormente no fuesen suficientes.

Las máquinas de extracción constaban de la maquinaria de extracción, una bobina¹⁶ donde se enrollaban los cables de los que colgaba la jaula¹⁷ y una estructura que recibía el nombre de castillete¹⁸, este daba soporte al conjunto,

¹⁶ La bobina es el tambor utilizado cuando el cable en vez de ser redondo es plano.

¹⁷ La jaula es un cajón metálico que puede tener la altura de uno o varios pisos de la mina, donde se colocan los vagones cargados de mineral para ser elevados al exterior de la mina. Sobre cada piso pueden llegar a colocarse uno o dos vagones.

¹⁸ Los castilletes podían ser de madera, que estuvieron presentes durante todo el siglo XIX, a mediados del siglo XIX comenzaron a construirse de mampostería, y ya en el último tercio del siglo aparecieron los

colocándose en la boca del pozo para sostener el juego de poleas por el que pasaban los cables de extracción que servían a su vez de guías para el movimiento en sentido vertical.

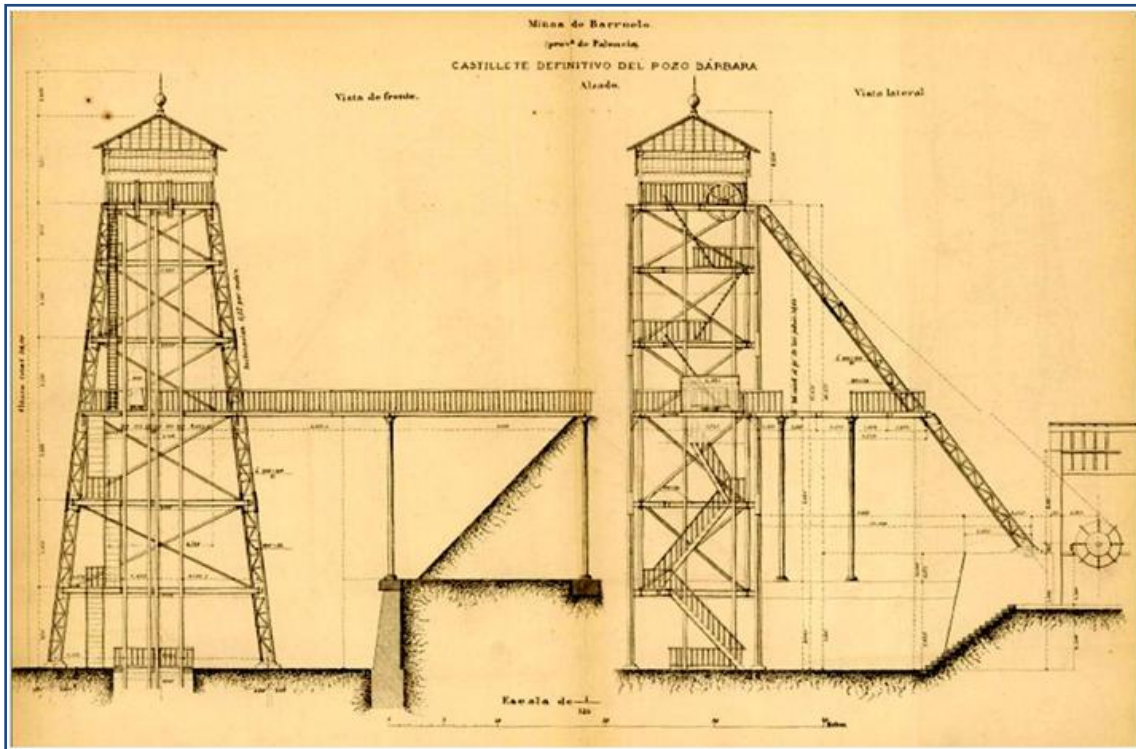


Figura 13. Croquis castillete de la Mina de Barruelo. Palencia. Fuente: <http://www.archivohistoricominero.org/>. Consultada 18/02/2015

El empleo de jaulas obligo a colocar a lo largo del pozo un sistema de guideras fabricado de cables metálicos, largueros de madera o hierro, para evitar desplazamientos y asegurar la verticalidad en el desplazamiento. Junto a este guionaje, se incluyó posteriormente un nuevo elemento de seguridad, el *paracaídas*, cuya función era evitar el desplome de la jaula en el caso de rotura del cable de extracción.

metálicos (hierro o acero), capaces de subir grandes pesos de grandes profundidades, en algunas ocasiones se fabricaban mixtos con la presencia de varios materiales de construcción.

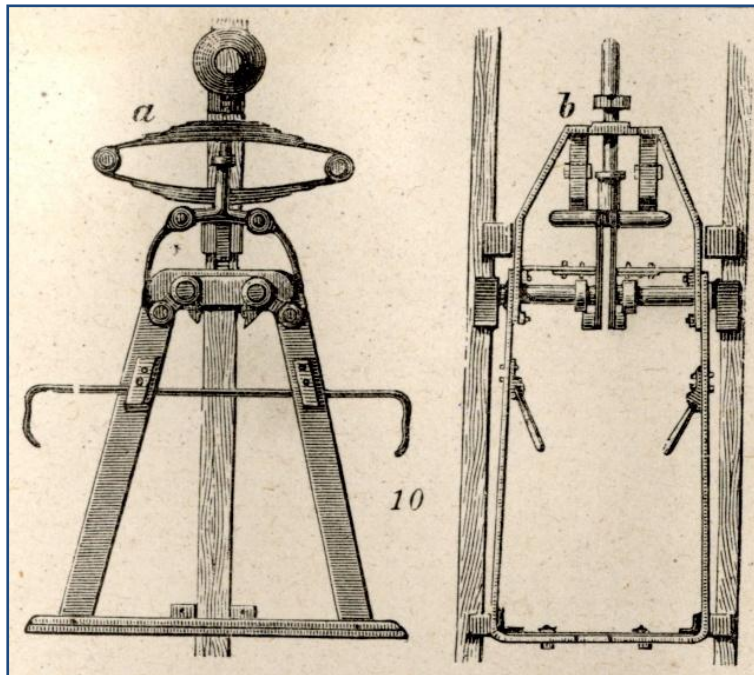


Figura 14. Paracaídas. Sistema de seguridad para las jaulas.
Fuente: (Guillman, 1885)

En cualquier caso, el principio fundamental de funcionamiento del paracaídas era sujetar la jaula a las guías, mediante la presión ejercidas por muelles o resortes cuando se producía la rotura del cable. Este actuaba por medio de cuñas o palancas que penetraban en las guías de madera o por rozamiento con las guías de hierro, o bien doblando las guías de cables metálicos, parando en cualquier caso la jaula y evitando que se precipitase contra el fondo del pozo.

En cuanto a las tipologías de las máquinas de vapor ubicadas en el brocal del pozo, podían ser de simple o doble efecto, de baja o alta presión, con condensación o con expansión del vapor, también se pueden diferenciar por la disposición del cilindro, ya sea en vertical o en horizontal.

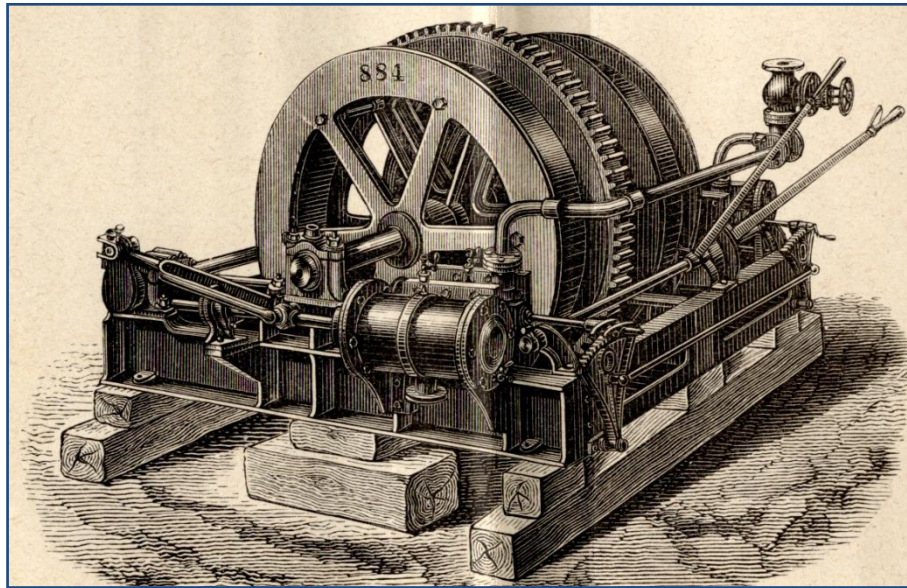


Figura 15. Máquina de extracción transportable de cilindros gemelos.
Fuente: (Guillman, 1885)

En un principio se emplearon máquinas de extracción de vapor de simple efecto, para entrada el siglo XIX pasaron a ser de doble efecto. Se emplearon también las de condensación, pero la falta de agua en muchos casos provocó su sustitución paulatina por las de alta presión. En las más modernas ya no existía el volante de inercia, sustituido por cilindros gemelos unidos directamente al árbol del tambor. (Guillman, 1885)

Las máquinas de vapor fueron un importante avance para poder extraer cantidades considerables de mineral en poco tiempo, pero presentaban el hándicap de la necesidad de combustible barato, lo que sólo era posible cuando se instalaban en las propias minas de carbón.

En aquellos lugares donde existía agua constante en abundancia se empleaba una rueda hidráulica accionada por el movimiento del agua, que movía la máquina de extracción.

En estas máquinas el eje de rotación era horizontal frente a los malacates con el eje de rotación vertical. Constaba normalmente de una rueda vertical doble para conseguir realizar los movimientos de enrollar cable o desenrollar. La rueda necesita girar en dos sentidos, y esto se consigue mediante la división longitudinal de la rueda en dos. Cada división con los cajones donde golpeaba el agua, inclinados contrariamente. Los tambores estaban fijos al árbol de la rueda, y de ellos se elevan los cables hasta las poleas colocadas en la parte superior del edificio con el fin de transformar el movimiento circular de los tambores en un movimiento longitudinal en la vertical del pozo.

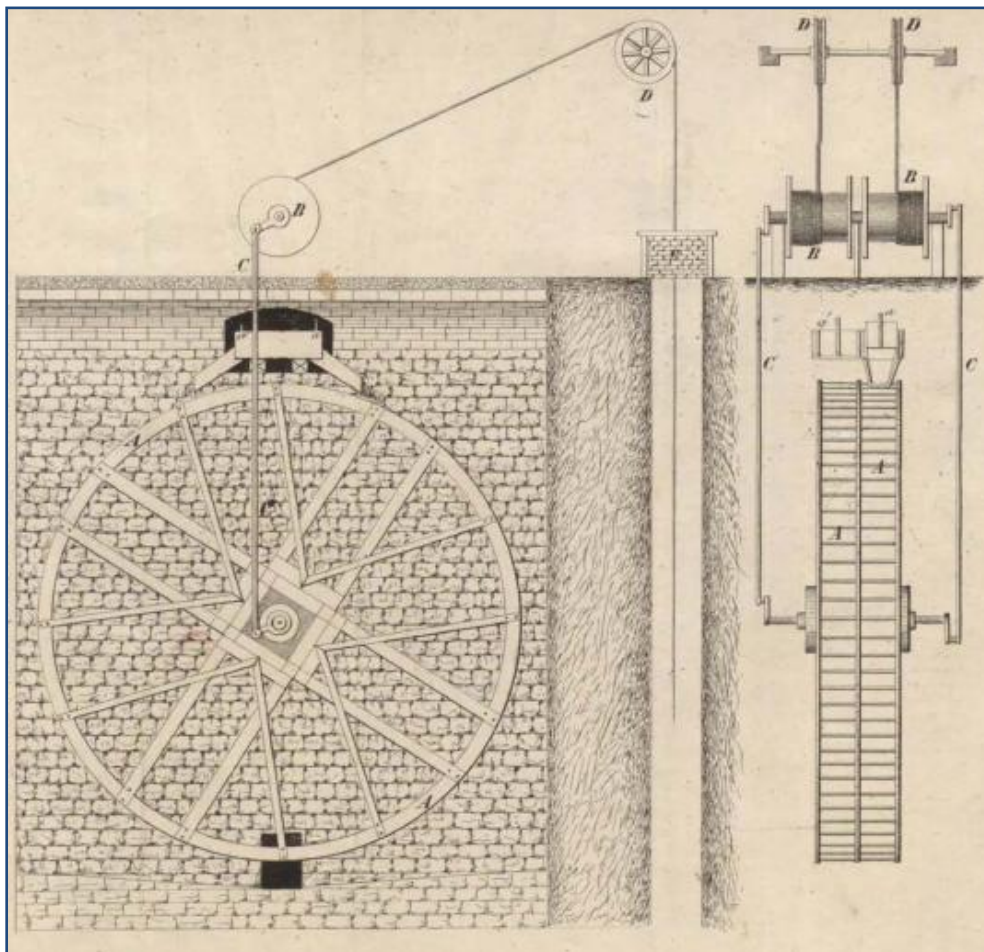


Figura 16. Rueda hidráulica para la extracción. Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

En el caso de que existiesen saltos de agua, se aprovechaba su energía potencial con las máquinas de columna de agua. Funcionaban canalizando el agua por medio de unos conductos cerrados hasta el interior de un cilindro empujando un émbolo albergado en su interior: Funcionaban de una forma similar a las máquinas de vapor. Podían ser de simple efecto, si el agua empuja sobre una sola cara del pistón, o de doble efecto si empujaba sobre ambas caras del pistón. Al igual que en las máquinas de vapor el movimiento rectilíneo del émbolo se transmite por medio de su vástago, bien unido a un balancín y desde este a otro elemento, o bien por medio del vástago directamente a otro elemento que se moviera en línea recta al igual que él.

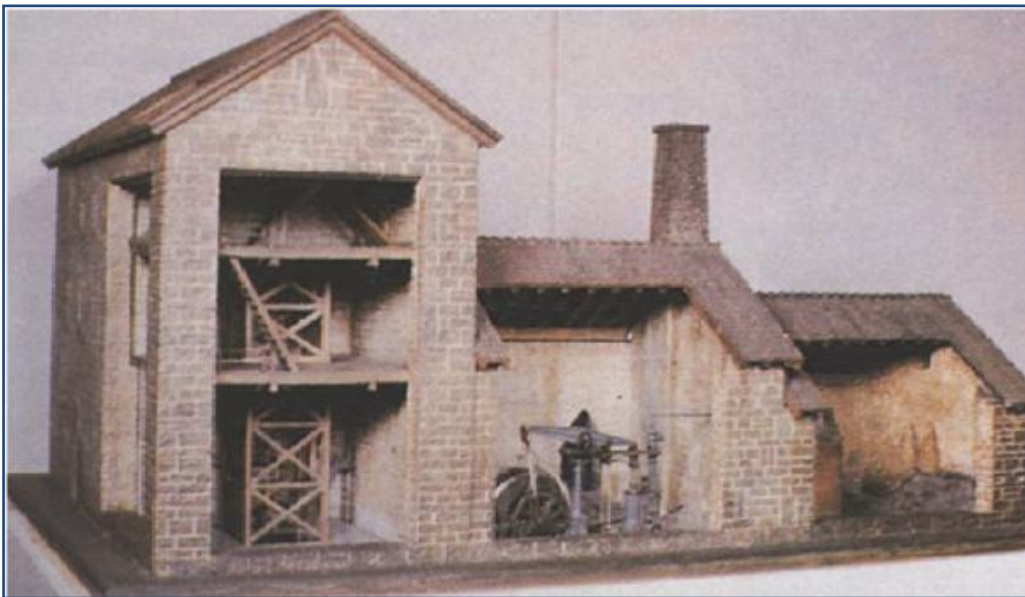


Figura 17. Maqueta de una máquina de columnas de agua.
Fuente: Deutsches Bergbaumuseum, Bochum, Alemania

Este tipo de máquinas se utilizaron a lo largo del siglo XIX e incluso hasta principios del XX, tanto para el desagüe como para el transporte vertical en la minería europea. (Sánchez Gómez, 1997)

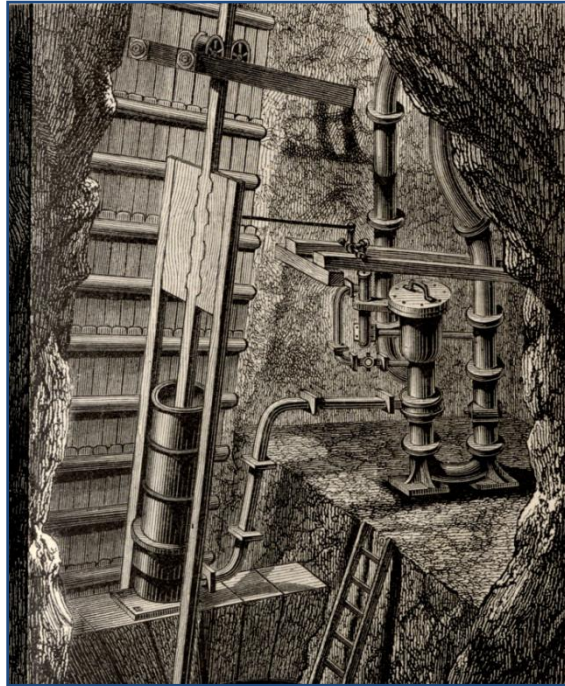


Figura 18. Detalle máquina de extracción de columna de agua. Fuente: (Guillman, 1885)

El aire comprimido también era empleado para mover pequeñas máquinas y tornos en la extracción. Su construcción era similar a las máquinas de vapor verticales. Aunque su rendimiento era menor que una máquina de vapor, su utilización en el interior de la mina se justificaba porque frente a las otras no perjudicaba las condiciones de ventilación interior sino todo lo contrario.

A finales del siglo XIX comenzaron a aparecer las primeras máquinas de extracción eléctricas, pero aún no eran capaces de suministrar la potencia requerida en este tipo de trabajos. Podemos citar la mina de oro de Brasil, llamada Fária, donde la electricidad movía todos los aparatos de extracción y desagüe. Para ello utilizaba unas turbinas que aprovechaban una caída de agua de 12 metros, pero solo era capaz de generar una fuerza de 20 caballos de vapor. (Guillman, 1885)

Ya en el primer tercio del siglo XX las máquinas eléctricas sustituyeron definitivamente a las de vapor al ser capaces de suministrar las potencias requeridas.

Bajada y subida de operarios.

La entrada y salida de los operarios a la mina durante el siglo XIX se realizaba por medio de socavones cuando la topografía del terreno y la profundidad de las labores lo permitía, o a través de los pozos principales, ya sea mediante escalas fijas o móviles, o por medio de la máquina de extracción.

Cuando las galerías eran prácticamente horizontales o tenían poca pendiente los operarios podían entrar y salir de la mina andando con facilidad. En el caso de resultar demasiado inclinada, era necesario escalonar el suelo. Para ello podían labrar los escalones directamente sobre el piso, o bien colocar escaleras de madera. Para facilitar el tránsito y evitar las caídas, se solía colocar una cuerda como pasamanos fijada a la pared conocida con el nombre de maroma.



Figura 19. Galería inclinada de acceso a la mina de Las Caleras de Cartagena.
Fuente: Rogelio Mouzo. <http://cronicasmineras.blogspot.com.es>

Cuando el descenso o el ascenso, se hacía por los pozos verticales se utilizaban escalas fijas que consistían en dos largueros paralelos de madera y de varios traveseros también de madera que constituyen los peldaños. En algunas minas, donde la madera no resistía lo suficiente se utilizaban escalas metálicas.

Las escalas, solían colocarse en tramos de entre 6 y 10 metros, con una inclinación aproximada de unos 70° aproximadamente para evitar que el esfuerzo de los mineros fuese demasiado elevado. Al final de cada tramo se colocaba un tablero horizontal denominado descansillo, donde existe un boquete por donde asoma la escala inferior. Este descansillo servía para que el minero pudiera reponer fuerzas, y para disminuir la altura de la caída del operario en el caso de que esta se produjera.

La colocación de las escalas podía adoptar varias formas:

- a) Todas inclinadas en el mismo sentido, teniendo en este caso la posibilidad de ser paralelas en una misma vertical, o alternativamente paralelas, en este caso el operario subía siempre en la misma dirección.
- b) Cada escala inclinada en un sentido diferente, o lo que viene a ser lo mismo en zigzag, en este caso el operario tenía que girarse cada vez que dejaba una escala para coger otra.

Este sistema requería de un gran esfuerzo humano y provocaba un gran desgaste en la persona. Malo de Molina en su libro (Malo de Molina, 1889, 1891). Comentaba que a partir de 500 metros de profundidad un trabajador consume una 5ª parte de su jornal entre la entrada y la salida de la mina, considerándolo una cifra elevadísima. Por lo que cree que a partir de dicha profundidad este sistema no debería de utilizarse.

En el año 1831 se desarrolló la escala móvil o *fahrkunst*, inventada por Dörell en el Harz. Consistía en dos varas colocadas en la vertical del pozo, donde cada cierto espacio tenía colocada una plataforma, donde el operario se colocaba de pie. Estas varas se movían alternativamente en sentido vertical, es decir cuando una subía la otra bajaba, el movimiento podía generarlo tanto una rueda hidráulica como una máquina de vapor. La operación se realizaba de la siguiente manera: el operario se colocaba en la plataforma superior de la vara, mientras que esta desciende la otra vara subía. Cuando la vara llegaba a su recorrido final, el operario se cambiaba a la otra vara, pues esta cambiaba de dirección y comenzaba a bajar, y así sucesivamente hasta que llegase al piso.

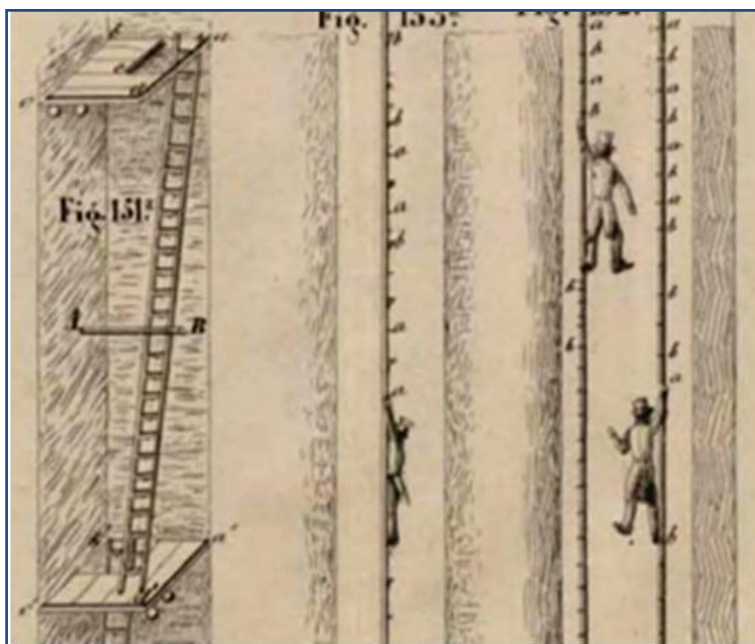


Figura 20. Detalles escalas de mano y escalas móviles.
Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

Con este sistema, se reducían los tiempos empleados en la entrada y la salida de la mina, además de disminuir la fatiga de los operarios con el consiguiente aumento de rendimiento en sus labores de interior.

A pesar de sus beneficios este sistema prácticamente sólo llegó a utilizarse en las minas de Bélgica, Prusia, Sajonia y en las de Cornwall de Inglaterra (Fuentes Ferrera, 2012). En las minas de Almadén, se hicieron varias propuestas para la instalación de un fahrkunst movido por una máquina de vapor, que nunca llegaron a materializarse. (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1869)

Otro de los métodos utilizados para estas maniobras era el empleo de las máquinas de extracción, ya fuese el torno de mano, el malacate o la máquina de vapor.

Con el torno de mano la subida o la bajada podía realizarse de dos formas: la primera consistía en realizar una lazada o lazo en el extremo de la cuerda por el que cruzaban una pierna, además de sujetarse a la cuerda con una o ambas manos; la segunda consistía en colocar un palo travesado al final de la cuerda que colocaban entre las piernas para poder ir sentados, además

de sujetarse con las manos a la cuerda igual que en el caso anterior. En ambos casos en el lado opuesto de la cuerda se utilizaba un contrapeso para facilitar la labor de los torneros.

A la vista queda la inseguridad del sistema, pues en cualquier descuido del operario podía caer al vacío sin ningún tipo de protección¹⁹.



Figura 21. Bajada a la mina mediante el torno de mano. Fuente: (Ezquerria del Bayo, 1851)

En cualquier caso, el tiempo de transporte con este sistema también era muy elevado por lo que en las minas que disponían de malacate o de máquina de vapor, los operarios subían o bajaban montados en las cubas donde se cargaba el mineral, con la consiguiente reducción de tiempo.

¹⁹ En algunas minas utilizaban una correa para sujetar al operario a la cuerda a modo de arnés

Desde el punto de vista de la seguridad, los operarios estaban expuestos en el ascenso y descenso a los balanceos y posibles choques con las paredes del pozo con el peligro de caída o accidente.

El método más seguro era la utilización de las jaulas con las máquinas de extracción. En este caso como los pozos disponían del guionaje el movimiento era mucho más uniforme y seguro, además de que el operario viajaba sin realizar ningún tipo de esfuerzo. El riesgo de caída aunque mínimo seguía apareciendo, pues había jaulas que no disponían de puertas, y en caso de tenerlas, podía suceder la desgracia que por algún motivo se abriese.

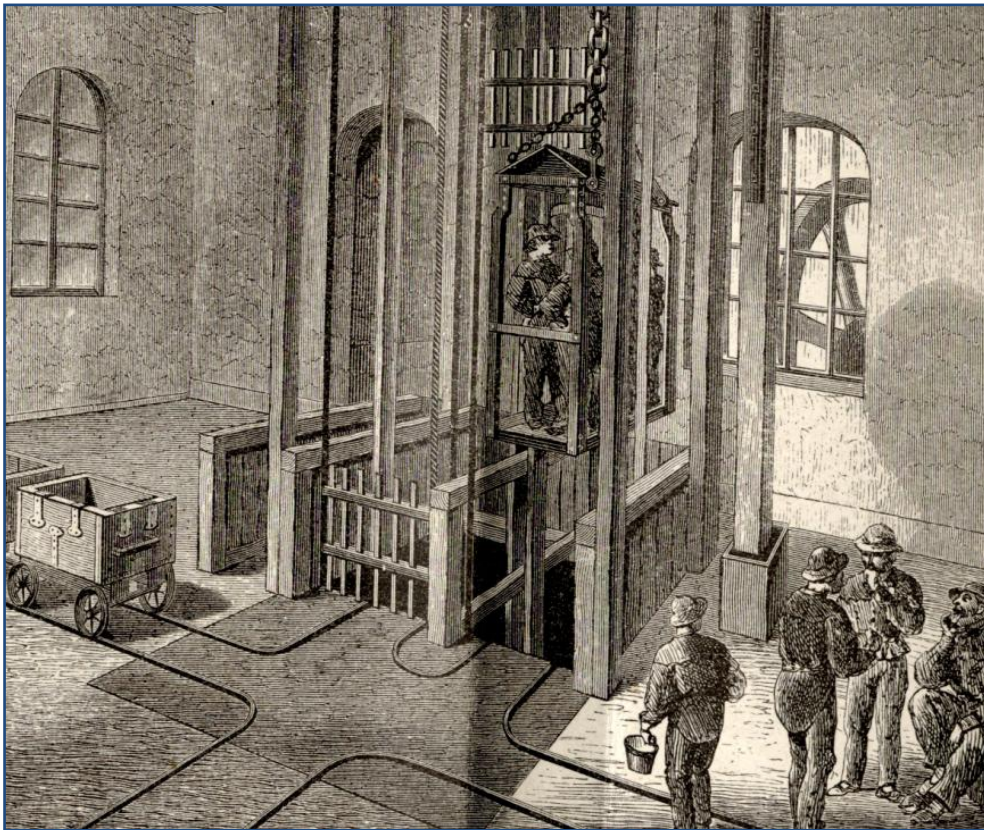


Figura 22. Bajada a la mina mediante jaulas. Fuente: (Guillman, 1885)

5.1.3.4.-Desagüe.

A medida que se profundizan los trabajos y se desciende por debajo del nivel freático, el agua comienza a filtrarse entre las rocas, dificultando las labores e inundando las zonas de trabajo. Para evitar paralizar la explotación de la zona, se debe efectuar la labor de extraer el agua a superficie que se conoce con el nombre de desagüe.

Esta labor debía realizarse de forma continuada, evacuando las aguas según se generaban, para evitar su acumulación y teniendo siempre presente la posibilidad de que por lluvias abundantes el caudal aumentase y generase un problema mayor.

En la mayoría de los libros de laboreo de minas de la época consultados (Ezquerro del Bayo, 1851), (Malo de Molina, 1891), se diferencian dos clases de desagüe: el desagüe natural, cuando el agua sale de la mina por su propio pie aprovechando el desnivel del terreno, o el desagüe artificial, cuando el agua es llevado al exterior de la mina con la ayuda de máquinas.

Tal era la importancia del problema del desagüe, que obligaba a los ingenieros a la búsqueda o a la creación de nuevos medios para realizar esta labor lo más económicamente posible. El invento de la máquina de vapor de Newcomen y su aplicación supuso un punto de inflexión en la solución de este problema.

Desagüe natural.

Este tipo de desagües solo se puede practicar en aquellas minas que la topografía del terreno permite la creación de socavones, o de galerías de desagüe.

Los socavones o las galerías se construían con una pendiente muy suave, utilizada para que el agua saliese de la mina por efecto de la gravedad.

En estos casos el socavón o galería, no recogía solo las aguas que se generaban en los pisos superiores, también servía para disminuir la altura a la que había que subir las aguas de los niveles inferiores, con el consiguiente ahorro económico.

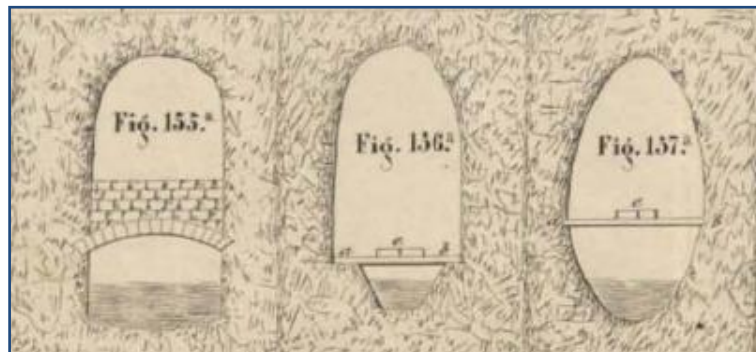


Figura 23. Galerías de desagüe. Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

La conducción de las aguas se realizaba por medio de unas cunetas o regueras que se labraban en el suelo. En los casos donde la cantidad de agua que circulaba era muy elevada, se construía una galería expresamente para el desagüe separada del socavón principal.

En la mina de Almadén, actualmente acondicionadas para ser visitadas turísticamente, se puede visitar y transitar por uno de estos socavones, utilizados tanto para el transporte, la ventilación, la entrada y la salida, así como para el desagüe.

Desagüe artificial.

El desagüe artificial, es aquel que utiliza máquinas para elevar las aguas hasta el socavón de desagüe o hasta la superficie del pozo, en función de la necesidad de la mina.

Las máquinas empleadas para el desagüe son muy similares a las utilizadas en la extracción de mineral, e incluso a veces se utilizaban las mismas, sustituyendo el recipiente. En el caso que el agua fuese muy abundante se utilizaban máquinas exclusivamente para esta función, con el fin de no perjudicar al resto de las labores.

Para disminuir la altura de bombeo al exterior, en el interior de la mina se construían unos depósitos o calderas en diferentes pisos, próximos a la vertical del pozo, donde se conducían las aguas de los pisos inferiores. El agua se extraía subiendo ésta de un depósito a otro de forma escalonada hasta llevarla a la superficie.

Hasta el siglo XVIII para el desagüe se utilizaron las técnicas heredadas de los romanos, como la utilización de la noria, el tornillo de Arquímedes, las poleas o el torno de mano. De estas técnicas se pasó a la utilización de, malacates, bombas y finalmente a las máquinas de vapor o de columna de agua. (García Tapia, 1992)

A pesar de la mejora sustancial del problema del desagüe conseguida con las máquinas de vapor, no será hasta la llegada de la electricidad en el siglo XX, con las bombas centrífugas o las sumergibles cuando podría decirse que el problema estaba totalmente solucionado.

La lenta implantación de las nuevas máquinas o técnicas generó la convivencia de las viejas y nuevas técnicas durante el siglo XIX. Por ello se describe brevemente los diferentes sistemas utilizados durante este siglo.

Noria o rueda hidráulica.

La noria era un sistema que no permitía salvar grandes desniveles, por lo que cuando había grandes profundidades se colocaban en serie en niveles sucesivos. La altura de elevación limitada entre los 3/4 y los 2/3 de su diámetro²⁰.

La rueda de la noria, era movida por la fuerza del hombre, generalmente esclavos que se colgaban sobre los radios. En su perímetro tenía unos cangilones que recogían el agua cuando se sumergían en el depósito, y la trasladan al lado opuesto vertiéndola sobre una canaleta, bien para conducirla al exterior, o para llevarla a otro depósito donde hay instalada otra noria para seguir subiendo el agua hasta la altura necesaria.



Figura 24. Maqueta de norias romanas. Museo de Bochum. Fuente: <http://www.proyectoarrayanes.org/>

Las ruedas hidráulicas colocadas en la boca del pozo, para la extracción también eran utilizadas para el desagüe, utilizando un recipiente acorde para transportar el agua.

²⁰ En el siglo XIX, se encontraron ruedas o norias romanas en el interior de las minas de Río Tinto, con un diámetro de 4,5 metros, que pertenecían a un sistema montado de forma escalonada, por ocho pares de norias, para salvar un desnivel de 30 metros aproximadamente. (Matías, 2004)

Tornillo de Arquímedes.

El tornillo de Arquímedes, también conocido como *cóclea* (caracol), consistía en un tornillo sin fin colocado en el interior de un cilindro hueco, accionado por la fuerza humana por uno de sus extremos mediante las manos o los pies.

El cilindro se colocaba como si de un plano inclinado se tratase, sumergiendo uno de los extremos en el depósito o foso de agua. Al girar el tornillo en sentido ascendente, la sección de las hélices atrapaba un cierto volumen de agua que era elevado hasta el extremo opuesto, para verterlo sobre una canaleta.

El desnivel que podían salvar era inferior que el de las norias, pero presentaban otras ventajas como ser más fáciles de instalar y de poner en funcionamiento, además de ser capaces de evacuar un volumen mayor de agua en menos tiempo.

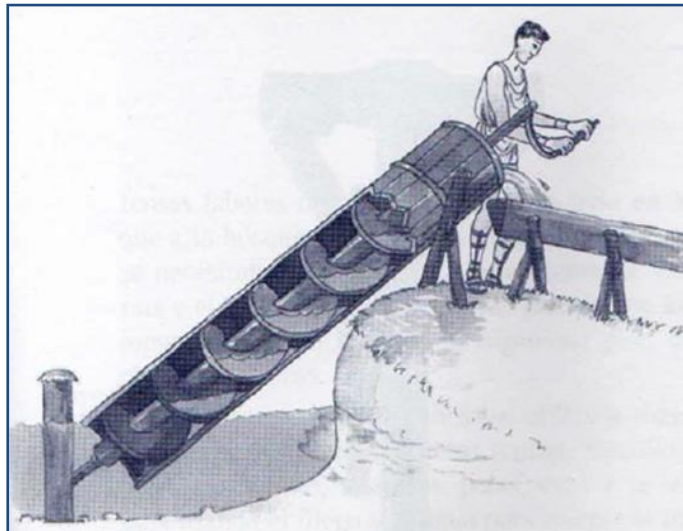


Figura 25. Tornillo de Arquímedes. Fuente: <http://yessidp.blogspot.com.es>. Consultada 17/12/2014

Polea o cadena de cangilones.

Este sistema elevaba el agua en una sola fase, el ingenio consistía en un cierto número de cangilones, colocados como si de un rosario se tratase, unidos por una cuerda o una cadena. En la parte superior se colocaba una polea por la que circulaba la cuerda, y en la parte inferior se colocaban los operarios que la ponían en funcionamiento tirando de la cuerda con sus propias manos.

Los cangilones, al introducirse en el foso se llenaban de agua, y cuando subían a la parte más alta cambiaban el sentido de desplazamiento, lo que provocaba que se volcasen vaciando el agua sobre una canaleta, para ser conducida al punto deseado.

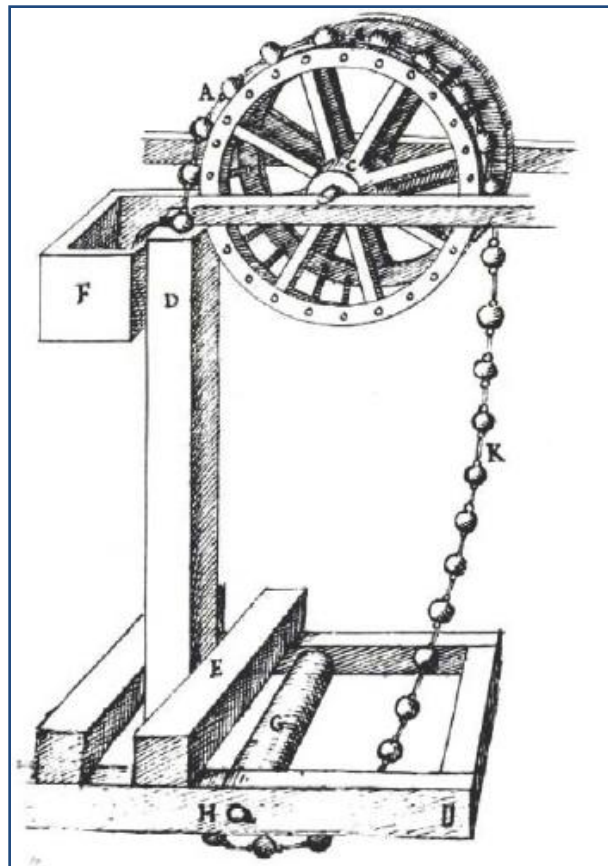


Figura 26. Polea de Cangilones.
Fuente: (Ugalde, 2010)

Torno de mano.

El torno de mano es la misma máquina descrita en la extracción, salvo que para transportar agua se utilizaban cubos de madera, o unos recipientes de cuero denominados zacas. El inconveniente de estas zacas, utilizadas en la mina de Almadén, era la dificultad que presentaban a la hora de llenarlas o de vaciarlas.

Este sistema solo era aplicable a pozos verticales y suponía un gran esfuerzo para los operarios, siendo considerada una de las labores más duras. Sólo era conveniente utilizarlo en pozos con poca profundidad y con poca cantidad de agua.

Malacate.

Al igual, que sucede con el torno de mano, el malacate es el mismo que el utilizado para la extracción, utilizando recipientes acordes para el transporte de agua.

La ventaja del malacate frente al torno, es que como la fuerza de tracción era animal, podía extraerse más cantidad de agua en menor tiempo y a más profundidad.

Puede considerarse que hasta la llegada de la máquina de vapor, fue uno de los aparatos más utilizados debido a su economía y sencillez, que incluso hizo que durante muchos años coexistieran ambas en gran cantidad de minas.

Bombas.

Las bombas son las máquinas que con más frecuencias se utilizaban para el desagüe de una mina. A lo largo del siglo XIX, las bombas podían dividirse en tres clases, aspirantes, impelentes y aspirantes-impelentes, aunque en minería solo tenían aplicación las de primera y última clase. (Anónimo, 1866)

La más sencilla, la del tipo aspirante, consiste en un cuerpo de bomba o cilindro hueco, por el que corre un pistón que ajusta perfectamente, y que tiene un vástago por medio del cual se pone en movimiento. Para dar movimiento a este vástago, se coloca una palanca que puede ser movida por el hombre, o por alguna máquina.

Su funcionamiento se basa en el vacío que genera el pistón al subir en el cuerpo de bomba. Como el extremo inferior del cuerpo de bomba está en contacto con el agua, el vacío generado es ocupado por el agua para equilibrar la presión. Cuando el pistón baja, el agua se comprime y provoca la apertura de una válvula que deja pasar el agua a la parte superior del cuerpo de bomba para ser elevada en la próxima ascensión del pistón y evacuada por un tubo de salida colocado al efecto. Con este tipo de bombas la elevación del agua estaba limitada a unos 10 metros de altura aproximadamente, en condiciones ideales, altura a la que se equilibraban las presiones. (Ezquerro del Bayo, 1851)

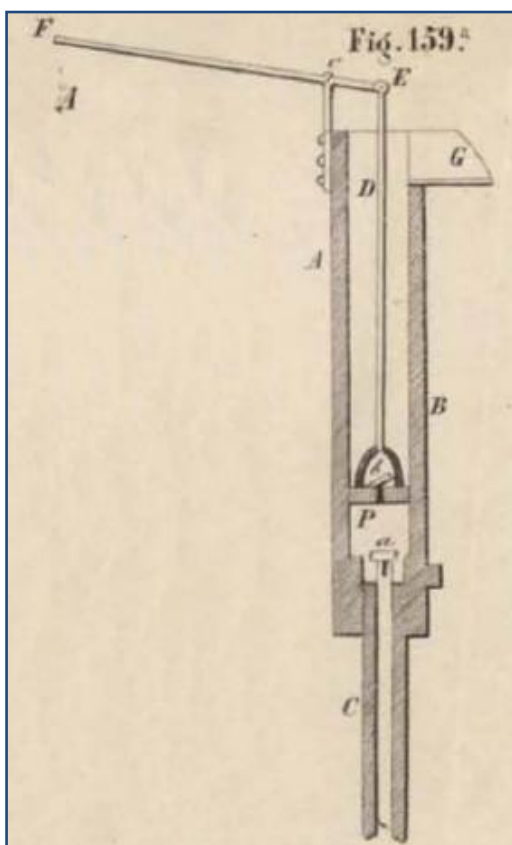


Figura 27. Bomba Aspirante.
Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

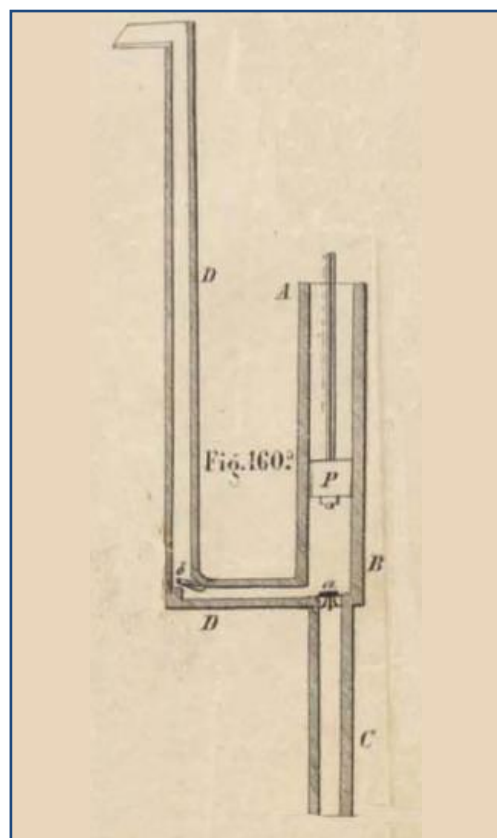


Figura 28. Bomba Aspirante Impulsora.
Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

El principio de funcionamiento de las bombas aspirantes-impelentes es similar al de las aspirantes, en este caso el pistón es totalmente macizo y no dispone de ninguna válvula. Cuando el pistón sube el agua sube por un tubo aspirante hasta el cuerpo de bomba, y cuando el pistón baja se cierra una válvula que impide la salida del agua por el tubo aspirante y es enviada por un tubo de salida que está en contacto con la parte inferior del cuerpo de bomba. La altura a la que se puede elevar el agua depende de la fuerza que impele el pistón, sobre el agua y esto dependerá del peso del pistón en sí y de la fuerza que accione la bomba.

La bomba impelente es formada por el conjunto de un cilindro, un pistón y un tubo que llega hasta el depósito de agua. Dispone de una válvula antirretorno que permite la entrada del agua al cilindro. Desde el extremo inferior del cilindro sale un tubo que llega hasta la cámara de aire. Otra válvula antirretorno permite la entrada de agua en la cámara de aire. Por la parte inferior de la cámara de aire, sale otro tubo por donde sale el agua bombeada.

Existía otro tipo de bombas aspirantes-impelentes, donde cambiaban el sentido de funcionamiento, es decir que al bajar el pistón se aspiraba el agua, y al subir el pistón el agua era impelida por el tubo de salida.

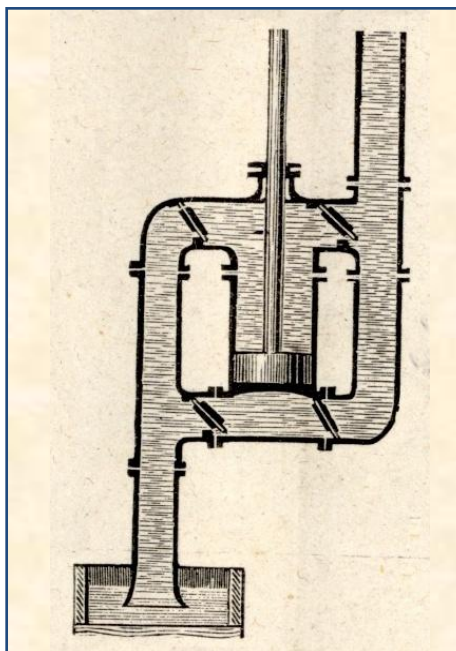


Figura 29. Bomba Aspirante Impelente Doble Efecto. Fuente: (Guillman, 1885)

Para el desagüe con bombas en el interior de la mina, se colocaban las bombas en series escalonadas. La bomba inferior toma el agua de la caldera o foso de agua de la galería, y la sube hasta un recipiente de madera de donde la siguiente bomba coge el agua, y así sucesivamente hasta la galería de desagüe o hasta la superficie según fuese necesario.

La fuerza utilizada para mover las bombas podía ser humana o animal, aunque no era poco eficaz, por lo que durante el siglo XIX se utilizaban ruedas hidráulicas y máquinas de vapor o de columnas de agua.

La utilización de una máquina y otra dependía de varios factores, para la utilización de la rueda hidráulica, o de la máquina de columna de agua, era necesario disponer de una caída de agua capaz de generar la suficiente energía potencial, además de disponer de agua en abundancia.

La máquina de vapor se generalizó principalmente en las minas de carbón, donde el bajo precio de combustible permitía utilizarlas a pesar del enorme consumo ocasionado por los primeros modelos. Los sucesivos adelantos en el diseño de la máquina de vapor, como por ejemplo, los de Cornwall (Inglaterra), disminuirían notablemente el consumo de combustible, lo que facilitó la instalación de este tipo de máquinas de forma ventajosa no sólo en las minas de carbón, sino también en otro tipo de minas. (Anónimo, 1866)

Para conectar las máquinas con las bombas, se utilizaba un tirante maestro que llegaba hasta el final del pozo y al que estaban unidas todas las varillas de los pistones de las bombas. El extremo superior de este tirante, estaba unido a un balancín que le transmite el movimiento que recibe de la máquina motriz.

Para equilibrar el peso de los tirantes, se empleaban contrapesos unidos en el extremo opuesto del balancín colocado en la superficie. Este tipo de contrapesos tenían el inconveniente de que ocupaban un gran espacio, además la imposibilidad de cambiar de peso en la marcha del recorrido. Al inicio para levantar el pistón es necesario mayor peso que en el resto del recorrido. Inconvenientes que desaparecieron con la llegada de los balancines hidráulicos, permitiendo utilizar tirantes más ligeros.

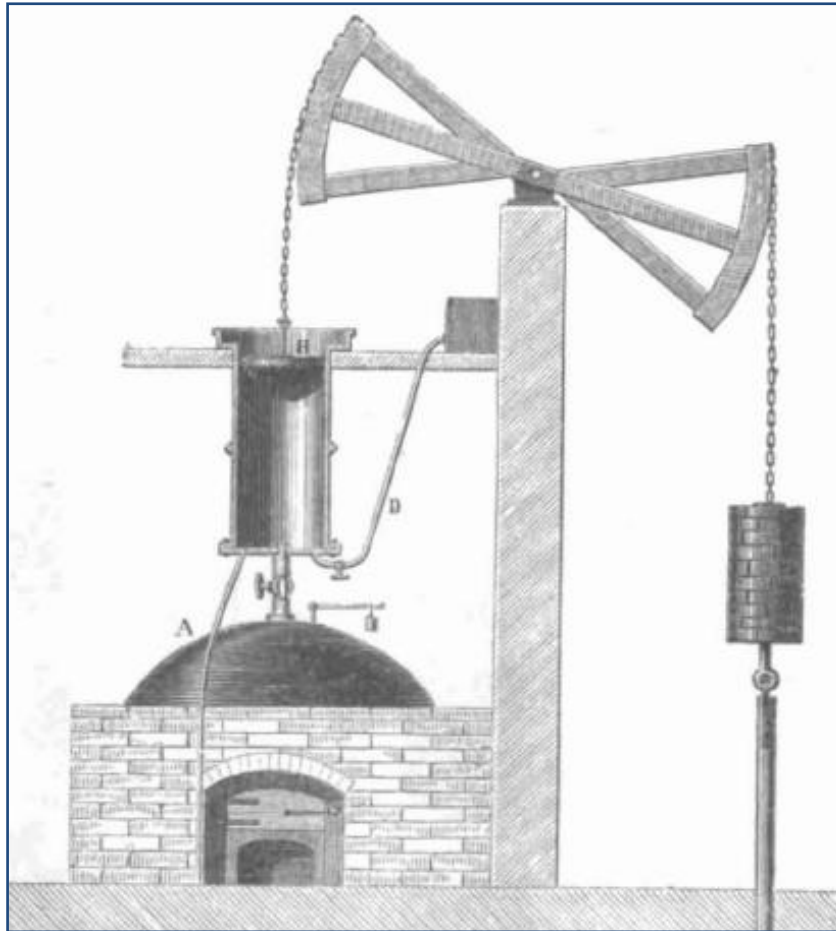


Figura 30. Máquina de vapor de Newcomen. Fuente: (Figuier, 1867)

Las últimas innovaciones importantes se produjeron a finales de siglo, con la llegada de la energía eléctrica, como por ejemplo las instalaciones eléctricas utilizadas para el desagüe de la mina de Santa Cecilia en Hiendelaencina (Guadalajara, España), comentadas en (Malo de Molina, 1891).

5.1.3.5.-Ventilación.

La ventilación de las minas subterráneas es una de las labores más importantes pues de ella dependen las condiciones de renovación del aire y oxígeno, control de la temperatura y humedad en el interior de la mina fundamentales para la seguridad y salud de los trabajadores.

Se entiende por ventilación el proceso que permite la entrada en la mina de un volumen de aire constante, que permita la respiración de los operarios, y que sea capaz de renovar el aire del interior, sacando el aire contaminado al exterior para conseguir de manera continuada una atmosfera saludable.

La renovación del aire se produce gracias a la existencia de dos puntos de contacto de las excavaciones con el exterior. Uno de ellos se utiliza para la entrada del aire, y el otro se utilizaría para la salida del aire después de haber recorrido toda la excavación.

En todos los trabajos analizados, (Anónimo, 1866; Ezquerro del Bayo, 1851; Guillman, 1885; Malo de Molina, 1891), la ventilación se clasifica en dos tipos: ventilación natural, cuando la diferencia de presión del aire provoca la circulación del mismo; y ventilación artificial, cuando para provocar la circulación del aire a través de la mina es necesaria la ayuda de algún aparato o máquina que genere una diferencia de presión.

Ventilación natural.

La ventilación natural o renovación del aire, se basa en la diferencia de temperatura y de densidad, o lo que viene a ser lo mismo de presión, entre el aire que hay en el interior de la mina con el aire del exterior.

Cuando en el interior de la mina el aire es más caliente que en el exterior, normalmente en invierno, el aire frío penetra por el socavón y el aire caliente sale en sentido ascendente por el pozo, mientras que en verano sucede al contrario, la circulación del aire se produce de forma descendente, entrando por el pozo y saliendo por el socavón.

El inconveniente de la ventilación natural es que no siempre se produce una corriente continua, debido a la presencia de inversiones térmicas que se producen al pasar del día a la noche y viceversa, llegándose en algunos casos a la paralización del sistema sobre todo en la estación de verano, donde la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior pueden ser mínimas. (Mansilla Plaza, 2011)

Para facilitar el movimiento del aire se colocan las bocas de los socavones estratégicamente, para conseguir mayores diferencias de temperatura y de nivel, incluso llegando a levantar la boca de alguno de los pozos para incrementar esa diferencia de nivel.

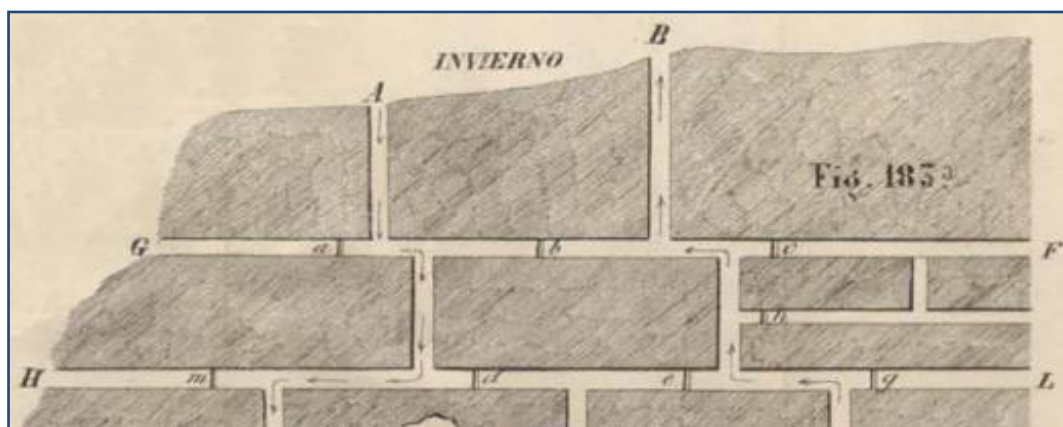


Figura 31. Ventilación natural en mina subterránea. Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

Para conseguir una buena ventilación natural es importante tener precauciones en el trazado de las galerías y frentes de trabajo, realizando las excavaciones interiores lo más rectas posibles, eliminando quiebros; creando zonas de trabajos amplias y seguir métodos ascendentes siempre que sea posible. De esta manera se conseguía mejorar la circulación del aire, además de facilitar la ventilación de los operarios.

En ocasiones en las minas solo se buscaba ventilar la zona donde se estaba trabajando, y para ello se utilizaban unos tabiques que cerraban el paso a las galerías que no se querían ventilar y que servían para guiar el aire a las zonas requeridas. (Fuentes Ferrera, 2012)

Ventilación artificial.

Cuando la ventilación natural no era suficiente, ya sea por la excesiva profundidad de las excavaciones, por la existencia abundante de gases nocivos, o simplemente porque no existía el salto térmico necesario entre el exterior y el interior, había que recurrir a la ventilación artificial.

La ventilación artificial puede realizarse de dos maneras: la primera de ellas aumentando la temperatura del aire que sale o enfriando el aire que entra, lo que se denomina *ventilación artificial sin máquinas*; y la segunda modificando la densidad del aire por medios mecánicos, bien dilatando el aire saliente a través de máquinas aspirantes, o condensando el aire entrante con máquinas soplantes, lo que se denomina *ventilación artificial con máquinas*. (Guillman, 1885)

Para conseguir un aumento de la diferencia de temperatura, se empleaban hornos de ventilación u hogares, colocados bajo tierra o en la superficie. La colocación ideal de estos hogares era en el pozo de salida, pues si se colocaba en cualquier otro punto de la mina, todos los puntos que estaban más allá de éste, se verían afectados por una corriente de aire caliente y contaminado por los gases propios de la combustión del hogar.

Los hogares solían colocarse en el interior de las minas, como sucedía en Almadén, por varios motivos: uno de ellos era porque los hornos superficiales necesitaban de grandes chimeneas de mampostería, muy costosas, y sin embargo en los interiores el pozo de extracción servía de chimenea; y el segundo motivo, es que en las minas que dispusieran de máquinas de vapor con sus hogares y chimeneas correspondientes en el exterior de los pozos, se utilizasen éstas para ponerlas en contacto con el pozo determinando un tiro que facilitaba la salida del aire, evitándose tener que construir un hogar para tal efecto.

La ventilación por medio de máquinas, denominadas ventiladores, se puede realizar de dos maneras: introduciendo el aire exterior de la atmosfera al interior de la mina por el pozo de entrada, máquinas *soplantes o impelentes*; o extrayendo el aire del interior de la mina hacia el exterior por el pozo de salida, máquinas *aspirantes*.

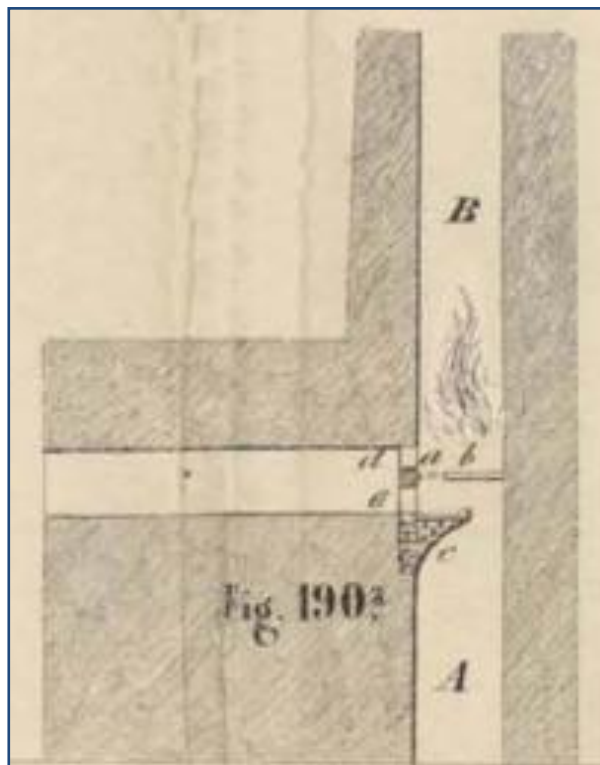


Figura 32. Ventilación Artificial con hogar interior.
Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

Malo de Molina tras analizar estas dos posibles maneras de ventilación, deducía que era más conveniente la utilización de ventiladores aspirantes, como norma general, dejando los ventiladores impelentes para zonas parciales de la excavación o para labores con una sola boca tanto para la entrada como para la salida del aire (Malo de Molina, 1891).

Aunque como solución ideal propone la utilización de ventiladores reversibles, es decir, que sean capaces de modificar su forma de trabajar de aspirante a impelente y viceversa. Pero como este tipo de máquinas era poco común, la modificación del flujo de la corriente se realizaba mediante un sistema de apertura y cierre de puertas (Malo de Molina, 1891).

Otra posible clasificación de los ventiladores es según su funcionamiento en *volumógenos*, que son aquellos que generan un volumen de aire extraído del interior de la mina, y que tras cerrar la comunicación entre la atmosfera y la mina, lo vuelve a inyectar al interior; y los *deprimógenos*, que son aquellos que generan depresión, utilizando la fuerza centrífuga para sacar el aire del interior de la mina hacia el exterior.

Durante el siglo XIX, los ventiladores deprimógenos fueron los más utilizados lo que favoreció la evolución y desarrollo de diferentes modelos, como por ejemplo el ventilador de Guibal, el de Winter, el de Ratteau o el de Mortier, entre otros.

Estas máquinas o ventiladores, podían accionarse con el mismo tipo de máquinas utilizadas tanto para la extracción como para el desagüe, pero durante el siglo XIX el uso de un cilindro de vapor que hacía girar a un eje en un mismo sentido y que transmitía su movimiento al ventilador a través de una correa fue el más generalizado hasta la llegada de la energía eléctrica.

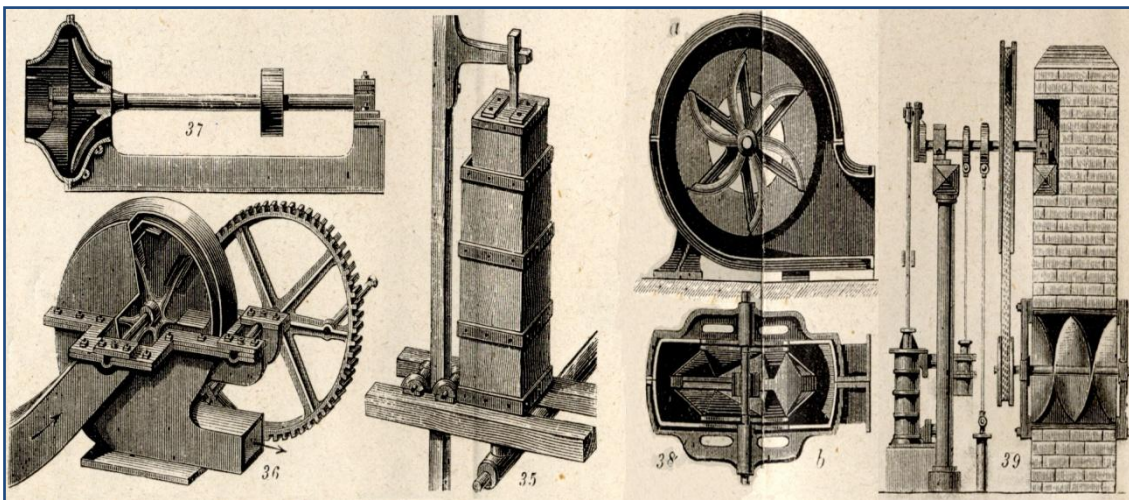


Figura 33. Aparatos para la ventilación en las minas. Fuente: (Guillman, 1885)

5.1.3.6.-Alumbrado.

En cualquier mina subterránea es necesaria la existencia de la luz artificial, porque a tan solo unos pocos metros de profundidad reina la oscuridad absoluta.

La iluminación se podía emplear de dos modos. Fija, para zonas de tránsito común como las dedicadas a las máquinas, los enganches y los cuartos de herramientas. El otro modo era portátil y se usaba en las zonas de avance de los mineros, tajos directos y para acceso a zonas donde no existía ningún tipo de alumbrado dentro de la mina.

El alumbrado portátil también debía ser ligero, de pequeño tamaño, fáciles de ubicar en cualquier punto de la labor, e inofensivo en cuanto a seguridad y salud del minero se refiere. (Ezquerro del Bayo, 1851; Malo de Molina, 1891)

Los equipos de iluminación empleados en el siglo XIX fueron teas, antorchas, velas de sebo o cera, y los candiles fabricados en hierro y hojalata con una capacidad de aceite suficiente para una jornada completa de trabajo.

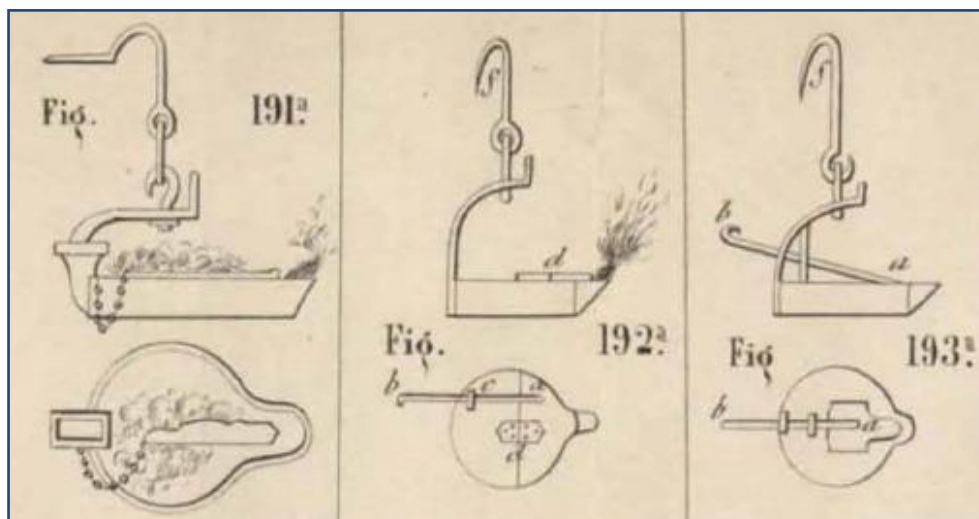


Figura 34. Tipos de candil para la iluminación en las minas.
Fuente: (Ezquerro del Bayo, 1851)

Dentro de los diferentes tipos de candiles, (Ezquerria del Bayo, 1851) identifica el de Almadén como el que mejor cumple las condiciones que debe poseer un aparato portátil de iluminación, y de ahí que su utilización se extendiera por las minas españolas, como la de Linares, Riotinto, Almería.

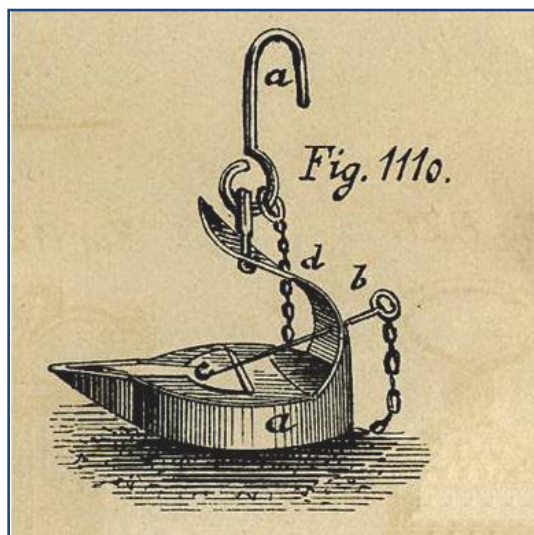


Figura 35. Candil de Minas de Almadén.
Fuente: (Malo de Molina, 1889)

En España, el combustible de los candiles era aceite de oliva, mientras que en otros países se utilizaron otros aceites, como el de ballena, el de colza, o la parafina.

El problema del uso del candil, era el peligro de explosión en las minas con riesgo de atmósferas inflamables²¹, problema que se resolvió con la lámpara de seguridad, inventada simultánea e independientemente en 1815 por G. Stephenson y H. Davy. (Guillman, 1885)

El principio de funcionamiento de esta lámpara, consistía en la separación de la llama con la atmosfera, mediante una malla o tela metálica. Esta tela metálica absorbía el calor de los gases que se quemaban en el interior de la lámpara, y de esta forma los gases que salían a través de la malla, se habían enfriado de tal forma que eran incapaces de prender la atmósfera exterior.

²¹ Hasta la aparición de la lámpara de seguridad, la única forma de poder trabajar en una mina subterránea con una atmósfera inflamable, era prender los gases antes de entrar, función encomendada a un operario protegido con un traje de cuero y conocido con el nombre de *penitente*.

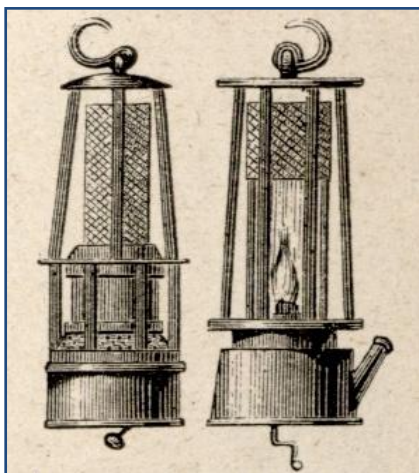


Figura 36. Lámparas de seguridad.
Fuente: (Guillman, 1885)

La rápida difusión de la lámpara de Davy por la minería europea, y los inconvenientes que presentaba, como el de dar poca luz o el de dejar pasar la llama a través de la tela en determinadas condiciones atmosféricas, provocaron la inquietud de numerosos inventores que darían lugar a una gran variedad de modelos, entre ellos: Clanny, Muesseler, Fumat.

De entre las mejoras producidas a la lámpara destacaremos la del cierre magnético, para evitar la apertura accidental en el interior de la mina, o el autoencendido que permitía volver a encenderla sin necesidad de abrirla.

A finales de siglo aparecería un nuevo artefacto para la iluminación de las minas, la lámpara de acetileno también conocida como carburo. Lámparas con un mayor rendimiento lumínico y una mayor duración de combustible que los candiles de aceite.

A pesar de la dificultad en determinar cuándo comenzó a utilizarse en la minería, (Sanchis, 2002), aporta referencias de que en 1899 comenzó a utilizarse en las minas alemanas de New Diepenhock del distrito minero de Selbeck, y de que a finales de 1900 más de 170 minas repartidas entre Alemania, Bélgica, Francia y Austria ya las estaban utilizando.

En la Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería de 1908, (Anónimo, 1908), aparece un artículo sobre el alumbrado mediante acetileno en minas, donde se da cuenta de que en las minas españolas de Ciudad Real, Huelva, Jaén y Almería también se estaba comenzando a utilizar este tipo de iluminación.

Este nuevo sistema, fue implantándose paulatinamente en la minería española a lo largo del siglo XX, y a pesar de que en la década de 1930 llegará a su máximo apogeo, también comenzaría su declive por la llegada de la luz eléctrica, que desplazará cualquier otro tipo de iluminación por ser más limpio, fiable y seguro.



Figura 37. Lámpara de Carbuero de Minas de Almadén. Fuente: Parque Minero de Almadén.

5.1.4.-Apunte sobre legislación minera española en el siglo XIX.

Se puede considerar que la legislación de minas se remonta a las “*regalías de minas*” en tiempo de Alfonso VII, aproximadamente en 1128, quien estableció en las Cortes de Nájera, que todas las minas y salinas eran del Rey y nadie podía labrarlas sin su consentimiento.

Regalías, que se iban ratificando con el paso de los años, tal y como se recoge en los reinados de Alfonso X, “El Sabio”, en su Código de las Siete Partidas y Alfonso XI, en el Ordenamiento de Alcalá del 8 de febrero de 1348. Puede considerarse que la primera Ley de Minas data de 1387, promulgada por Juan I en las Cortes de Braviesca²², (Rodríguez Ennes, 2006).

La segunda ley de minas llegaría de la mano de la Princesa Gobernadora Juana, en ausencia de Felipe II, publicada en Valladolid el 10 de enero de 1559. La ley volvía a incorporar las minas de oro, plata y azogue a la Corona y Patrimonio Real, y marcaba el modo de beneficiarlas. Posteriormente Felipe II publicaba en 1563 la Pragmática del desarrollo de la ley de 1559, sustituida en 1584 por unas Nuevas Ordenanza, (Ministerio de Fomento, 1912).

Hasta el siglo XIX el monopolio estatal sobre las explotaciones mineras, había dificultado su libre explotación y la comercialización de los productos, unido a una producción limitada y al mal estado económico de la Corona.

A comienzos del XIX, la economía española sufre una gran crisis como consecuencia de la Guerra de la Independencia y la pérdida de las colonias americanas. Por otro lado, existía una creciente demanda de materias primas en el mundo occidental lo que causa un cambio en el planteamiento del Estado frente a los recursos mineros, considerando a estos como un motor para la recuperación económica.

A lo largo de este siglo se sucederán órdenes, decretos y leyes mineras en las que se observa una evolución desde un control público hacia un control privado buscando la financiación con capital nacional o extranjero. Se diferencian así dos etapas, la que va desde 1820 hasta las décadas de 1870-1880 donde predomina la liberalización del sector y las inversiones nacionales;

²² Ley que otorgaba a las personas interesadas, la libertad para investigar, explotar y disfrutar de una mina, a cambio de un tributo equivalente al 66 % del rendimiento de la explotación.

y la segunda que va desde 1880 hasta la Guerra Civil española, donde la inversión extranjera toma el protagonismo. (Perez de Perceval, 1989)

El 4 de julio de 1825 se publica el Real Decreto, que se completa el 8 de diciembre de ese mismo año con una Instrucción que da origen a la primera Ley de Minas de la edad contemporánea.

Esta ley es un extracto de las Ordenanzas de Felipe II de 1584, con algunas modificaciones como el aumento de las superficies de las pertenencias, limitar el número de pertenencias que se podían adquirir, organizar el Cuerpo de Ingenieros-Inspectores; además de clarificar el complicado entramado legislativo vigente hasta la fecha.

Aunque la ley no tiene un carácter liberalizador, se terminaría con el monopolio generalizado del estado sobre el sector, aunque se sigue reservando las explotaciones de Almadén, Arrayanes, Linares y Rio Tinto.

A medida que iba aumentando la demanda de minerales durante el siglo XIX, se siguieron sucediendo algunas disposiciones como las leyes de minas de 1849, 1859 y 1868 con el fin de liberalizar el sector progresivamente.

Los tres principios básicos en los que se basaba la Ley de Bases del 68, son: *“facilidad para conceder, seguridad en la posesión y deslinde claro y preciso entre el suelo y el subsuelo”*. Principios que favorecieron la entrada de capital extranjero, junto con la necesidad de privatización del estado para subsanar el desastroso estado de la Hacienda española.

A raíz de esta ley se produjeron varias operaciones de importancia para el Estado con el único fin de la búsqueda de financiación, como el arrendamiento de las minas de Almadén junto con las salinas de Torre Vieja, el 24 de noviembre de 1869 por un periodo de treinta años a la casa Rothschild, y la venta de las explotaciones de cobre de Riotinto, el 17 de diciembre de 1873 a la casa Matheson, (Serra, 2000).

EVOLUCION LEGISLATIVA DEL RAMO DE MINAS	
FECHA	LEGISLACIÓN
1128	Fuero de Nájera (1ª Disposición que trata de las minas. ²³ Incluidas en el Ordenamiento de 1348)
1138	Fuero Viejo de Castilla (Disposición que contiene una declaración de dominio real sobre las riquezas mineras)
1256-1265	Siete Partidas Alfonso X “El Sabio” (En materia de minas sólo hace referencia en 2 partidas: Partida II-Título XV-Ley V; Partida III-Título XXVIII-Ley II)
08-II-1348	Ordenamiento de Alcalá
1387	Ley de Minas de D. Juan I (U Ordenanzas de Braviesca. Puede considerarse la 1ª Ley de Minas española)
10-I-1559	Ley de Minas de la Princesa Gobernadora Juana
1563	Pragmáticas de Felipe II
1584	Ordenanzas de Felipe II
22-V-1783	Ordenanzas para la dirección, régimen y gobierno del importante Cuerpo de la Minería de Nueva España
3-XI-1817	Real Orden para el desestanco del plomo
25-X-1820	Orden para que puedan beneficiarse por particulares todo tipo de minas
22-VI-1822	Real Decreto que establece los requisitos para que todo español o extranjero pueda explotar y beneficiar una mina.
20-II-1825	Real Orden para estimular la extracción y la investigación minera.
4-VII-1825	Real Decreto Ley (1ª Ley de Minas de la Edad Contemporánea)
8-XII-1825	Real Orden (Instrucción para el desarrollo de la Ley de Minas de 1825)
11-IV-1849	Ley de Minas
19-VII-1849	Ley de Sociedades Especiales Mineras
31-VII-1849	Real Decreto (Reglamento que desarrolla la Ley de Minas de 1849)
6-VII-1859	Ley de Minas
5-X-1859	Real Decreto (Reglamento que desarrolla la Ley de Minas de 1859)
3-VIII-1866	Ley de Aguas
4-III-1868	Ley de Minas
24-VI-1868	Real Decreto (Reglamento que desarrolla la Ley de Minas de 1868)
29-XII-1868	Decreto Ley de Bases (Ley Contemporánea con mayor vigencia)
13-VI-1879	Ley de Aguas
1-VIII-1889	Ley de Desagüe de Minas
15-VII-1897	Reglamento de Policía Minera
16-VI-1905	Real Decreto (Reglamento que desarrolla la Ley de Bases de 1868)
28-I-1910	Reglamento de Policía Minera
23-VIII-1934	Reglamento de Policía Minera
7-VI-1938	Ley sobre los títulos de propiedad y la participación extranjera
23-IX-1939	Ley sobre clasificación de las sustancias minerales
19-VII-1944	Ley de Minas
9-VIII-1946	Real Decreto (Reglamento que desarrolla la Ley de Minas de 1944)
21-VII-1973	Ley de Minas
25-VIII-1978	Real Decreto (Reglamento que desarrolla la Ley de Minas de 1973)
5-XI-1980	Ley 54/1980 del 5 de Noviembre, que modifica la Ley de Minas de 1973, con especial atención a los recursos minerales energéticos

Tabla 6. Resumen evolución legislativa. Fuente: Elaboración propia y (Fuentes Ferrera, 2012)

²³(Farías Dúran, 2003), data esta disposición en 1076, pero no se le daría vigor de ley hasta 1128.

Un aspecto importante a destacar, dispuesto en su artículo 29, fue la obligación de crear un Reglamento de Policía Minera para establecer los derechos y deberes de los mineros, así como las obligaciones de la Administración. Fue publicado el 16 de julio de 1897 y estuvo vigente hasta la publicación de un nuevo Reglamento en 1910 que a su vez sería sustituido en 1934 por otro nuevo Reglamento.

Esta Ley de 1868, promulgada de forma provisional²⁴, sería sin duda la más decisiva para la minería española, con una vigencia total de 76 años, hasta la publicación de la Ley de Minas del 19 de Julio de 1944.

A pesar de las numerosas disposiciones publicadas durante el siglo XIX, en ninguna aparece nada referente a las máquinas de vapor a pesar de su importancia y no sería hasta 1897, con el reglamento de policía minera, cuando se estableciesen unas normas para la instalación de este tipo de máquinas.

Con el fin de prevenir accidentes relacionados en el empleo de las máquinas de vapor, en muchos de los casos causados la mayoría de las veces por la falta de conocimiento, diversos autores como (De Aldana, 1854; De Quintana, 1861; Rúa Figueroa, 1857), exponen en sus trabajos la necesidad de una legislación que regule la recepción e instalación de este tipo de máquinas, como ya se venía haciendo en Francia desde la ordenanza del 22 de mayo de 1843²⁵.

A modo de ejemplo algunos de los artículos de la ordenanza francesa exponían lo siguiente:

“Art.46: Las máquinas de vapor de colocación fija en las minas se hallarán provistas de los aparatos de seguridad prescritos en la presente ordenanza para las máquinas fijas, ... No podrán establecerse sin una autorización del Prefecto concedida a consecuencia de informe de los ingenieros de minas... “

²⁴ Su reglamento sería aprobado con un Real Decreto el 16 de Julio de 1905.

²⁵ Ordenanza modificada con la ley del 21 de julio de 1856 y posteriormente con el decreto del 25 de junio de 1865. (Vidal, 1865)

“Art.61: Los ingenieros de minas, y a falta de estos, los de puentes y calzadas están encargados bajo la autoridad de los Prefectos, de la vigilancia sobre las máquinas y calderas de vapor.”

“Art.63: Los mismo ingenieros se aseguraran, por lo menos una vez al año, y más a menudo cuando reciben orden del Prefecto de que todas las condiciones de seguridad prescritas se observan exactamente....”

“Art.68: Cuando una caldera de vapor fuese alimentada por aguas que tengan la propiedad de atacar de un modo notable el metal de esta caldera, la tensión interior de la materia no deberá exceder de atmósfera y media, y la carga de las válvulas se arreglará en su consecuencia...”

Desgraciadamente en España no se elaboró ninguna reglamentación con este detalle, lo más parecido fue una disposición elaborada por el ayuntamiento de Barcelona en 1835, para la instalación de maquinas de vapor en su ciudad, (V.V.A.A., 1835). En lo que respecta a la minería, no fue hasta la publicación del Reglamento de Policía Minera de 1897, estructurada en 8 artículos y dentro del apartado A, del capítulo XVIII se especificara la obligación de informar sobre los generadores de vapor de que se disponga en cualquier establecimiento minero; a realizar una prueba de seguridad antes de la instalación de una nueva caldera para verificar a que presión puede trabajar; y fija la obligación que en las inspecciones de los ingenieros se revisen estas máquinas y componentes para dar su conformidad, o en caso contrario obligar a su reparación o sustitución en el momento de la visita.

Con relación a los accesorios que debe de tener una caldera, se fija la obligación de que se instalen manómetros, válvulas de seguridad, válvula de interceptación del vapor e indicadores del nivel del agua.

Debido al riesgo de explosión que tienen las calderas, también se delimitaba su lugar de emplazamiento, exigiendo que se coloquen aisladas de cualquier muro del edificio y que no se coloque sobre ellas ninguna habitación independientemente del uso de la misma.

En los sucesivos reglamentos que se aprobaron en los años 1910 y 1934, los apartados reservados a los generadores y máquinas de vapor

prácticamente eran iguales, limitándose a explicar de diferente forma su contenido.

Aunque pueda sorprender que durante el siglo XIX no se legislase reglamentación²⁶ referente a las máquinas de vapor, similar a la existente en Francia²⁷, se podría pensar que una legislación más restrictiva habría supuesto un freno a la entrada de capital extranjero, necesario para sanear las arcas del Estado. Las empresas extranjeras no sólo buscaban los recursos minerales, también una legislación laboral y de seguridad más laxa, menor presión fiscal y bajo coste de la mano de obra, exactamente igual que en el momento actual.

²⁶ Lo más parecido a una reglamentación acorde con las máquinas de vapor, es un reglamento municipal para el establecimiento de las máquinas en la ciudad de Barcelona publicado el 7 de Julio de 1835. Pero nada tiene que ver con la legislación del ramo de minas.

²⁷ Durante el siglo XIX en Francia se publicarían más de 50 disposiciones legislativas sobre las máquinas de vapor.

5.2.-La tecnología del vapor en el siglo XIX.

5.2.1.-Breve historia de la máquina de vapor.

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 la de generación de electricidad. Esta transformación se consigue mediante la expansión del vapor y su enfriamiento dentro de un cilindro equipado con un pistón móvil. El vapor empleado se genera en una caldera o depósito cerrado con agua que se calienta por medio de una llama o fuego, hasta que se produce vapor. De aquí que durante muchos años se conociese con el nombre de “*máquina o bomba de fuego*”.

La llegada de la máquina de vapor supone la sustitución de la fuerza humana y animal por este tipo de energía para generar el movimiento. Sus numerosas aplicaciones la convirtieron en el elemento más emblemático de la Revolución Industrial.

Los primeros antecedentes históricos sobre la utilización del vapor para generar movimiento se remontan a la antigua Grecia. Herón de Alejandría²⁸ en el siglo II a.C. menciona en un manuscrito²⁹ el empleo de un artilugio capaz de utilizar la fuerza del vapor para abrir y cerrar las puertas del Templo con un fuego encendido en su altar. Otro invento mencionado por Herón fue una turbina de vapor conocida como Eolipila de Herón, siendo el primer intento de usar el vapor para la generación de movimiento. (Müller, 2004)

Lo que no podemos saber, es si estos inventos fueron del propio Herón, pues en su obra indicaba que su intención era recopilar las máquinas ya conocidas y las inventadas por él. De todas formas estos aparatos no han sido considerados más que simples artilugios o juegos, por carecer de una aplicación práctica, e incluso alguno de ellos probablemente no pasaron de ser un simple boceto impreso. (Gay & DAVIS, 2006; Thurston, 1886)

²⁸ Posiblemente discípulo de Ctesibio, célebre mecánico al que se le atribuye la invención de la bomba aspirante-impelente.

²⁹ En su obra “*Spiritualia seu Pneumatica*”: “*The Pneumatics Of Herón Of Alexandria*” traducida por Bennet Woodcroft (London, 1851)

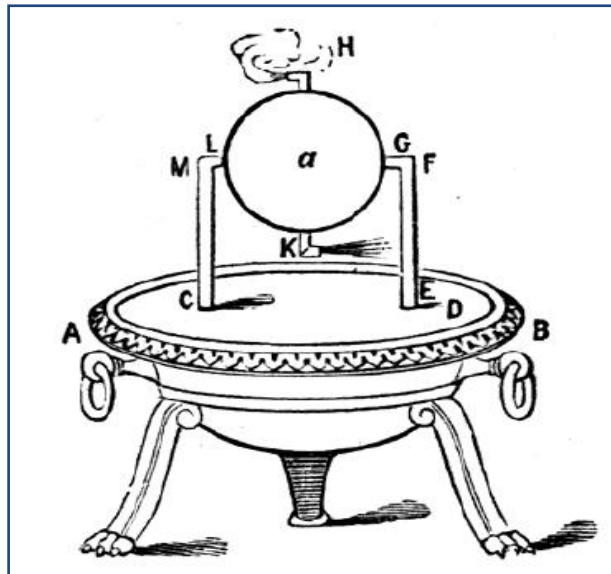


Figura 38. Máquina de Vapor de Herón de Alejandría.
Fuente: (Thurston, 1886)

No aparecen evidencias de utilización de la fuerza del vapor hasta el siglo XVI. (Thurston, 1886) Menciona que existen pistas de que el conocimiento del vapor no se perdió durante tantos años, y que la laguna temporal existente sobre los orígenes de la fuerza del vapor puede deberse a la falta de interés mostrada por los historiadores de la época.

Se puede decir que esta falta de interés podría estar producida por no haberse encontrado ninguna aplicación realmente útil para el ser humano, ya que una vez demostrada su utilidad, fue uno de los descubrimientos más útiles del mundo incrementándose el interés por buscar los orígenes de la máquina y al verdadero artífice del invento.

Durante muchos años se pensó que la máquina de vapor tuvo su origen en Inglaterra, pero el Doctor en Historia e Ingeniero Nicolás García Tapia, demuestra que el verdadero inventor fue el navarro Jerónimo de Ayanz. (García Tapia, 1987, 1992, 1993, 2001; García Tapia & Carrillo Castillo, 2002)

Antes de hablar de Ayanz, se va a realizar un breve repaso de otros nombres propios relacionados con el origen de la máquina de vapor, aunque no hayan sido más que vagas especulaciones, que sirven para resaltar aún más el descubrimiento del español Ayanz.

Siguiendo un orden cronológico el primero es Blasco de Garay, natural de Toledo, a quien de forma equivocada, Martín Fernández Navarrete le atribuye la creación de un barco movido por vapor ensayado el 17 de Junio de 1543 en el puerto de Barcelona, basándose en una carta de Tomás González, director del Archivo General de Simancas en 1825. (V.V.A.A., 1837)

Unos estudios posteriores de Modesto Lafuente, demuestran que el barco se movía por la fuerza humana a través de unas paletas giratorias. (García Tapia, 1994) Aclara que la confusión pudo generarse con otro de los inventos de Garay, una caldera donde se hervía el agua salada del mar, para condensarla en agua dulce, y que la prueba se realizó sobre un barco. De ahí que se pensase que dicha caldera fuese la máquina de vapor que movía el barco.

En 1601, la obra de Giovanni Battista della Porta titulada “*De Pneumaticorum*”, traducida al italiano en 1606 “*Spiritali*”, aparece la descripción³⁰ de una máquina que sirve para comprobar la cantidad de vapor que puede generarse con un volumen determinado de agua. También menciona que conocía los secretos para elevar el agua de varias formas, de los cuales no deja constancia alguna.

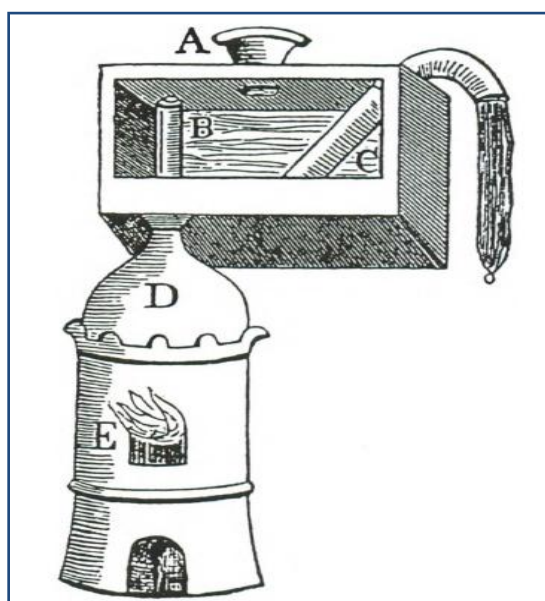


Figura 39. Experimento con vapor de Juan Escrivá. Fuente: (García Tapia, 1994)

³⁰ En el Libro III, Capítulo VII, escrito por Juan Escrivá. (García Tapia, 1994)

En el 1606, Ayanz consigue el privilegio de patente a través de una Real Cédula para más de cincuenta invenciones, tratándose de la primera patente, de muchas máquinas, que se pensaban fueron inventadas en la Revolución Industrial inglesa. Cabe destacar que la mayoría de sus invenciones no solo fueron un simple boceto, consiguió poner en práctica la mayoría de ellas de ahí que se le comparé con el gran Leonardo Da Vinci.

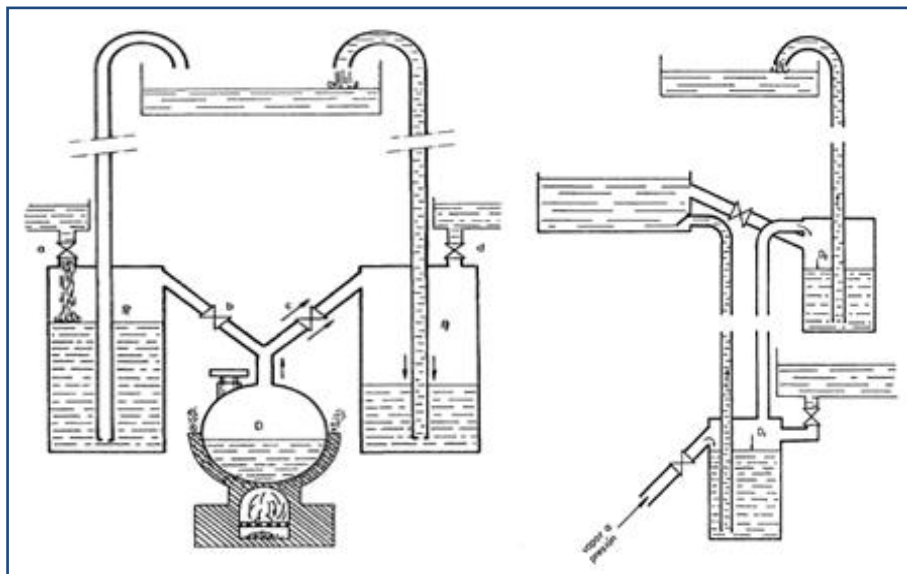


Figura 40. Máquina de vapor de Jerónimo de Ayanz.
Fuente: (García Tapia, 1994)

Entre estas invenciones se encuentra la que puede considerarse la primera máquina de vapor. Esta máquina se piensa que se puso en funcionamiento en el desagüe de las minas de plata de Guadalcanal³¹, ya que alrededor del año 1611 el propio Ayanz creó una compañía para su explotación después de que llevará varios años sin actividad ante la imposibilidad de su desagüe. Otros datos que corroborarían su utilización serían la solicitud de tener a su disposición la leña de los bosques cercanos y el alto consumo de cobre de una mina cercana. Pero el secretismo con el que se realizaron los trabajos, no ha permitido encontrar documentación que deje constancia de los resultados obtenidos, pero no cabe duda que consiguió extraer el agua de los pozos y ser capaz de obtener plata de sus vetas. (García Tapia, 1993, 2004).

³¹ Véase (Esparza, 2008) y (Vélez, 2011)

Esta máquina estaba compuesta por una caldera con forma de esfera, conectada a dos depósitos de agua cerrados a los que entraba el vapor a presión a través de válvulas e impulsando hacia arriba el agua de los depósitos. Este funcionamiento es muy similar al de la bomba de Savery inventada en 1698. (Helguera Quijada & Torrejón Chaves, 2001)

Además de ser un gran inventor, Jerónimo de Ayanz fue administrador general de las minas españolas durante un periodo de 7 años, desde 1597 hasta 1604. Durante este periodo realizó un estudio en el que puso de manifiesto los problemas de la minería de la época, entre los que destacaba la utilización de maquinaria rudimentaria, métodos de explotación incorrectos y un gran desconocimiento de los métodos de desagüe.

Además de Ayanz, otros inventores fueron considerados precursores de la máquina de vapor. Tal es el caso del francés Salomón de Caus que en su obra "*Les raisons des forces mouvantes*" (1625), describe un artificio que consistía en una bola de cobre hueca provista de un respiradero y de un tubo que va desde casi el fondo de la bola hasta el exterior. La bola se llenaba de agua a través del respiradero, para posteriormente calentarla consiguiendo que por medio de la fuerza del vapor el agua se elevara hacia el exterior por el tubo. A pesar de carecer de utilidad práctica y poder considerarse otra versión de la Eolipila de Herón, varios escritores franceses entre los que destaca el señor Montgery Arago³², insistían en manifestar que Caus era el precursor de la máquina de vapor. (V.V.A.A., 1837)

³² Noticia científica sobre la invención de las máquinas de vapor publicada en el "*Annuaire pour l'an 1837*"

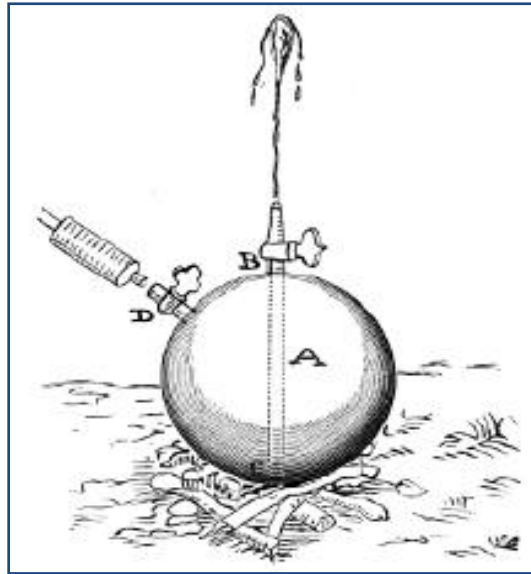


Figura 41. Aparato de vapor de Salomón de Caus. Fuente: (Thurston, 1886)

En 1629, el italiano Giovanni Branca muestra otra máquina de vapor en su obra “Le Machine”, en 1629. La máquina consistía en una caldera con forma de cabeza humana que despedía el vapor por la boca en dirección a los álabes de una rueda horizontal que hacía girar, y que a su vez movía un conjunto de mecanismos con la finalidad de subir y bajar unos mazos. Aunque puede considerarse como un precedente de la turbina de impulsión, esta máquina no sería más que una mera especulación por la imposibilidad de hacerla funcionar tal y como estaba diseñada. (García Tapia, 1994)

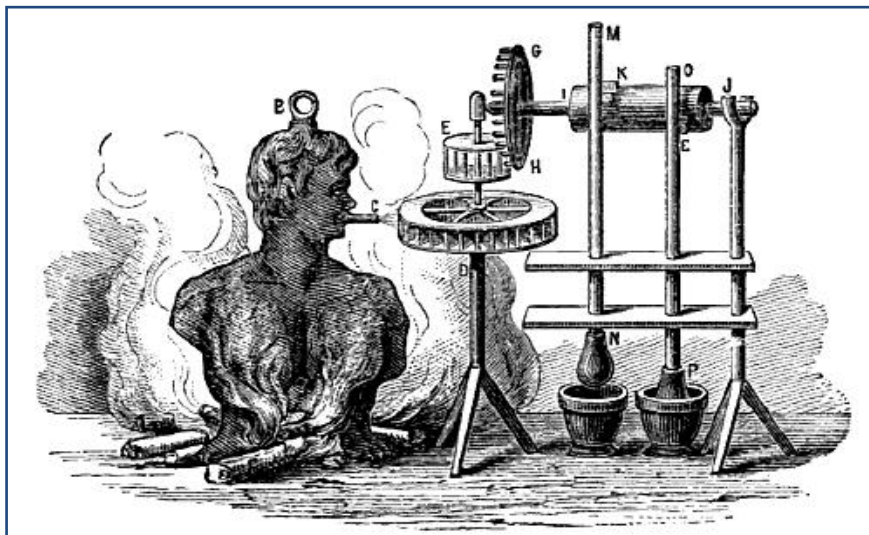


Figura 42. Máquina de vapor de Giovanni Branca. Fuente: (Thurston, 1886)

En 1630 aparece otra patente concedida a David Ramsey por Carlos I de Inglaterra, por diversas invenciones relacionadas con la utilización del vapor. Entre ellas se menciona un invento para elevar agua por medio del fuego, aunque sin descripción del mismo, lo que no permite determinar si se trataba o no de una verdadera máquina de vapor.

En 1663 Edward Somerset en su libro *“A Century of the Names and Scantlings of such Inventions”*³³ incluye una descripción de un método para elevar agua por medio de una máquina de vapor, algo difícil de interpretar por carecer de imágenes de la misma (Tredgold, 1831). El método consistía en calentar un recipiente que lleno en sus tres cuartas partes con agua y conectado a otros dos depósitos a los que asciende el agua, por medio del empuje del vapor de forma alterna mediante unas válvulas manejadas por el maquinista. Algunos historiadores, como Dircks, el biógrafo del inventor, sugieren que esta máquina pudo instalarse en el castillo Gales de Ranglan, basándose en los huecos existentes en uno de sus muros. (García Tapia, 2004)

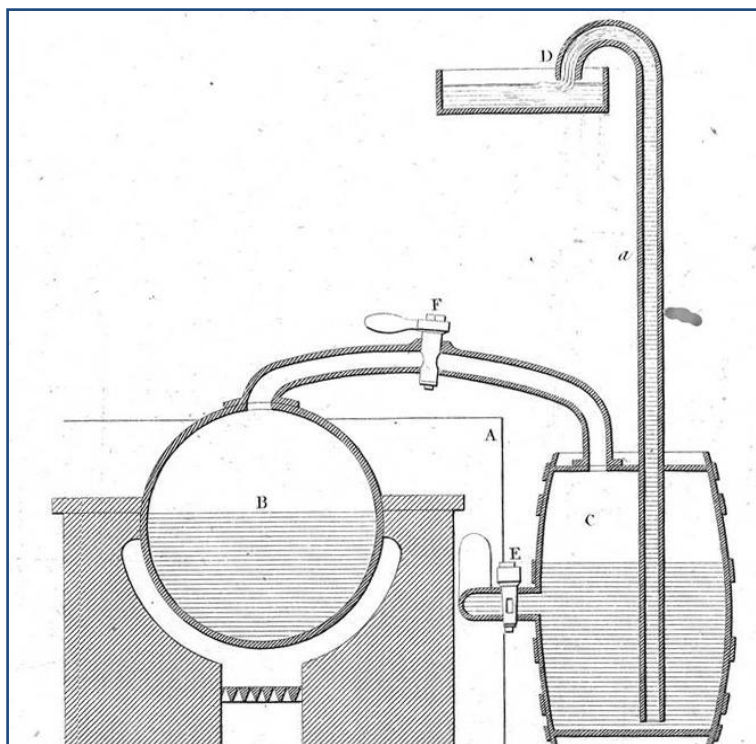


Figura 43. Máquina de vapor de Edward Somerset, marqués de Worcester. Fuente: (Thurston, 1886)

³³ Invento n° 68: “LXVIII-Bomba de Fuego”

Otro caso en el que tampoco se encuentra descripción del invento en sí, es el de Samuel Morland, que en 1682 inventa un método para elevar agua muy similar al de Edward Somerset. Lo que sí dejó claro en su manuscrito titulado *“Principios de una nueva fuerza de fuego, inventados por el caballero Morland en 1682, y presentados a S.M. Cristianísima en 1683”*, es que poseía altos conocimientos sobre la “fuerza del vapor”. (Thurston, 1886)

En el año 1690 el físico francés Dionisio Papín, realiza unos estudios³⁴ en los que comprueba que al introducir y condensar vapor de agua en el interior de un cilindro en el que está albergado un émbolo en el que en su cara superior está a la presión atmosférica, se produce un movimiento alternativo de subida y bajada a medida que se produce la entrada del vapor y su condensación. Sin embargo, la propuesta de Papín no era aplicable a una máquina útil, ya que el propio cilindro ejercía de caldera y para conseguir el movimiento del émbolo era necesario disponer de la fuente de calor bajo el propio cilindro para calentar el agua de su interior y generar el vapor que elevaba el émbolo. A continuación, resultaba necesario retirar la fuente de calor para enfriar el cilindro y de esta forma condensar el vapor y generar un vacío para que se produzca el descenso del émbolo por el efecto de la presión atmosférica.

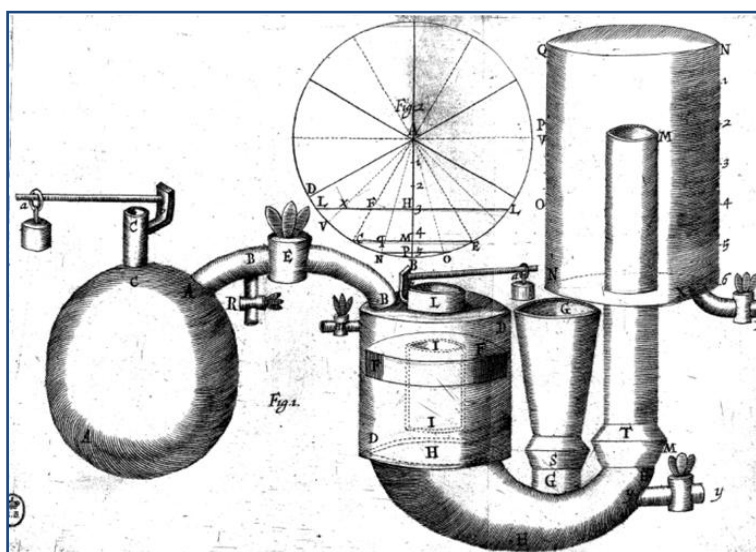


Figura 44. Máquina de vapor de Dionisio Papín.
Fuente: (Papín, 1707)

³⁴ En 1690 publico su primer trabajo en latín, *“Fasciculus dissertationum de novis quibusdam machinis atque aliis argumentis philosophicis quorum seriem versa pagina exhibet”*.

En 1698 Thomas Savery, ingeniero militar patenta una máquina de vapor³⁵ para bombear el agua de las minas en base a las diferencias de presión que existían entre el cilindro y el fondo de la mina. Las mejoras de esta máquina con respecto a las anteriores consistían en lograr la condensación en el vaso por la acción de la lluvia interna y la aplicación del frío exterior y por un sistema para alimentar a la caldera con agua caliente en lugar de con agua fría. Equipó además la caldera con una válvula de seguridad para evitar accidentes, copia de lo que Papín había inventado para su olla.

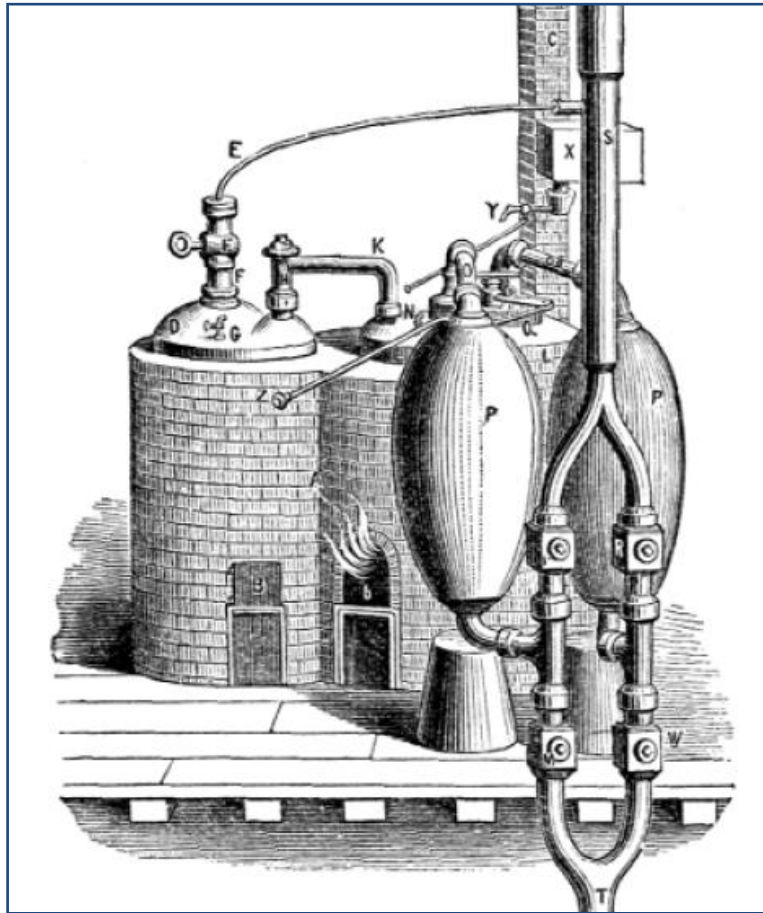


Figura 45. Máquina de vapor de Thomas Savery.
Fuente: (Tredgold, 1831)

³⁵ Máquina descrita en un folleto publicado en 1699 con el título “El Amigo del Minero”, y que posteriormente fue editado en Londres, en 1702 por S. Crouch, como reclamo publicitario de su invento para repartirlo entre los propietarios y gerentes de las minas.

Esta máquina presentaba algunos problemas, como su limitación en elevación de agua a 12 metros, a no ser que se aumentase peligrosamente la presión del vapor con el riesgo de explosión de la caldera lo que no a hacía idónea para su trabajo en el desagüe de minas; o la necesidad de que el proceso de enfriamiento y condensación del vapor se realizase en cada operación, con la consiguiente pérdida de vapor que ello generaba. (Güémez, 2004)

En 1707, Papín, construirá una máquina de este género, aunque de acuerdo a un principio algo diferente, colocándola en un barco con ruedas, pero al llegar a Inglaterra fue destruida por lo que finalmente no se registró ninguna patente a favor de Papín. (Figuier, 1867)



Figura 46. Los barqueros del Weser destrozan el barco de vapor de Papín.
Fuente: (Figuier, 1867)

Se comprueba el aumento de interés de los investigadores a lo largo del siglo XVIII por conseguir resolver el problema de la elevación de agua mediante la utilización de la energía del vapor.

Según (Tredgold, 1831), el rendimiento producido por la máquina de Savery era muy superior al de la máquina de Edward Somerset, y aunque con ligeras diferencias, esta máquina era muy similar a la ya patentada por Jerónimo de Ayanz. Lo que engrandece aún más los logros de Ayanz, pues prácticamente un siglo después los avances tecnológicos de la máquina de vapor, estaban en el mismo punto que los había dejado el ilustre español. (García Tapia, 2004)

A comienzos de 1700, Thomas Newcomen herrero de Dartmouth, Inglaterra, asociado con John Calley y con Savery que aún poseía los derechos de patente, obtendrá en 1705 los derechos de patente de una máquina de vapor atmosférica, también conocida como máquina o bomba de fuego. Esta nueva máquina funcionaba con presiones de trabajo más pequeñas y la caldera era un elemento independiente de la máquina en sí.

La máquina estaba compuesta por una caldera para generar vapor, de un cilindro vertical con su émbolo o pistón, un brazo o balancín, un contrapeso y diferentes dispositivos que permitían su funcionamiento que se puede resumir del siguiente modo: el vapor entra en el cilindro por su parte inferior y desplaza el émbolo empujándolo hacia a la parte superior con la ayuda de un contrapeso colocado en el lado opuesto del balancín. En ese instante, mediante unas válvulas se cerraba la entrada de vapor y se dejaba entrar el agua fría al cilindro provocando el enfriamiento del vapor y su condensación y el vacío que hacía volver al pistón a su punto inferior para equilibrar la presión atmosférica. Un balancín, conectado al pistón por un extremo y por el otro a un contrapeso y al vástago que accionaba la bomba.

En el año 1712 esta máquina estaba funcionando a pleno rendimiento en muchas minas inglesas realizando las operaciones de desagüe, abasteciendo de agua a algunas ciudades o facilitando las tareas de regadío en agricultura. Era una máquina tan robusta que algunas de ellas se siguieron utilizando hasta el siglo XIX, a pesar de haber sido superada técnicamente por otros modelos. (Tredgold, 1831)

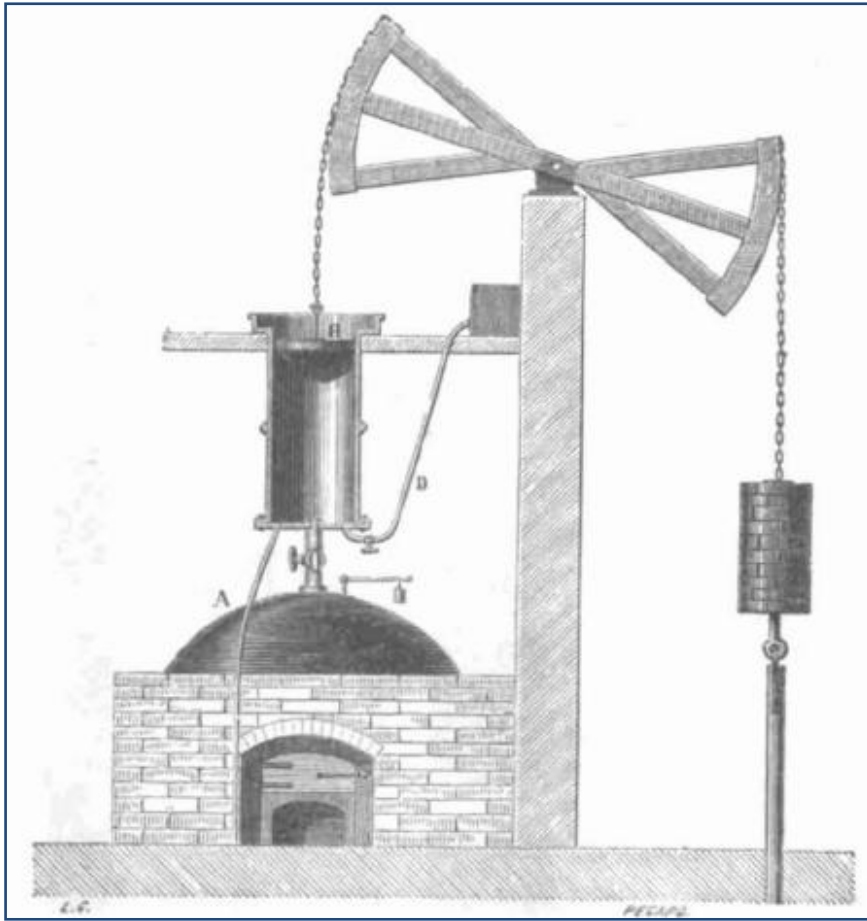


Figura 47. Máquina de vapor de Newcomen. Fuente: (Figuier, 1867)

El éxito de esta máquina de Newcomen atrajo la atención de mecánicos y hombres de ciencias que efectuaron estudios sobre ella con el fin de mejorarla. Tal es el caso de Enrique Beighton, 1717; Jonathan Hulls, 1736; Juan Payne, 1741; Francisco Blake, 1751; Juan Smeaton, 1765, que analizaron las proporciones de los elementos y determinaron las fuerzas de las máquinas e incluso alguno de ellos llegaron a implementar modificaciones. A pesar de que estas consiguieron mejorar su eficiencia, todas ellas serían desplazadas por la máquina de Watt.

APORTACIONES A LA MÁQUINA DE VAPOR ATMOSFÉRICA DE NEWCOMEN		
AÑO	MECÁNICO	MEJORA
1717	ENRIQUE BEIGHTON	Mejora la disposición de las partes que componen la máquina y el mecanismo de abrir y cerrar válvulas. Establece reglas para el cálculo de la fuerza de las máquinas. Publica en 1717, tablas de dimensiones y potencias.
1736	JONANTHAN HULLS	Aplica la máquina de vapor atmosférica a la navegación. El 21 de Diciembre de 1736 obtuvo patente del barco de vapor.
1741	JUAN PAYNE	Primera experiencia para determinar la densidad del vapor. Ensayos de nuevos métodos para la producción de vapor.
1751	FRANCISCO BLAKE	Realiza una memoria sobre las proporciones de los cilindros de las máquinas de vapor.
1758	KEANE FITZGERALD	Propone economizar combustible agitando el agua en la caldera para facilitar la evaporación.
1765	JUAN SMEATON	Perfeccionó la construcción y las proporciones de las máquinas de vapor. Diseña la primera máquina de vapor portátil.

Tabla 7. Aportaciones a la máquina de vapor de Newcomen. Fuente: (Tredgold, 1831)

A pesar de las diferentes mejoras introducidas, la máquina de Newcomen seguía presentando el problema del excesivo consumo de combustible comparado con el trabajo capaz de realizar. Problema ocasionado por las grandes pérdidas de calor generadas en el proceso de condensación del vapor en el interior del cilindro.

No será hasta el año 1769 cuando James Watt consigue mejorar la máquina de vapor al incorporar un condensador que permitía que al producirse la condensación fuera del cilindro este mantenga la temperatura, un ritmo de trabajo superior, mayor rendimiento y un ahorro de combustible próximo a las tres cuartas partes del combustible empleado por la máquina de Newcomen.

La primera máquina experimental de Watt se construye gracias a la financiación de John Roebuck, con el que compartió los derechos de la patente del año 1769 por su *“método de disminuir el consumo de vapor, y por consiguiente el gasto de combustible, en las máquinas de fuego”*.

La principal mejora de este método era la de condensar el vapor en un vaso separado, y la utilización de una bomba para lograr una buena evacuación del agua y del vapor del condensador. Para un correcto funcionamiento del mecanismo era necesario mantener el cilindro a la misma temperatura que el vapor y tener el condensador lo más frío posible. Esto lo conseguía colocando una caja de madera que envolvía al cilindro y haciendo circular vapor entre sus paredes y por otro lado manteniendo el condensador

sumergido en agua fría. Otro detalle que se recoge en la patente es la utilización de ceras, aceites, cuerpos resinosos e incluso hasta mercurio (Thurston, 1886), para evitar pérdidas de vapor en lugar de agua para el sellado de las juntas del émbolo y otras juntas de la máquina.

Por problemas económicos, Roebuck tuvo que vender sus derechos de patente y Watt buscó financiación en su unión con Mathew Boulton. Realizaron nuevas modificaciones y perfeccionamientos sobre la primera máquina bajo la firma Boulton&Watt.

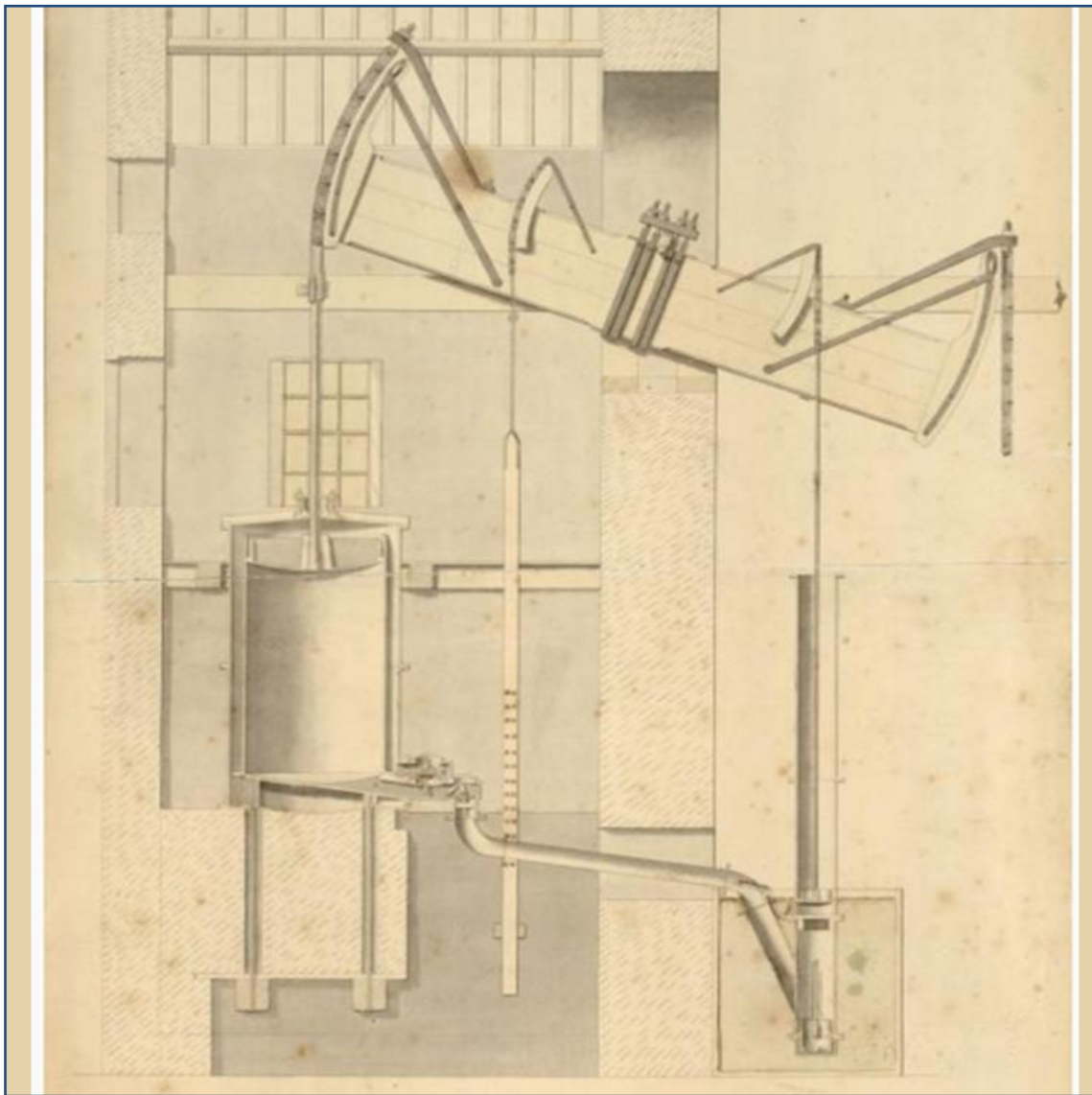


Figura 48. Máquina de vapor de Boulton & Watt. Mina de carbón de Hawkesbury, Bedworth. 1776.
Fuente: <https://www.search.birminghamimages.org.uk>. 01/12/2015

Watt, también recurrió a la colaboración de John Wilkinson para la fabricación de los cilindros de sus máquinas. Este disponía de una perforadora para taladrar y rectificar cañones con alta precisión que también servía para barrenar cilindros y conseguir un ajuste preciso con el émbolo sin fugas. Esta circunstancia haría que Wilkinson se convirtiese en un hombre importante en la historia de la máquina de vapor, fabricando multitud de piezas de las máquinas, que Boulton&Watt comercializaban en las industrias inglesas, y que con el paso de los años se extenderían por todo el mundo. (Poveda Ramos, 2001) (Cunningham, 2009)

En el año 1782, Watt patentó nuevos modelos de la máquina de vapor entre los que destaca la máquina de doble efecto, capaz de utilizar vapor por ambos caras del émbolo y conseguir generar trabajo tanto en la subida como en la bajada del pistón. De esta forma la fuerza generada era casi uniforme y disminuía el tamaño de la caldera y de la máquina.

Otras mejoras introducidas por Watt fueron la utilización del sistema “*sol y planeta*” para transformar el movimiento vertical del émbolo en un movimiento de rotación, evitando así la utilización del sistema biela-manivela ya patentado, juntamente con un volante de inercia para mantener una velocidad uniforme; el “*paralelogramo articulado*”, para transmitir al balancín el movimiento del émbolo; y el “*regulador de bolas*” o gobernador centrífugo, que servía para regular la entrada de vapor en función de la velocidad de giro, es decir si la velocidad aumenta demasiado reduce la entrada de vapor y viceversa. (Figuier, 1867)

Las modificaciones de Watt permitieron la extensión de la máquina de vapor a otros sectores como la minería, la industria y el transporte, lo que puede considerarse como el origen de la Revolución Industrial.

El éxito de la máquina de Watt, siguió atrayendo a numerosos investigadores, que se veían limitados por los derechos de las patentes obtenidas bajo la firma de Boulton&Watt. A pesar de ello, algún personaje, como ocurre con el ilustre canario Agustín de Betancourt, conseguiría hacerse hueco en la historia de la máquina de vapor, aunque fuese de una forma controvertida.

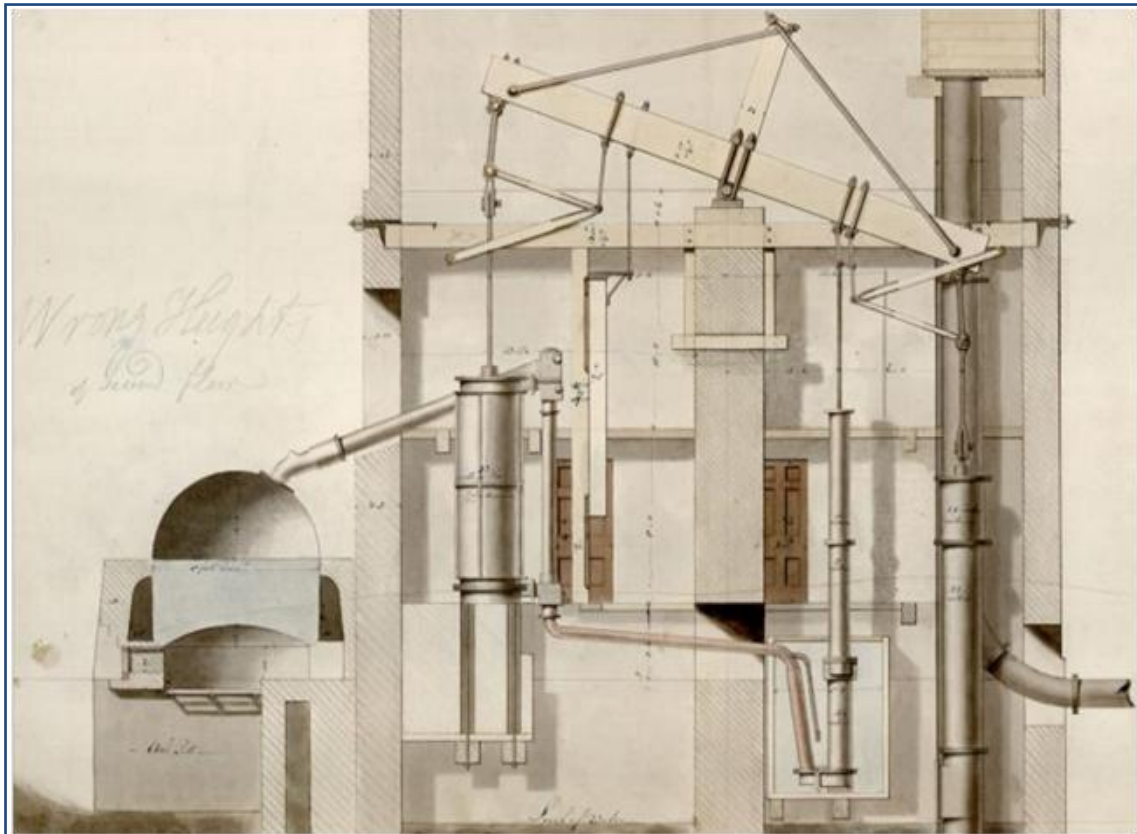


Figura 49. Máquina de vapor de doble efecto de Boulton & Watt. New River Head, London. 1785.
Fuente: <https://www.search.birminghamimages.org.uk>. 01/12/2015

En el año 1788 Betancourt es nombrado director del Real Gabinete de Máquinas con el encargo de recopilar una colección de máquinas que estuviesen a la vanguardia de la tecnología del momento. Con este objetivo viajará en el año 1788 a Inglaterra. Su intención era hacerse con un modelo de la máquina de vapor que reuniese todos los adelantos de la época. (González Tascón & Fernández Pérez, 1990)

Tras llegar a Londres e informarse que Boulton&Watt habían logrado nuevos avances, viajará hasta Birmingham para visitarlos. En su visita Watt no le mostró en ningún momento su nueva máquina, por lo que tuvo que realizar una visita a escondidas a los molinos de Alion cerca del puente de Black Friar, donde conseguiría ver una de estas máquinas aunque solo de forma parcial, pues algunas de las piezas como el condensador estaban ocultas.

A pesar de no haber conseguido toda la información que le hubiese gustado, Betancourt consiguió descifrar el funcionamiento de la máquina y construir la suya propia de doble efecto. Fue muy similar a la de Watt, pero con una disposición de válvulas diferentes. En el año 1789 presentó ante la Academia de Ciencia de París la “*Mémoire sur une machine á vapeur á doublé effet*”. Además de esta aportación, Betancourt dejaría su firma en un gran número de invenciones. (Cioranescu, 1965)

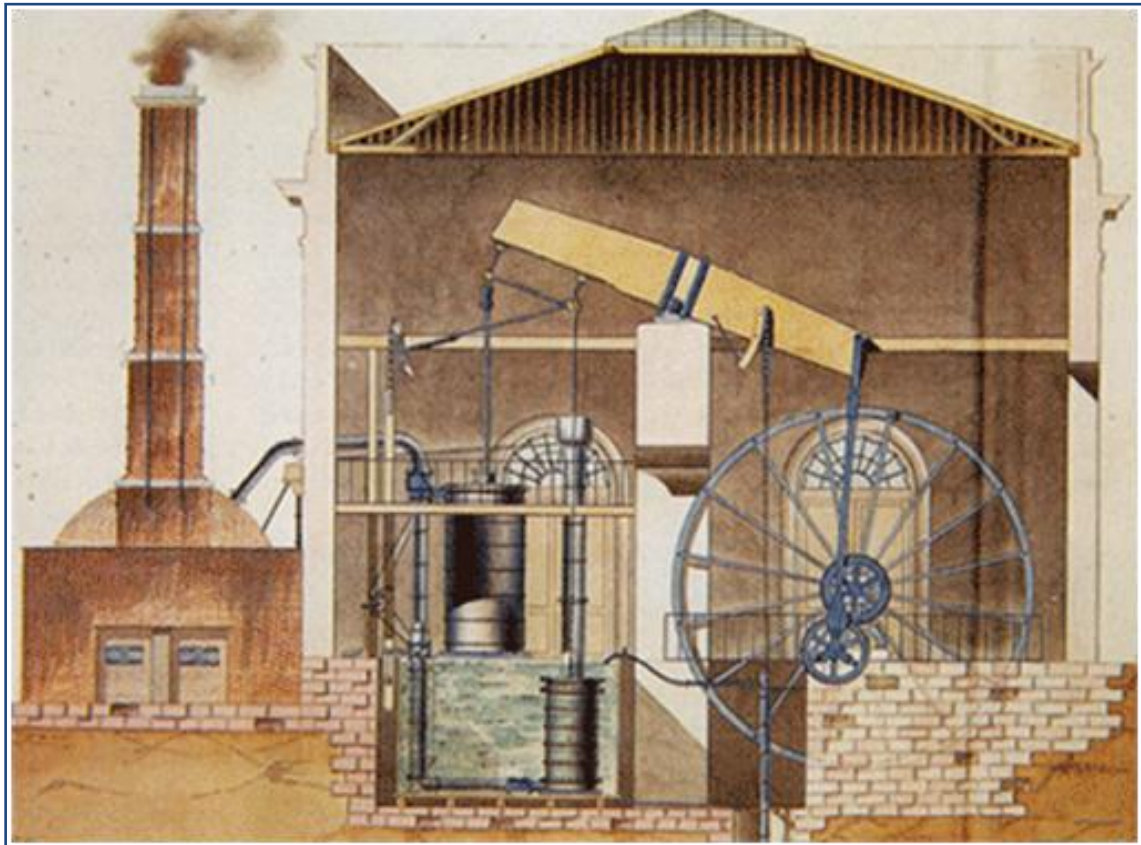


Figura 50. Máquina de doble efecto de Agustín de Betancourt.
Fuente: <http://fundacionorotava.es/betancourt>. 06/07/2016

Otro de los contemporáneos de Watt, fue el ingeniero británico Richard Trevithick, que junto a Edward Bull, mejoraron la máquina de vapor de acción directa para el desagüe de minas. La máquina fue ideada originariamente por William Bull, padre de Edward, de ahí que este tipo de máquinas se apodara “Bull”. El ahorro de combustible conseguido por Trevithick, hizo de la máquina Bull una competidora de la máquina de Watt. Tal fue la importancia de esta máquina, que Watt tuvo que recurrir a la ley para luchar contra ella, afirmando que el motor de Bull infringía el derecho de sus patentes.³⁶

El siguiente avance tecnológico que se produce es el desarrollo de las máquinas de alta presión, máquinas que carecen de condensación y dejan escapar el vapor directamente a la atmósfera. El primero en concebir la idea de una máquina que trabajase a alta presión fue Leupold aproximadamente en 1720 y posteriormente sería Watt sobre 1769, pero ninguno de ellos consiguió llevarlo a la práctica. En aquella época, construir una caldera que reuniese todas las condiciones de seguridad necesarias para trabajar con vapor a alta presión, estaba fuera del alcance de los talleres metalúrgicos.

En 1802, Richard Trevithick y su socio Andrew Vivian diseñan la primera máquina de vapor de alta presión. La puesta en práctica de la máquina se realizó en el año 1804, consiguiendo poner en marcha la primera locomotora a vapor de todos los tiempos (Nieves Medina, 2006). En este mismo año, el estadounidense Oliver Evans³⁷ diseñó una máquina muy similar a la de Trevithick, siendo la primera máquina a vapor de alta presión construida en Estados Unidos.

Por esta misma época el ingeniero británico Arthur Woolf retoma la idea de Hornblower de usar varios cilindros y modifica la máquina de Watt, construyendo lo que se puede considerar la primera máquina de vapor compuesta de media presión. Según dice (Gutierrez Medina, 1994) este sistema de media presión presentaba una notable economía frente a la máquina de Watt, además de un movimiento más regular del balancín.

³⁶ Líneas de tiempo de ingeniería- Richard Trevithick-Bombeo de las minas. (www.engineering-timelines.com/who/Trevithick_R/trevithickRichard3.asp). Consultado el 12/10/2013.

³⁷ En 1789 patentó en EEUU un carruaje a vapor.

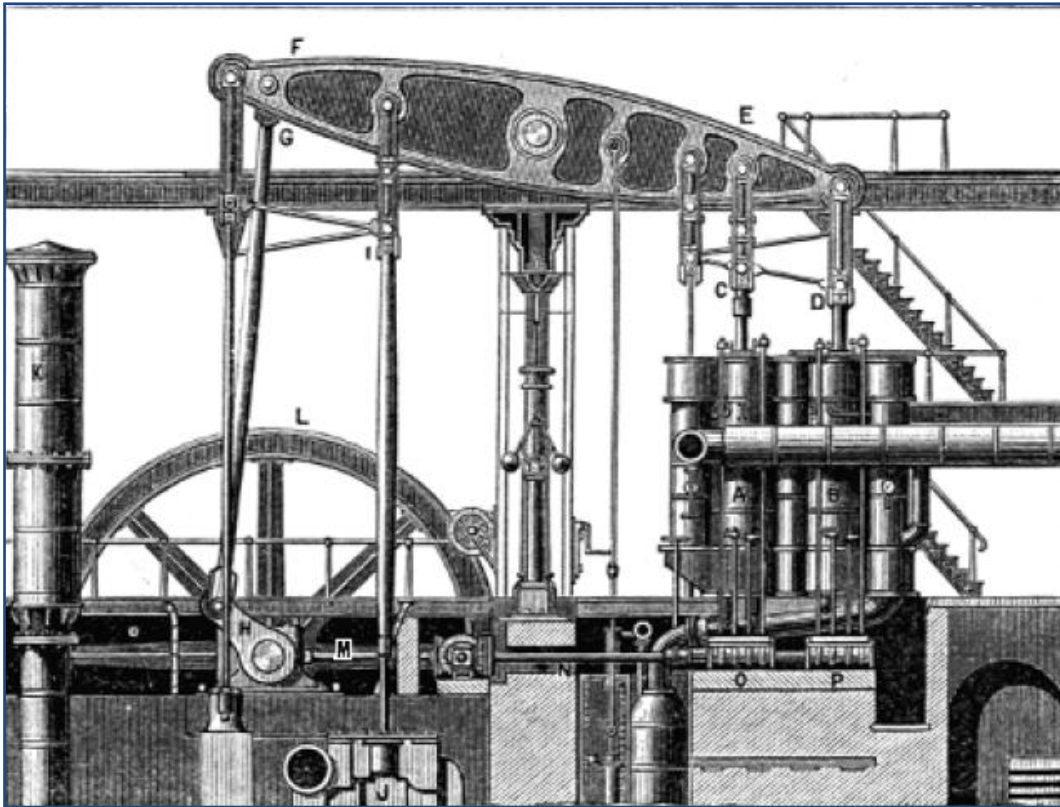


Figura 51. Máquina de vapor de Arthur Woolf. Fuente: (Tredgold, 1831)

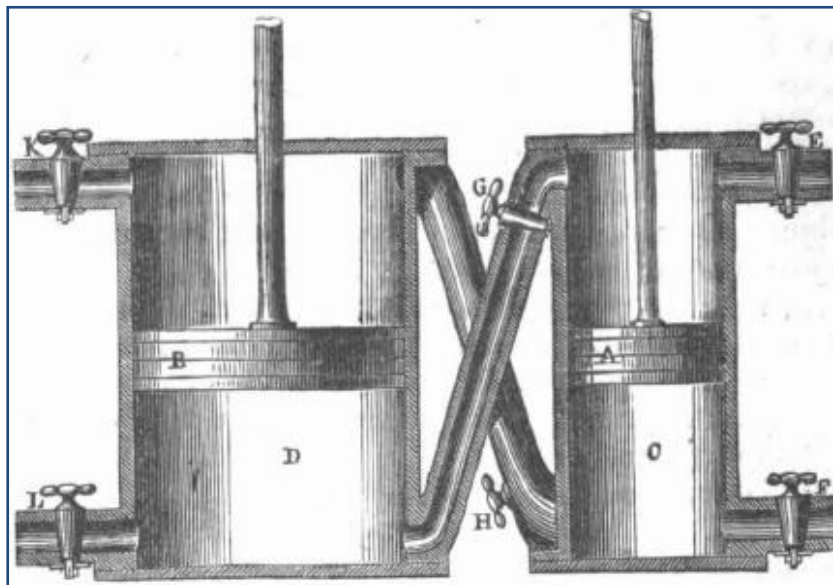


Figura 52. Esquema de cilindros conjugados de la máquina de Woolf.
Fuente: (Canalejas y Casas, 1864)

La importancia del vapor a lo largo de la historia ha sido un hecho más que notable. Y aunque en la actualidad el vapor ha sido sustituido por motores eléctricos en la industria y por motores de combustión interna en el transporte, aún hoy en día el vapor sigue siendo utilizado en la generación de energía eléctrica a través de las turbinas de vapor. Invención³⁸ que se efectuó casi simultáneamente por el ingeniero sueco Gustavo de Laval, 1882 y por el ingeniero inglés, Charles Parsons, en 1884.

³⁸ Revista de Obras Públicas, Tomo II, 1906, n°1585.

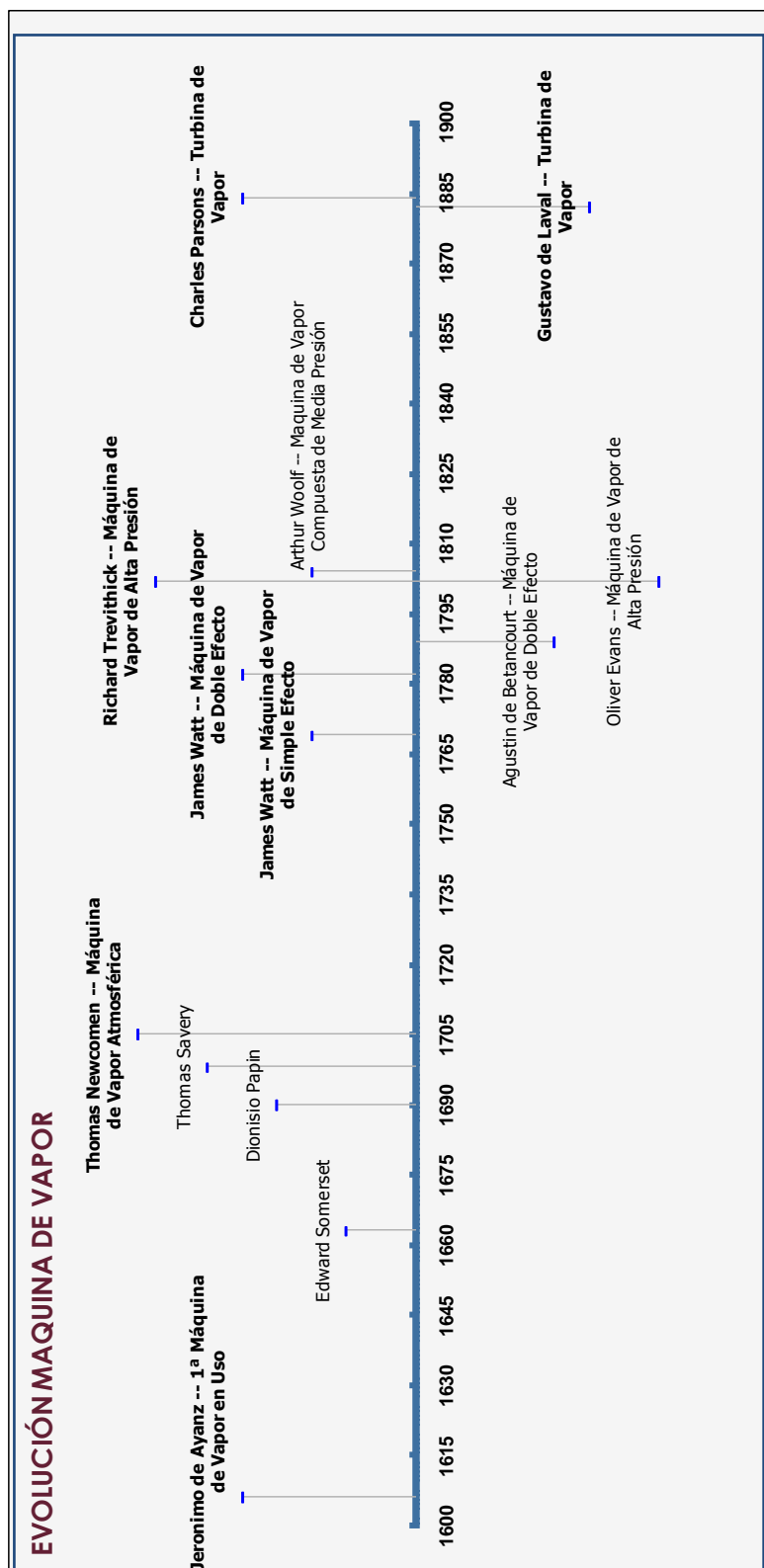


Gráfico 2. Gráfico nº XX. Línea del Tiempo Evolución de la Máquina de Vapor. Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.-Tipos de máquinas de vapor en el siglo XIX.

Después del apunte histórico que antecede sobre la máquina de vapor, entraremos en algunas consideraciones para conocer mejor los diferentes tipos de máquinas de vapor dentro de la gran variedad de máquinas que operaban durante el siglo XIX. Se utilizará como referencia principal el trabajo de (Malo de Molina, 1886).

Una máquina de vapor consta de dos elementos fundamentales, el generador o caldera de vapor y el receptor o máquina de vapor.

La máquina de vapor a su vez consta del cilindro con su émbolo o pistón, de aparatos de distribución que reparten el vapor al cilindro con unas características determinadas por el tipo de máquina, de diferentes tipos de llaves, válvulas, bombas, y si la máquina es de condensación también debe estar equipada con un condensador. Dispone también de diferentes mecanismos para poner en funcionamiento todas las partes de la máquina como son el balancín o el paralelogramo de Watt.

En función de la disposición de las diferentes partes y piezas que conforman una máquina de vapor estas pueden ser clasificadas bajo diferentes tipos.

Según la forma de actuar el vapor sobre el cilindro puede ser de simple efecto, si la fuerza del vapor sólo actúa sobre una cara del pistón, o de doble efecto si se actúa sobre las dos caras del pistón.

Si la máquina deja escapar directamente a la atmósfera el vapor que ya ha efectuado su trabajo, será una máquina sin condensación y con condensación si el vapor es dirigido a un condensador, donde se transforma en agua para posteriormente ser reutilizada en el ciclo de funcionamiento de la máquina.

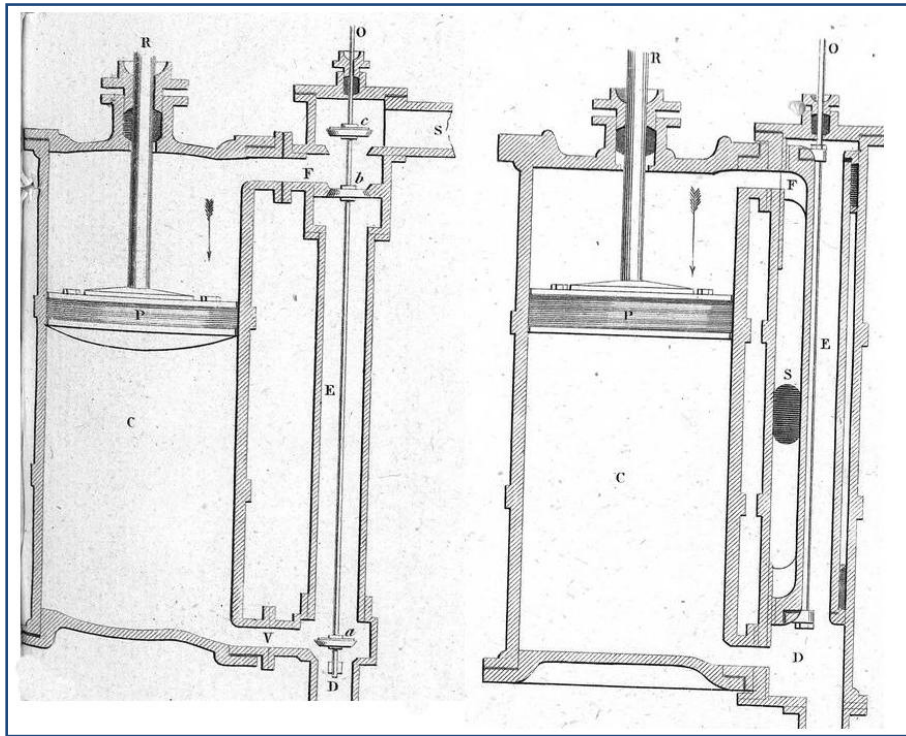


Figura 53. Cilindro Simple Efecto a la izq. y Cilindro Doble Efecto a la dcha.
Fuente: (Tredgold, 1831)

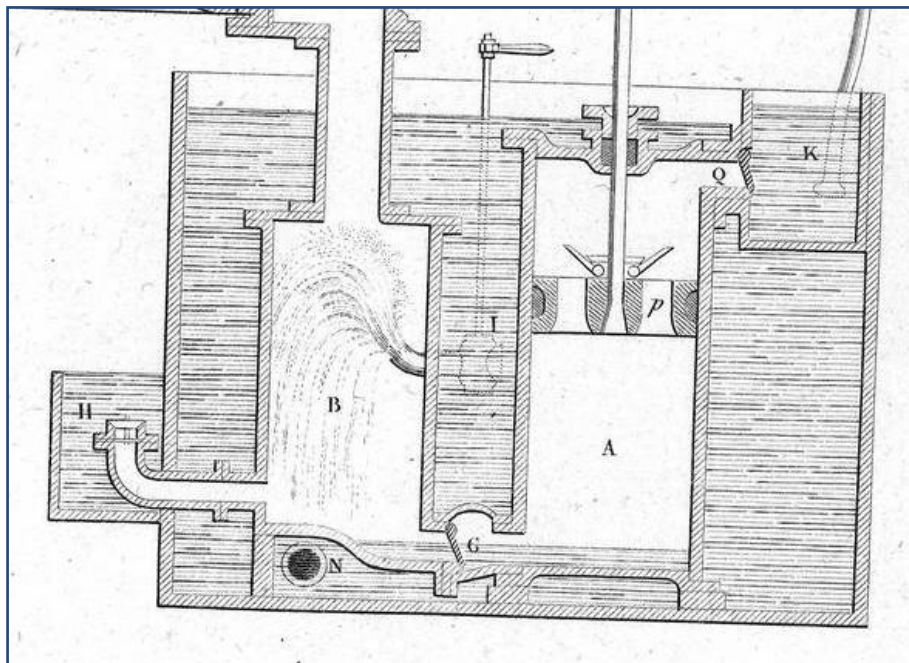


Figura 54. Esquema condensador máquina de vapor. Fuente: (Tredgold, 1831)

Cuando el vapor es admitido en el cilindro durante toda la corrida del pistón, será una máquina sin expansión, y si se admite durante una fracción de ésta, entonces será con expansión.

En función de la presión la máquina puede ser: de baja presión, cuando la presión no excede de una atmósfera o algo más, lo que obliga a la utilización del condensador para conseguir una buena evacuación del vapor del cilindro, y un uso muy limitado de la expansión, pues prácticamente no puede utilizarse en baja presión. De media presión si la presión llega hasta un valor de 4 o 5 atmósferas, y de alta presión aquellas máquinas que superan presiones de 8 atmósferas. A los dos últimos tipos se le puede aplicar tanto la expansión como la condensación consiguiendo así un mejor aprovechamiento de la fuerza elástica del vapor, con el consiguiente ahorro de consumo frente a las de baja presión.

Respecto a la posición del cilindro, las máquinas pueden ser horizontales cuando el cilindro está colocado de tal forma o verticales. En las horizontales el vástago unido directamente a una biela, transforma el movimiento rectilíneo en circular por medio de la manivela, originando así el movimiento del árbol principal que a su vez genera el movimiento del resto de componentes, logrando regularizar su movimiento con la ayuda del volante.

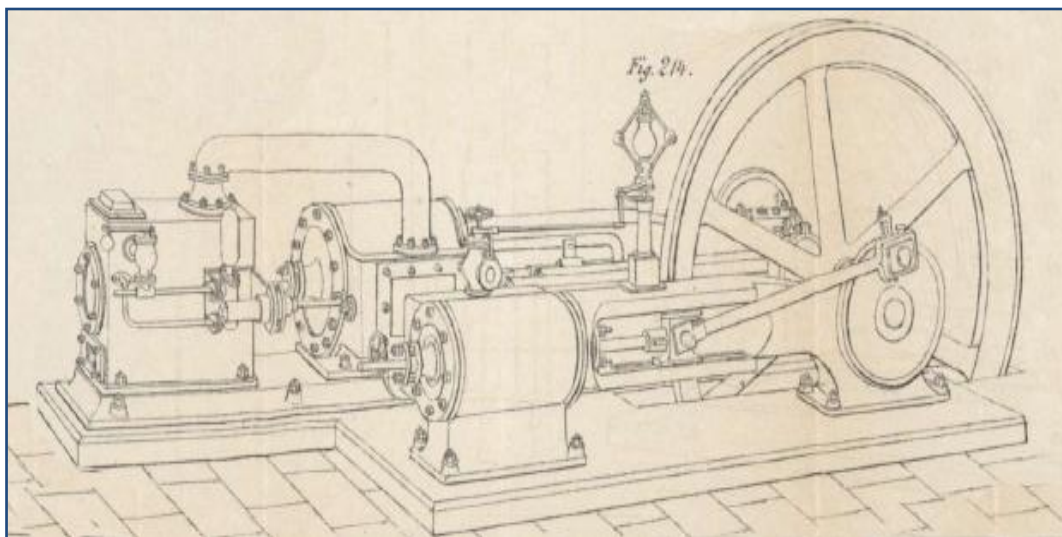


Figura 55. Máquina de vapor horizontal. Fuente: (Malo de Molina, 1886)

Las máquinas verticales pueden subdividirse en dos tipos, las de movimiento indirecto o con balancín y las de movimiento directo o sin balancín. En las primeras, el balancín es el elemento central que comunica todos los elementos de la máquina entre sí. Por un extremo está unido al vástago del pistón a través del paralelogramo de Watt; en el otro extremo se encuentra la articulación biela-manivela; y en el centro se colocan diversas varillas que ponen en funcionamiento la distribución, la condensación y la alimentación de la máquina.

En las máquinas de movimiento directo, este se transmite de igual forma que en las máquinas horizontales, uniendo el vástago del cilindro directamente al mecanismo biela-manivela. Estas máquinas eran más económicas y fáciles de montar que las de balancín, pero sólo eran útiles en los casos donde se necesitaba poca potencia.

En las máquinas, donde el pistón del cilindro se une directamente a un tirante maestro, se denominan de acción o tracción directa.

Bajo el punto de vista del servicio que prestan, las máquinas se dividen en fijas, locomóviles, marítimas y locomotoras. Las fijas son aquellas que tienen el generador separado del cuerpo, y que para su instalación necesitan la realización de obra de fábrica, lo que impide que puedan trasladarse de un punto a otro sin ser desmontadas. Este tipo de máquinas se instalaba en establecimientos industriales y generalmente se utilizaban de forma individual.

Las locomóviles³⁹, son máquinas de vapor reducidas esencialmente a sus dos elementos fundamentales el generador y el cilindro, formando un conjunto montado sobre un bastidor con ruedas, para poder trasladarse fácilmente de un lugar a otro y emplearse como máquina móvil. Este tipo de máquinas por lo general trabajaban a alta y media presión, con expansión y sin condensación. Principalmente se utilizaba en labores agrícolas, por lo que se conocía como máquina de vapor agrícola. (Figuier, 1867)

³⁹ Cuando el bastidor sobre el que se montaba la máquina de vapor no disponía de ruedas, se denominaban máquinas semifijas.

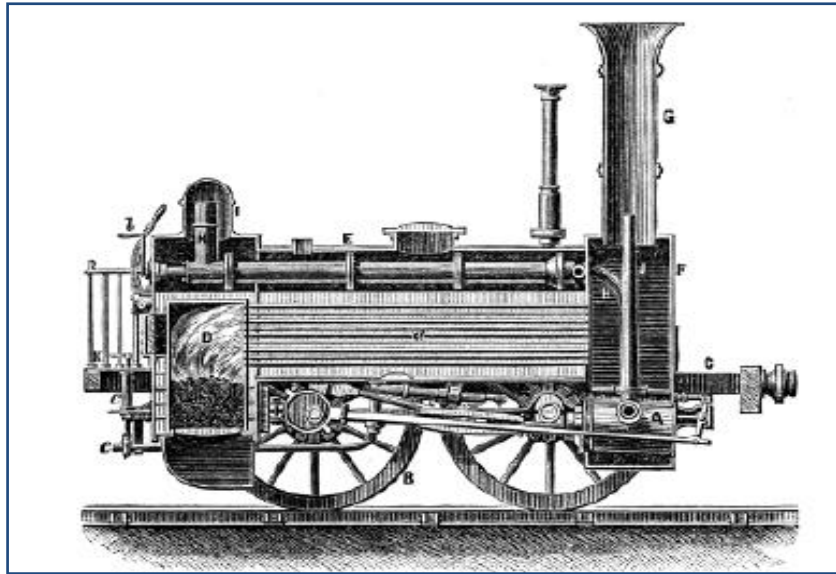


Figura 56. Máquina de vapor Locomóvil. Fuente: (Thurston, 1886)

Las máquinas de vapor marítimas son las utilizadas para la propulsión de los barcos. En este caso las máquinas estaban montadas por pares y no excedían de dos o de cuatro. Las locomotoras, son las máquinas utilizadas para remolcar los trenes y al igual que las máquinas marinas son máquinas dobles o conjugadas que trabajan a alta presión con expansión y sin condensación.

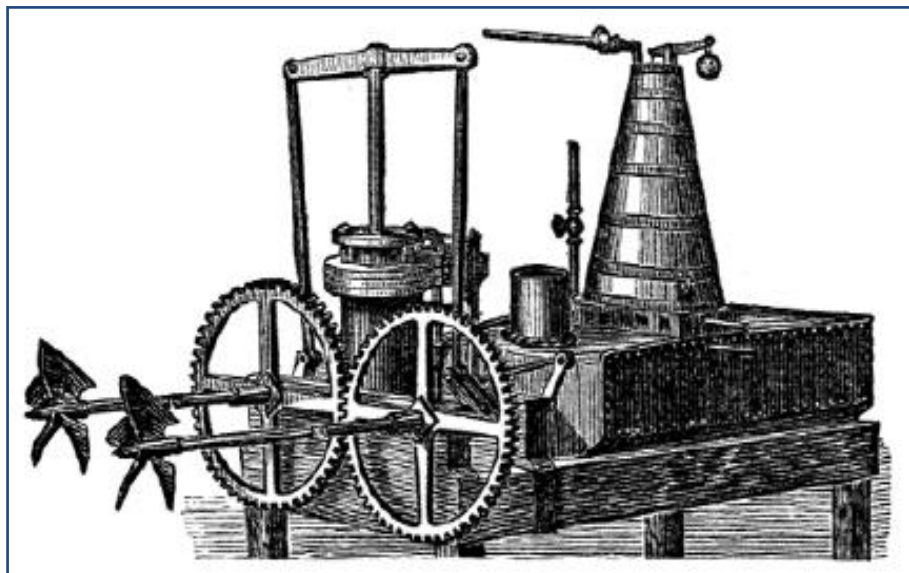


Figura 57. Tornillo-Hélices movidos a vapor de Stevens, 1804.
Fuente: (Thurston, 1886)

La diferencia esencial de las máquinas fijas con el resto, es que necesitan un mayor espacio, mayor peso y movimientos más lentos.

CLASIFICACION DE LAS MÁQUINAS DE VAPOR		
EN FUNCIÓN DE	TIPO	OBSERVACIONES
ACCIÓN DEL VAPOR SOBRE EL CILINDRO	SIMPLE EFECTO	El vapor actúa sobre una cara del émbolo.
	DOBLE EFECTO	El vapor actúa sobre las dos caras del émbolo.
SALIDA DEL VAPOR DEL CILINDRO	ATMOSFERICA O SIN CONDENSACIÓN	El vapor escapa a la atmósfera.
	CON CONDENSACIÓN	El vapor es enviado hacia un condensador.
ADMISIÓN DEL VAPOR EN EL CILINDRO	SIN EXPANSIÓN	El cilindro admite vapor durante toda su carrera.
	CON EXPANSIÓN	El cilindro admite vapor durante una fracción de la carrera.
PRESIÓN DE TRABAJO DEL VAPOR	BAJA PRESIÓN	Presión de trabajo aproximada de 1 atm.
	MEDIA PRESIÓN	Presión de trabajo aproximada entre 4-5 atm.
	ALTA PRESIÓN	Presión de trabajo > 8 atm.
POSICIÓN DEL CILINDRO	HORIZONTAL	Cilindro en posición horizontal o tumbado.
	VERTICAL	Cilindro en posición vertical o de pie.
MOVIMIENTO DE LA MÁQUINA	INDIRECTO	Con balancín.
	DIRECTO	Sin balancín.
	ACCIÓN O TRACCIÓN DIRECTA	Unión directa entre el pistón y el tirante maestro.
SERVICIO QUE PRESTA LA MÁQUINA	FIJA	No puede desplazarse.
	LOCOMOVIL	Máquina montada sobre un bastidor con ruedas.
	MARITIMA	Máquina para la propulsión de barcos.
	LOCOMOTORA	Máquina para remolcar vagones de tren.

Tabla 8. Clasificación de las máquinas de vapor. Fuente: Elaboración propia.

Además de las clasificaciones presentadas existen otras como por ejemplo en función del nombre del inventor o del establecimiento que la inventó (Watt, Woolf, Cornwall,...), o según el trabajo que desempeñe (Extracción, Ventilación, Desagüe...).

Esta gran variedad de tipos de máquinas de vapor, también va acompañada de una gran variedad de generadores o calderas de vapor que han ido evolucionando en paralelo. Debido a la gran variedad sólo se mencionaran algunos de los modelos más relevantes.

Las primeras calderas que se utilizaron eran prácticamente esféricas por ser la forma geométrica que reparte el esfuerzo igual sobre toda su superficie. Sin embargo, la poca superficie expuesta a la acción del fuego hizo que se evolucionase a la superficie cilíndrica (Chacón y Orta, 1859)

Independientemente de su forma, el generador de vapor consta de dos elementos fundamentales, la caldera que es donde se almacena el agua y el horno, lugar donde se prende el fuego para calentar la caldera. A estos elementos se añaden manómetros para medir la presión, indicadores de nivel de agua, llaves y válvulas de seguridad que evitan el riesgo de explosión.

El horno consta de las siguientes partes: el hogar o zona donde se produce la llama; la parrilla, elemento sobre el que se apoya el combustible (carbón, madera,...); el cenicero, que sirve para recoger las cenizas del combustible quemado; los conductos y la chimenea, que sirven para conducir los gases o humos calientes de la combustión alrededor de la caldera para aprovechar su calor antes de salir al exterior a través de la chimenea.

Una forma generalizada de clasificar los tipos de calderas es en función de la disposición de su hogar. El primero tipo es la de hogar exterior, donde la llama calienta a la caldera desde el exterior. El segundo las de hogar interior, son aquellas donde la llama está envuelta por las paredes de la caldera. Y el tercer tipo el de hogar mixto y son aquellas que disponiendo de hogar exterior, montan unos tubos por los que circulan los gases calientes que atraviesan de forma longitudinal a la caldera. (Perez, 1868)

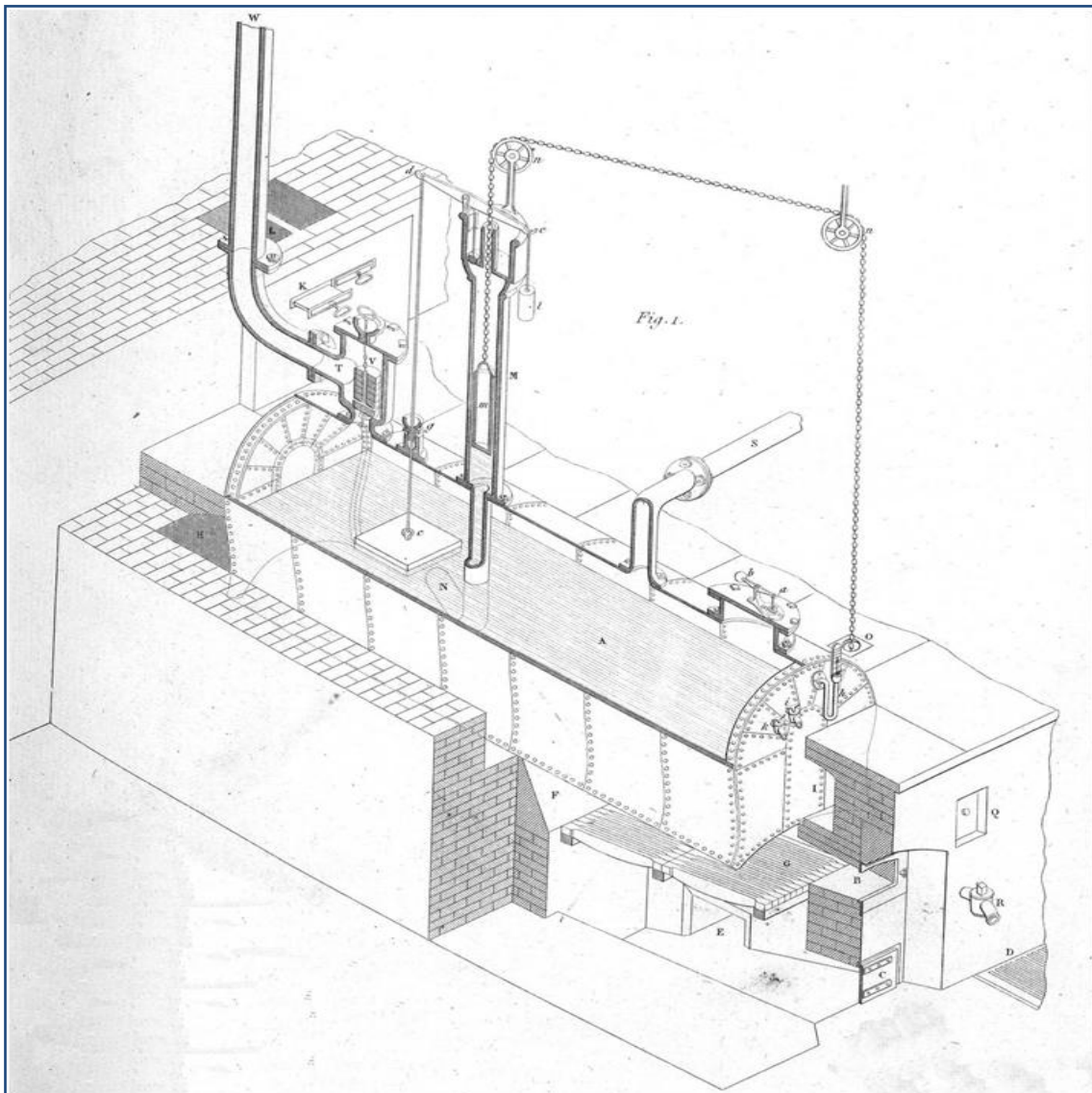


Figura 58. Caldera de vapor rectangular. Fuente: (Tredgold, 1831)

Dentro de los primeros modelos utilizados está la caldera de hogar exterior de Watt. La forma adoptada era rectangular con los frentes planos, el fondo cóncavo y la parte superior semicilíndrica. Este diseño de caldera tenía por objeto el ahorro de combustible consiguiendo minimizar las pérdidas de calor. Con este fondo cóncavo los sedimentos producidos en el interior se depositan en los ángulos y no sobre la superficie expuesta al fuego y por otra parte aprovechar el calor de los gases producidos durante la combustión antes de su salida al exterior.

Este tipo de calderas era bastante resistente para el trabajo a baja presión, sin embargo a presiones más altas corría el riesgo de sufrir deformaciones e incluso llegar a reventar.

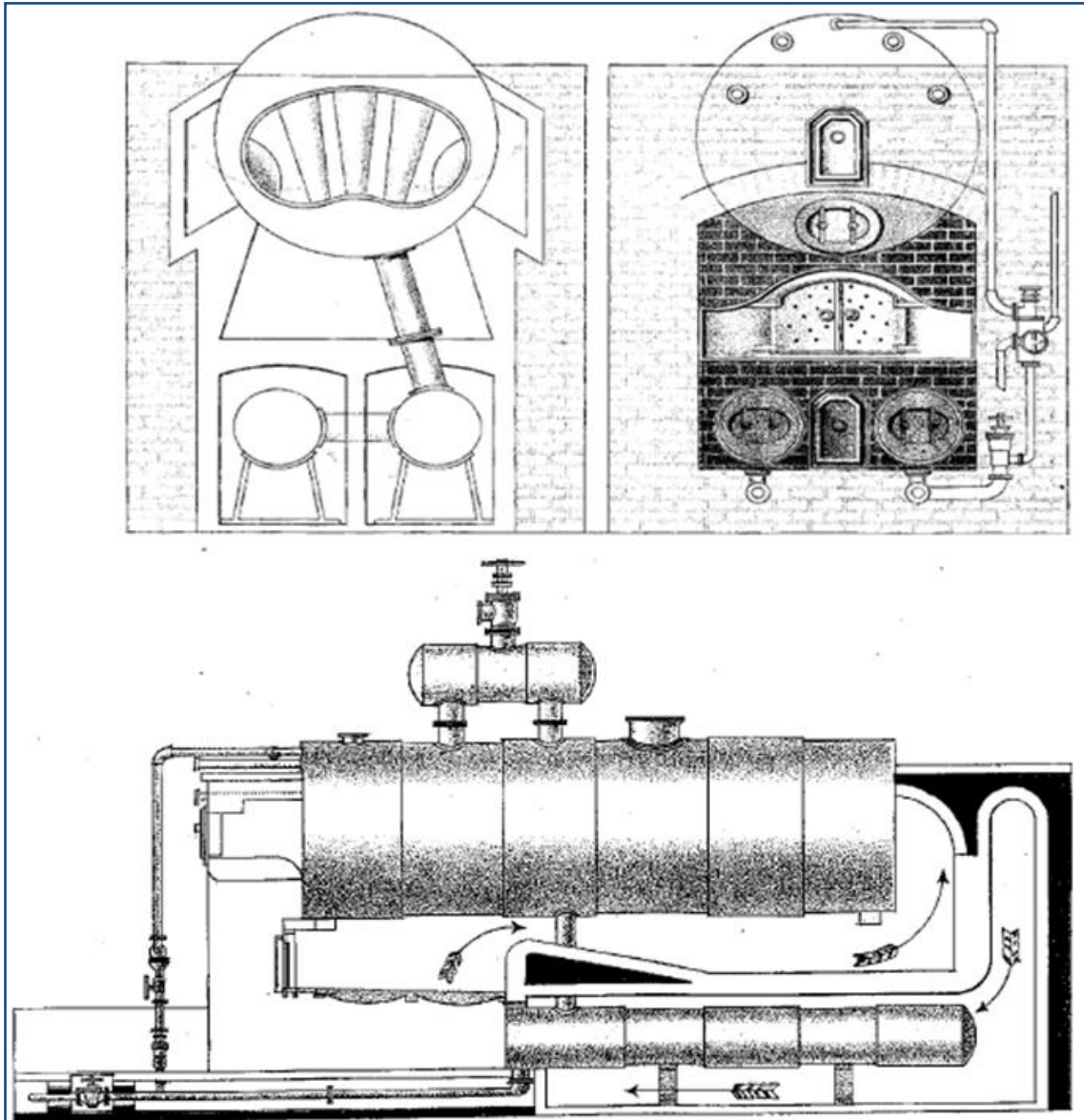


Figura 59. Caldera de vapor cilíndrica. Fuente: (Palacios, 1890)

Para el trabajo a mayor presión se utilizaban calderas cilíndricas con los bordes esféricos. Como norma general este tipo de calderas, se diseñaba con mucha longitud y poco diámetro a fin de conseguir una mejor eficacia del fuego y una mayor resistencia a la presión. (Valdés, 1859).

Este tipo de calderas podían ser tanto de hogar exterior como de hogar interior. En las de hogar exterior para conseguir una mayor superficie de caldeo sin aumentar el diámetro y la longitud de la caldera, se colocaban dos tubos cilíndricos de menor diámetro que el mayor, en el interior del hogar y en forma paralela respecto al mayor y que harán la función de hervidores. Estos hervidores se comunican con el cilindro mayor o caldera a través de dos tubos verticales, el de delante para la subida del vapor y el de detrás para la llegada del agua de alimentación.

Un modelo de caldera cilíndrica con hogar interior fue adoptado en Cornwall y de ahí que se conozca con dicho nombre. En este modelo el hogar es otro cilindro colocado paralelamente en el interior de la caldera. De este modo prácticamente no hay pérdidas de calor, en primer lugar porque todo el calor producido por el hogar sumergido es absorbido por el agua, y segundo lugar porque los gases tras recorrer todo el tubo interior recorren los laterales de la caldera antes de salir al exterior a través de la chimenea. (Odroizola, 1839)

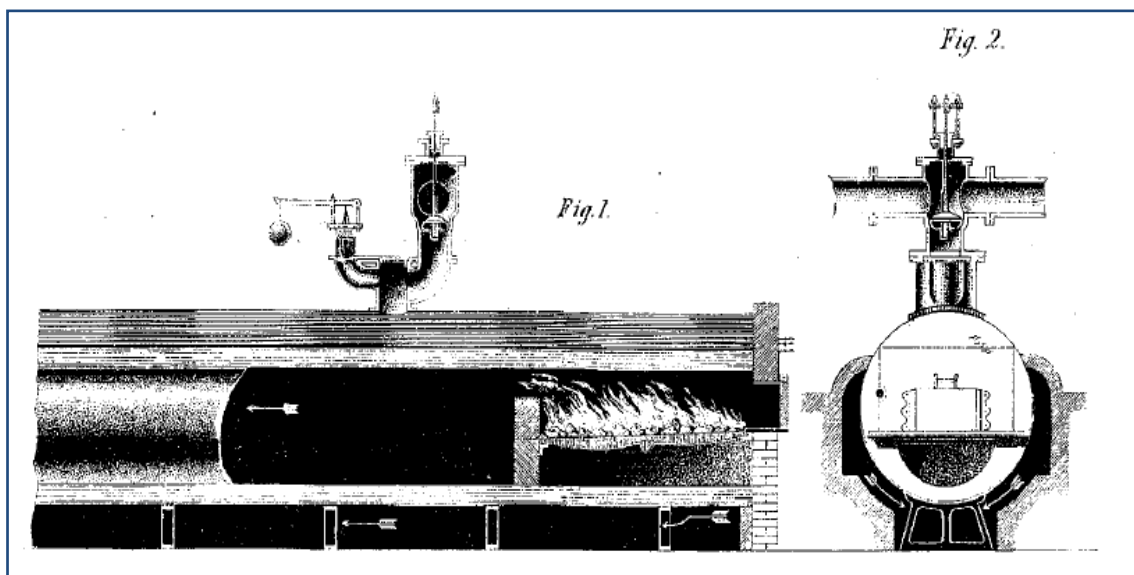


Figura 60. Caldera con hogar interior. Fuente: (Palacios, 1890)

Uno de los inconvenientes de este tipo de calderas era que el hogar interior utilizaba gran parte del espacio interior, por lo que para alimentar a grandes máquinas era necesario disponer de al menos una batería con dos calderas.

Este tipo de calderas fue uno de los más utilizados en toda Inglaterra, al igual que ocurrió en Francia con las calderas cilíndricas con hervidores. (Perez, 1868)

CLASIFICACION DE LAS CALDERAS DE VAPOR		
EN FUNCIÓN DE	TIPO	OBSERVACIONES
DISPOSICIÓN DEL HOGAR	HOGAR EXTERIOR	El fuego se produce en el exterior de la caldera.
	HOGAR INTERIOR	El fuego se produce en el interior de la caldera.
	HOGAR MIXTO	Además del fuego en el exterior de la caldera, dispone de unos tubos interiores por los que circulan los gases calientes.
FORMA GEOMÉTRICA	ESFÉRICA	Poca superficie de contacto al fuego.
	RECTANGULAR	Tiene forma rectangular con los frentes planos, el fondo cóncavo, y parte superior semicilíndrica.
	CILINDRICA	Tiene forma cilíndrica y los bordes esféricos.
	TUBULAR	Muchos tubos de diámetro pequeño por los que circula el fuego.

Tabla 9. Clasificación de las calderas de vapor.

En último lugar citaremos las calderas tubulares de hogar interior que son aquellas que estaban provistas de muchos tubos de pequeño diámetro por los que interiormente circulaba la llama y alrededor de los mismos el agua que se tenía que vaporizar.

Este tipo de calderas generalmente se utilizaban en barcos y locomotoras, pero también podían ser utilizadas de forma ventajosa para máquinas de vapor fijas. Eran de fácil instalación, no necesitaban el revestimiento de obra para su montaje y presentaban pocas pérdidas de calor, circunstancias que favorecían la economía de combustible.

Su principal inconveniente era la necesidad de utilizar aguas lo más puras posibles, debido a que los sedimentos y las pequeñas dimensiones internas se obstruían con facilidad, lo que suponía un mayor coste de mantenimiento.

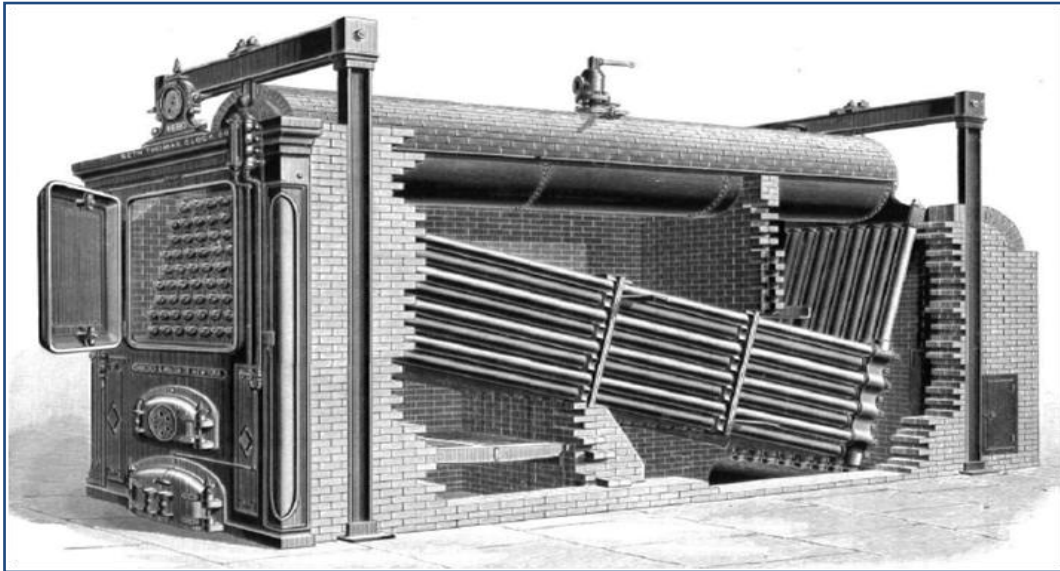


Figura 61. Caldera tubular de Babcock y Wilcox. Fuente: (Cervantes, 1896)

5.2.3.-Inicios de la era del vapor en España.

En el siglo XVIII comenzaron a llegar a España noticias desde Inglaterra con las ventajas de la utilización de la energía generada por las máquinas de vapor lo que da lugar a iniciativas para instalarlas en diferentes puntos del territorio español. La madurez de la trayectoria de las máquinas de vapor llegó en el siglo XIX, con la aparición de las primeras fábricas autóctonas de maquinaria, para comenzar su decadencia aproximadamente a finales del XIX y principios del XX, con el desarrollo de los motores de combustión interna, las turbinas de vapor y con la electricidad.

La primera noticia de la que se tiene constancia está fechada en el año 1722 de la mano del ingeniero británico Richard Jones con una propuesta para el abastecimiento de agua de la ciudad de Toledo. La iniciativa incluía la necesidad de construcción de una máquina de vapor tipo Newcomen para elevar el agua del río Tajo, salvando un desnivel aproximado de unos 100 metros (Helguera Quijada & Torrejón Chaves, 2001). Tras un complicado proceso de ejecución de más de cuarenta años, el proyecto nunca llegó a terminarse por problemas como la falta de financiación o la muerte de Jones, además de una cantidad de hurtos considerables que obligaron a las autoridades poner a buen recaudo todos los materiales.

En 1764 el proyecto fue reactivado por el ingeniero francés Pierre Courton, con el mismo resultado, a pesar de que a falta de fuentes contrastadas, parece que consiguió hacer funcionar las máquinas por algún tiempo. Finalmente las máquinas quedarían en el olvido hasta que en 1790 algunas de las piezas se utilizaran para la conducción del agua de los Reales Jardines de Aranjuez.

En 1752, (Sánchez Gómez, 1994), data otro posible intento de implantar el uso de la máquina de vapor en España basada en la visita de un ingeniero de minas sueco a España con la finalidad de estudiar los restos de varias máquinas de vapor Newcomen fracasadas⁴⁰. A falta de documentación este hecho solo puede ser considerado como una suposición.

⁴⁰ Lindqvist, S: *Technology on Trial. The Introduction of Steam Power Technology into Sweeden, 1715-1736*, Uppsala, 1984.

La siguiente iniciativa es en el año 1769 a cargo de Juan Domingo Medina, Intendente del Departamento de Marina de Cartagena. Tras observar durante varios años una maqueta funcional en la Academia de Guardias de Marinas de Cádiz, propuso utilizarla como modelo para construir dos máquinas a tamaño real para achicar el agua de los diques de carenar del Arsenal de Cartagena.

El encargado de supervisar esta misión fue el marino Jorge Juan⁴¹, con la ayuda del militar ilustrado Julián Sánchez Bort, obligado a culminar el trabajo el sólo por el fallecimiento de Jorge Juan en 1773. En torno a 1772 la primera máquina prácticamente estaba terminada pero tuvo que transcurrir otro año para terminar la segunda máquina y ponerlas a punto. El 10 de noviembre de 1773 se puso en marcha la primera máquina del Arsenal de Cartagena en su dique pequeño y en su dique grande comenzaría a funcionar la segunda máquina en febrero de 1774.

Para asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas era necesario tener personal cualificado para su mantenimiento y reparación y con este cometido Sánchez Bort instruyó a algunos operarios en la materia. De esta formación surgieron unos alumnos aventajados como fueron Antonio Delgado y su sobrino, haciéndose expertos en la fabricación de máquinas tipo Newcomen. Construyeron máquinas para el Arsenal de Cartagena en 1785 y para los arsenales de Ferrol (A Coruña) y de la Carraca (Cádiz), de los que existen planos datados en 1813 que se conservan en el Museo Naval, aunque no existen datos de cuando comenzaron a funcionar las máquinas.

Hasta ese momento todas las iniciativas de utilización del vapor habían sido de origen estatal, como también lo fue la construcción de la primera máquina de vapor de simple efecto de Watt, hecho acaecido 1785-1805 en las minas de mercurio de Almadén. Realmente, el proyecto inicial incluía tres máquinas de vapor encargadas al británico John Wilkinson, conocido por fabricar copias de máquinas a espaldas de Watt, titular de la patente. Consecuencia de la demora en la construcción de la primera máquina, en el año 1793 se adoptó la decisión de enviar las otras dos máquinas a Cádiz, donde se pierde su rastro.

⁴¹ Jorge Juan, fue el responsable de la llegada de la maqueta de la máquina de vapor de la Academia, desde Londres en el año 1750. (Helguera Quijada & Torrejón Chaves, 2001)

Otra iniciativa fallida, en este caso con una máquina de vapor de doble efecto de Watt, tiene lugar en el año en 1789 tras la visita a Inglaterra del mercader gaditano Pascual Mensa. Durante su visita, pudo observar el funcionamiento de una fábrica de harina equipada con máquinas de vapor de Boulton&Watt. Tal fue la impresión que le causó que quiso montar una fábrica similar en España, lo que le llevo a encargar personalmente a Boulton&Watt una máquina de doble efecto para una harinera de Cádiz.

Según expone (Helguera Quijada & Torrejón Chaves, 2001), Boulton&Watt vieron posibilidades de negocio en esta operación nombrando a Mensa representante de su marca en España. Una vez en España, Mensa fundó la empresa Simón Plá y Mensa y Compañía, con el privilegio de introducción de las “Bombas de Fuego” por un periodo de veinte años a través de una Real Cédula firmada el 25 de abril de 1790. En ese mismo año se dictaría la Orden General de Rentas de 16 de junio que dejaba exentas de impuestos de aduana las máquinas importadas por esta empresa.

Varios técnicos ingleses llegarían al puerto de Cádiz acompañando a la máquina de vapor para ayudar a su montaje, pero su sorpresa fue mayúscula cuando comprobaron que la fábrica de harinas estaba todavía sin construir, viéndose obligados a regresar a su país y dejar abandonadas las piezas de la máquina en la ciudad. Siendo esta la única máquina de la que se tiene constancia que fuera importada por Simón Plá y Mensa y Compañía se desconoce la efectividad de los privilegios concedidos a dicha empresa.

El segundo intento de utilizar una máquina de doble efecto de Watt, estuvo relacionado con el proyecto del ingeniero de Marina Fernando Casado de Torres, para montar un aserradero mecánico de vapor en el Arsenal de Marina de la Carraca. Para este proyecto, en 1790 Casado de Torres firmo la compra de una gran máquina a Boulton&Watt que llegará a España en 1792. La suerte de esta máquina no sería diferente de la máquina de Pascual Mensa, pues debido a problemas con la cimentación las obras del aserradero se encontraban paradas y se vieron obligados a construir un nuevo edificio en donde el firme del terreno fuese más adecuado. Junto con los problemas de las obras se juntaron una serie de robos que harían imposible continuar con el proyecto ante la falta de financiación para reponer las piezas sustraídas. La historia de esta máquina de vapor se encuentra más detallada en el trabajo de (Helguera Quijada & Torrejón Chaves, 2001).

Igual que sucedió con los primeros intentos de instalar en España la máquina de Newcomen, los primeros intentos de importar una máquina de doble efecto de Watt tampoco tuvieron éxito. Ejemplo de ello es que en 1791 se aprueba otro proyecto del Estado para comprar dos máquinas de vapor de doble efecto y trasladarlas a las minas de América con el fin de incrementar la extracción de metales preciosos.

En este proyecto se vieron implicados Julián Martín de Retamosa, alto funcionario de la Secretaría de Marina, el Conde de Lerena, Secretario de Hacienda, el ingeniero Casado de Torres y Diego Gardoqui, Director General del Comercio de Indias. Este último era el único que no estaba convencido de la viabilidad del proyecto. En 1793, las máquinas llegaron a Cádiz, pero al igual que en los casos anteriores aparecieron obstáculos que impidieron su culminación. La llegada a la Secretaría de Hacienda de Gardoqui por el fallecimiento de Lerena, aprovechó su cargo para paralizar el proyecto en el que desde un principio no creía. A pesar de algún intento de retomar el proyecto las máquinas permanecieron guardadas durante varios años, hasta que en 1801 el administrador de la aduana ordenó que se trasladaran a otro lugar y desde entonces no se sabe nada de ellas.

En el año 1795 fue importada la última máquina de Watt, en este caso sería de pequeña potencia y utilizada en un molino de una fábrica de curtidos en Sevilla, a nombre del empresario británico Nathan Wheterell, la noticia de esta máquina nos llega del trabajo de (Helguera Quijada & Torrejón Chaves, 2001).

Ya en el siglo XIX, el médico Francisco Sanponts, director de Estática e Hidrostática de la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona, construye una máquina del tipo Newcomen para la fábrica textil del barcelonés Jacinto Ramón en 1804. Esta primera máquina no fue utilizada directamente en la fabricación sino para mover una rueda hidráulica que daba movimiento a las máquinas de hilar. (Amengual & Patricio Sáiz, 2007)

Entre 1805 y 1806, Sanponts, construiría con el mismo fin una máquina de doble efecto de Watt, pero en este caso fabricó primero una maqueta que le sirviera como guía para corregir los posibles problemas que se le presentaran. Tras diversas pruebas con la maqueta esta le sirvió de modelo para fabricar una máquina a tamaño real y utilizarla para elevar el agua encargada de mover la rueda hidráulica que accionaba las máquinas de hilar. (Riera, 1992)

A principios del siglo XIX, en 1808, llegaron al puerto de Cádiz otras dos máquinas de doble efecto de Boulton&Watt con destino a una fábrica de harinas. Fábrica, concebida inicialmente para América, por Carlos Martínez de Irujo⁴², pero por diversos sucesos terminó instalándose en la ciudad de Cádiz. Al contrario que en la mayoría de tentativas anteriores por instalar el vapor, en esta ocasión las máquinas funcionaron exitosamente, y tal fue su resultado que la empresa harinera fue considerada una de las más emblemáticas de la época.

Cuando parecía que la transferencia tecnológica del vapor estaba venciendo sus dificultades en España, estalla la Guerra de la Independencia (1808-1814), acontecimiento que supuso un freno en la modernización tecnológica que se había iniciado a finales del siglo XVIII.

Tras la Guerra de la Independencia en 1814 se retomó la importación de máquinas de vapor, esta vez destinadas a la navegación con máquinas de vapor. El primer barco de vapor, *El Real Fernando o Betis*, fue botado en Sevilla en 1817, y pertenecía a la Compañía de Navegación del Guadalquivir (Sevilla). Compañía que importó varias máquinas de vapor destinadas tanto para sus barcos, como para el dragado y el regadío. En 1821 instaló una bomba hidráulica de vapor para el regadío de manos del maquinista inglés Guillermo Whiting.

Ante la necesidad de carbón para el funcionamiento de sus máquinas, la Compañía decidió explotar la mina de carbón de Villanueva del Río, muy próxima a Sevilla. En ella intentó instalar una máquina de vapor, pero no se tiene constancia de los resultados obtenidos. (Sánchez Gómez, 1994)

En la década de 1820 siguió creciendo la importación de máquinas de vapor. En 1827, encontramos cuatro máquinas de vapor utilizadas para el regadío y la molienda en la Isla Mayor del Guadalquivir⁴³, y una máquina en la fundición de plomo San Andrés de Adra (Málaga).

En los siguientes años la fuerza del vapor sigue incorporándose a la industria española, con un ritmo creciente durante la década de los 30. Se considera como punto de *“inicio de la era del vapor en España”*, la puesta en

⁴² Carlos Martínez de Irujo, embajador de España en Estados Unidos y marqués de Casa Irujo.

⁴³ *Gaceta de Madrid* de 21 de abril de 1827.

funcionamiento de la fábrica algodonera de José Bonaplata, en Barcelona en 1832. La mala suerte acompañó a esta fábrica, pues la que fuera primera en el sector en utilizar el vapor y referente a nivel nacional se incendiaría el 5 de agosto de 1835. La segunda industria del sector textil que introdujo el vapor será la fábrica de algodón de Sevilla en 1834.. (Gómez Rivero & Palomeque López, 2003; Rosés, 2001)

Con la construcción del ferrocarril⁴⁴ en la década de 1840 es cuando se puede dar por culminado el asentamiento de la tecnología del vapor en España. Junto al ferrocarril, el sector minero, la agricultura, el sector naval, el aumento de la demanda de maquinaria nueva, reparación y mantenimiento, estaba siempre presente lo que provocó el nacimiento de talleres especializados en la fabricación de máquinas de vapor. Entre los más importantes se encuentran las fundiciones de José Bonaplata y José Safont, en Madrid; la de El Nuevo Vulcano, en Barcelona; Alexander Hermanos, Barcelona; La Maquinista Terrestres y Marítima, Barcelona; y Portilla & Hermanos White, Sevilla. (Ortiz-Villajos, 2005)

CABALLOS DE VAPOR INSTALADOS EN ESPAÑA EN 1900		
SECTOR	CABALLOS DE VAPOR (valores aproximados)	%
MINERIA	58.000	4,8
INDUSTRIA	180.000	14,9
FERROCARRIL	856.000	70,9
MARINA	112.000	9,3
TOTAL	1.206.000	

Tabla 10. Caballos de vapor instalados en España en 1900.
Fuente: (Amengual & Patricio Sáiz, 2007)

Centrándonos en el sector minero, en el año 1844 se instala una máquina tipo Compound en el filón La Cruz de Linares. Al no conseguir los resultados deseados, se instaló en 1849 una máquina de cilindro vertical y con balancín, tipo Cornish, en la mina del Pozo Ancho según los datos aportados

⁴⁴ En 1843 se construye la primera línea de Madrid-Aranjuez, y cinco años después en 1848 la línea Barcelona-Mataró, siendo en 1855 cuando aparece la Ley general de ferrocarriles.

por (Argudo García, 2009). Los buenos resultados obtenidos sirvieron de estímulo para que se instalaran más máquinas en todo el distrito⁴⁵.

La introducción del vapor en la minería siguió su lento camino y en la década de 1850, las minas de la región de Almería comenzaron a utilizar las máquinas de vapor para el desagüe mientras que las minas del área de Cartagena no pondrán en funcionamiento su primera máquina hasta 1866 (Sánchez Gómez, 1994).

En la década de 1860 estaban funcionando un total de 115 máquinas de vapor en las minas españolas. Sin embargo, los problemas de falta de agua en algunas minas, el elevado coste de obtención de combustible y la inversión que había que realizar para la instalación de las máquinas, provocaron que su expansión fuera lenta y que durante muchos años convivieran con los sistemas tradicionales de desagüe como eran los torno de mano, los malacates y las bombas de mano⁴⁶.

⁴⁵ Además de las máquinas tipo Cornish, también se utilizaron máquinas de tipo Bull.

⁴⁶ En las minas de Horcajo (Ciudad Real) las bombas manuales perduraron hasta 1902. (Sánchez Gómez, 1994)

5.2.4.-Aplicaciones del vapor en la minería desde el siglo XVIII hasta el siglo XX.

Durante este periodo las máquinas de vapor fueron sustituyendo el trabajo de los hombres y animales en la mayoría de los sectores. Entre ellos estaba la minería, la industria textil, las fundiciones, la agricultura, el abastecimiento de agua para las ciudades, la propulsión de carruajes y barcos.

La gran variedad de aplicaciones que tuvo el vapor exige que nos centremos en el sector minero.

La minería es una de las actividades más antiguas desarrolladas por el ser humano, con la búsqueda y extracción de minerales y rocas valiosas.

En este sector industrial, el vapor fue utilizado en muchas aplicaciones siendo una de las más importantes las labores de desagüe. Los sistemas utilizados para la elevación del agua han evolucionado a lo largo del tiempo, desde las técnicas heredadas de los romanos hasta la máquina de vapor. Con la utilización del vapor se alcanzaron mejores rendimientos frente a los bajos obtenidos por los sistemas tradicionales con una importante utilización de mano de obra⁴⁷. Gracias al vapor no solo se consiguió reducirla sino también de desaguar desde mayores profundidades.⁴⁸

El primer uso de una máquina de vapor para la elevación de agua en una mina está datado en el año 1611 de la mano de Ayanz, aunque el verdadero punto de arranque es la máquina de Newcomen en 1712. La utilización del vapor se extiende rápidamente en Inglaterra, Eslovaquia (1722), Suecia (1726), Bélgica (1726) y Francia (1732)⁴⁹. En todos estos casos la utilización del vapor se utilizó para el desagüe, aunque la máquina de vapor también presentaba un inconveniente, su gran dependencia de combustible y de agua para la generación del vapor.

⁴⁷ En el distrito eslovaco Banská Stiavnica, a mediados del s. XVII en una sola mina se utilizaban 800 hombres y 576 caballos para desaguar la mina. (Sánchez Gómez, 1997)

⁴⁸ Alcanzando en el s. XIX profundidades de pozos superiores a los 600 metros. (Mansilla Plaza, 2011)

⁴⁹ Para ver esta cronología véase (Sánchez Gómez, 1997)

Los combustibles con mayor poder calorífico son el carbón y la madera, pero no en todos los centros mineros se disponía de estos recursos en cantidad suficiente para abastecer a la máquina de vapor. En estos casos, el encarecimiento del combustible como consecuencia de los costes de transporte llevó a algunas minas a seguir empleando para el desagüe los sistemas tradicionales. Por el contrario, en las minas con fácil acceso a estos recursos, se extendió rápidamente en uso de estas máquinas, caso de Inglaterra.

En lo que se refiere al agua, no todas las minas disponían de agua suficiente para alimentar a las máquinas de vapor⁵⁰. Para evitar estos problemas se hacía acopio de agua mediante balsas o depósitos para almacenar toda la que fuera posible en las épocas de lluvia. Sin embargo, en las épocas de sequía se podía llegar incluso a la paralización de la actividad (Fernández Bolea, 2010).

Las modificaciones de la máquina propuestas por Watt desde 1769 hasta 1782 con la máquina de doble efecto consiguen reducir el consumo, pero hasta que no se produjo la reducción de los costes de transporte en el siglo XIX, no es cuando se generaliza el empleo del vapor en los sectores industriales entre ellos el minero.

Pese a ello, a mediados del siglo XVIII, el uso del vapor se extiende a América. En España después del caso de las minas de Guadalcanal (1611), el siguiente ejemplo conocido de utilización es en las minas de mercurio de Almadén (1785-1805).

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 (Mansilla Plaza, 2011), datándose en 1802. En España se encuentran testimonios de estos usos en la Revista Minera, en las Minas del Horcajo en el año 1876 (Valle de Alcudia-Ciudad Real) incluso anteriores como son el caso de las minas de Sierra Almagrera⁵¹ y en 1863 y en 1866 en la Sierra de Cartagena⁵².

⁵⁰ Una máquina de 10 CV consume aproximadamente 3000 litros de agua. El coste del agua variaba en función de las minas, pero a modo de ejemplo En 1876, 40 litros costaban 1 real y medio a la administración de las minas de Sierra Almagrera (Almería, España).

⁵¹ Véase (Fernández Bolea, 2010)

⁵² Gaceta Minera y Comercial, año 1903, Cartagena. Pág. 119-129.

Otras de las aplicaciones fue la primera locomotora de vapor en minería, idea de Richard Trevithick (1804) y la de Oliver Evans (1789) que puso en marcha un carruaje a vapor. 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.

En el interior de las minas españolas, el arrastre de las vagonetas era realizado por trabajadores o animales principalmente, ya que la utilización de la locomotora de vapor producía gases y vapores que perjudicaban las condiciones de ventilación de las minas y de las condiciones de trabajo. A pesar de ello, en la mina metálica de Rio Tinto (Huelva, España), explotada por compañías extranjeras, locomotora de arrastre exterior entraba en el interior de las galerías para recoger los vagones.

Ya en el exterior, la utilización del vapor depende del tipo del terreno. Cuando era llanos se utilizaba la locomotora, pero cuando se trataba de minas de montaña donde había que salvar grandes desniveles, se utilizaba la tracción por cable o cadenas sin fin⁵³ con planos inclinados en los que las vagonetas se enganchaban en su parte superior a cadenas movidas a vapor. Como ejemplo de este sistema está el de Orconera, en las minas de los Montes de Triano⁵⁴ (Vizcaya, España) inaugurado en 1880.

Otro sistema empleado para salvar desniveles, fue el tranvía aéreo implantado en España en el último tercio del siglo XIX. Este sistema consiste en un caballete sobre el que penden cables movidos por una máquina de vapor a los que se enganchan los baldes, existiendo un flujo continuo de éstos. En la minería española encontramos la instalación de estos sistemas en las minas de Vizcaya⁵⁵ en 1872⁵⁶.

⁵³ Sistema de Acarreo Continuo.

⁵⁴ Plano inclinado de cable de mayores dimensiones de la época en España con una longitud de 1097 metros y una pendiente de 18%.

⁵⁵ Revista Minera Tomo 39, 1888 pag 281, explicación Sistema Bleichert de la mina de Somorrostro

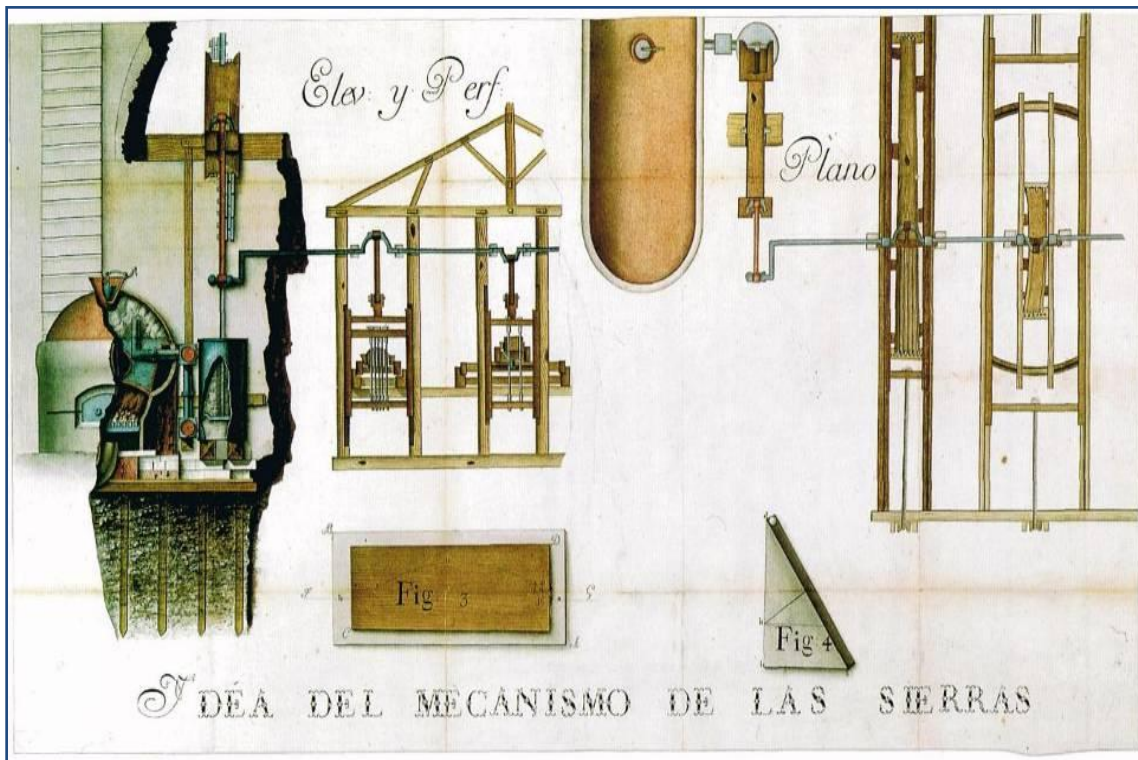


Figura 62. Mecanismo de sierras movido por máquina de vapor en el Arsenal de la Carraca.
Fuente: <http://almadeherrero.blogspot.com.es> 06/02/2015

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 como se puede ver en el trabajo de (Escudero, 2008). Junto con estas aplicaciones, también aparecieron máquinas que facilitaron los diferentes trabajos como las excavadoras de vapor⁵⁷ y los martillos de vapor incorporados en España después de 1850.

⁵⁶ www.ezagutubarakaldo.barakaldo.org/cihma/File/pdf.../unidad9.pdf

⁵⁷ En España las primeras procedían de Panamá y se emplearon en las minas de Río Tinto. Revista minera, Tomo 37, 1886. Pág. 191

5.3.-Aspectos de la representación gráfica de la época.

En el siglo XIX la representación gráfica se encontraba envuelta en un periodo de transición, marcada por la revolución industrial. La llegada de nuevas tecnologías, máquinas más modernas y nuevos métodos de fabricación, hacían cada vez más necesario una forma de dibujar centrada en la representación de las máquinas y sus elementos. Los nuevos dibujos requerían una mejor organización y normalización en la representación con objeto de facilitar la fabricación y producción. Se evoluciona del dibujo centrado en la representación de lo bello hacia lo útil, separando el dibujo artístico del dibujo técnico y dando origen al diseño industrial. (Casado Galván, 2009)

En este periodo los ingenieros realizan planos con un alto contenido técnico, incluyendo en ellos especificaciones de los materiales, instrucciones para el montaje, tolerancias dimensionales, pero sin olvidarse de la parte estética, confeccionando dibujos que se pueden considerar verdaderas obras de arte.

Tal era la calidad y el grado de fiabilidad de alguno de estos dibujos de máquinas, que se va a utilizar su análisis gráfico como herramienta para deducir la estructura, materiales y funcionamiento ante la falta de vestigios físicos de ninguna de las máquinas de vapor de minas de Almadén.

Para este análisis se utilizará la metodología sugerida por (Zulueta Pérez, 2007). Para ello es necesario conocer primero la utilidad y finalidad de los elementos dibujados. En segundo lugar se determinara el sistema de representación, la técnica utilizada, las líneas, los colores, las sombras, los efectos de iluminación, las cotas, las escalas y la presencia o no de lenguaje alfanumérico.

Sistemas de Representación.

Como norma general el sistema de representación utilizado estaba ligado al conocimiento técnico y científico del autor, lo que marcaba el grado de precisión, definición y belleza de los planos.

Lo habitual antes de la elaboración de un plano era realizar un croquis o boceto, usualmente dibujado a mano y de cierta sencillez. El plano en sí, poseía un mayor grado de definición, y en lo que a máquinas se refiere inicialmente se solían representar como si de un conjunto se tratase. A medida que el maquinismo se hacía más presente, la definición de las máquinas en los planos va aumentando apareciendo en ellos su despiece.

Esta nueva forma de entender la representación de las máquinas hizo cada vez más patente la necesidad de utilizar vistas ortogonales para una mejor comprensión. La mayor parte de los primeros dibujos de máquina eran descripciones escenificadas donde recurrían principalmente al uso de la perspectiva.

Las vistas utilizadas no tenían un orden establecido y se nombraban de diferente manera, icnografía, costado, perfil. A pesar de ello se ponía un gran esmero en identificarlas, añadiendo información para identificar la dirección y el sentido de la vista representada, utilizando flechas, símbolos y textos como *Vista por la línea AB*, todo ello sin olvidarse del aspecto estético. La colocación de las vistas dependía de varios factores como eran el espacio disponible en el papel, de la información que se pedía o del aspecto estético.

La representación en los planos de los elementos y vistas no comienza a normalizarse hasta la utilización del sistema de representación diédrico inventado por Gaspard Monge, basado en la proyección cilíndrica ortogonal, a principios del siglo XIX. Esta sistematización de Monge, puede considerarse la base teórica del dibujo técnico que utilizamos en la actualidad.

Esta nueva normalización, no solo dio un orden establecido a los dibujos, también sirvió para simplificar la elaboración de los mismos. Ejemplo de ello es que en los planos estudiados la representación de los elementos mecánicos de una máquina como puede ser una cadena, un eje, etc., se realizaba de forma hiperrealista, definiendo en un alto grado de exactitud sus características geométricas y funcionales. En la actualidad este tipo de

elementos están normalizados en función del tipo y del grosor de línea utilizado.

Otro recurso utilizado por los delineantes para una mejor definición del objeto o de la máquina era la representación de secciones. La intencionalidad de este recurso no era otra que la de mostrar el interior del objeto en un mismo dibujo, que sin su empleo sería necesaria la utilización de más de una vista, para la completa definición del objeto en sí. (Zulueta Pérez, 2011)

Técnica del Grabado.

El empleo de la técnica de grabado en Europa y en España pueden fijarse en el siglo XV. La técnica 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.

Durante el siglo XVIII, el grabado en España, se utilizaba principalmente para la divulgación científica, cartografía, geografía y estampas artísticas.

Dada la gran importancia que la máquina tuvo en esta época, la técnica del grabado fue uno de los recursos más utilizados para la divulgación técnica de las mismas. Frente a un dibujo artístico, el dibujo de una máquina lleva la necesidad de utilizar útiles específicos, por lo que no se podía dibujar directamente sobre la plancha metálica. En estos casos se dibujaba inicialmente sobre un papel, y posteriormente se calcaba sobre la plancha. Como ejemplo en España tenemos la obra de Juan López de Peñalver en la *Descripción de las Máquinas de más utilidad que hay en el Real Gabinete de ellas establecido en el Buen Retiro* de 1798. Obra donde encontramos láminas grabadas con representación de diferentes técnicas como la técnica de agua⁵⁸ o la del buril⁵⁹ (Rumeu de Armas, 1990).

⁵⁸ Variedad de la técnica del agua fuerte, donde la plancha se ataca mediante una agresión química.

⁵⁹ Técnica donde la plancha se graba mediante un buril o puntas de acero para realizar las incisiones necesarias.

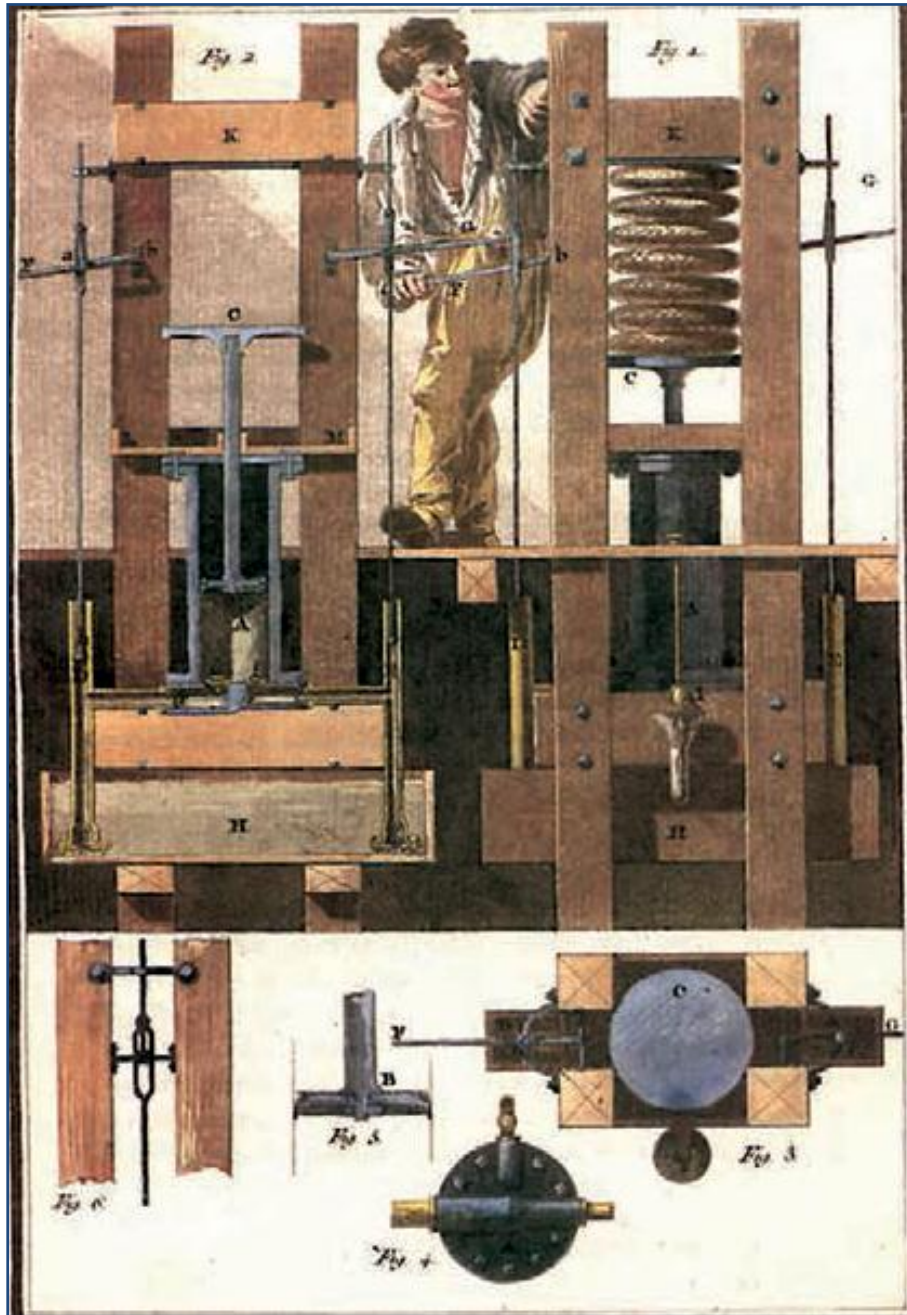


Figura 63. Lámina grabada de Juan López de Peñalver.
<< La Prensa de Bramah >>. El Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro.
Fuente: (Silva Suarez, 2005)

Técnica del Dibujo Lavado.

La mayor parte de los planos que se van a estudiar, están dibujados con esta técnica.

El lavado, es el arte por el que a cada material se le aplica un color similar a la realidad, con el objeto de distinguir perfectamente todas las partes del dibujo. Junto con los colores se utilizan efectos de iluminación y sombras para darle un efecto más real al dibujo y una sensación tridimensional. Las formas y los volúmenes se obtienen mediante la superposición de sucesivas capas transparentes de tinta lavada al agua aplicadas con pincel, produciendo sensaciones de variación de texturas y sombras.

Comúnmente, la iluminación utilizada en estos dibujos era del tipo natural con una dirección de izquierda a derecha y de arriba a abajo con una inclinación de 45°. Hoy en día es la fórmula más empleada en las sombras, pero ya en la época en estudio de autores como (Bandarán, 1838), hace referencia a las ventajas de utilizar dicha inclinación, incluso justificando que es la inclinación con la que los rayos solares molestan menos a la visión humana.

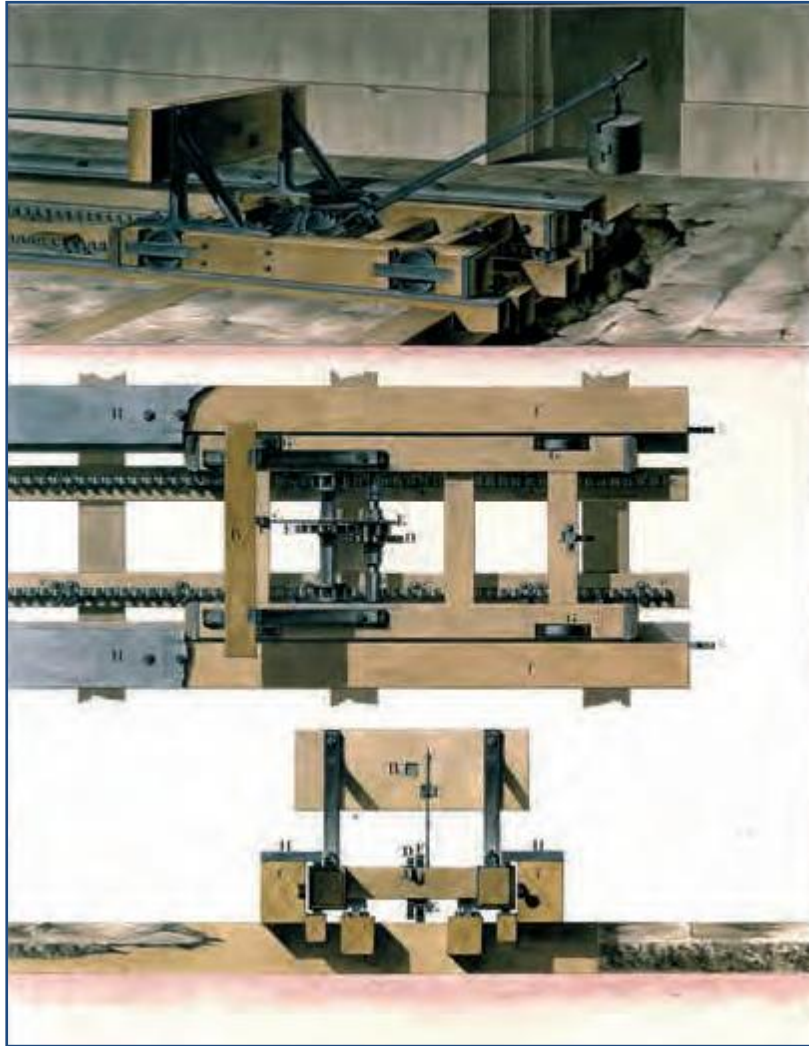
Para la elaboración de estos dibujos, en primer lugar se trazaban las líneas de los contornos con tinta ligera, y muy finas avivando posteriormente las que fuesen necesarias. Concluido los contornos del dibujo se pasa a realizar las sombras y los colores fuertes porque si se pretendían dar después era más complicado ya que una vez que se aplica una tinta sobre el papel este se impregna y se endurece. Y por último se aplican los colores, habiendo conseguido con el blanco del papel y las sombras el mejor contraste posible y si se hiciese al revés los colores quedarían muy oscurecidos. (J.A. & L., 1833)

El proceso de elaboración es mucho más complejo de lo que aquí se ha expuesto y había que prestar especial atención en la elección del papel. Si este era de mala calidad absorbía la tinta rápidamente sin dejar tiempo para su extendido. Esto se solucionaba aplicando en primer lugar una capa de tinta muy clara y cuando el papel quedada suficientemente humedecido se procedía a su lavado.

La aplicación de la tinta debía hacerse con un pincel de la manera más delicada posible y con un segundo pincel humedecido, en su justa medida, se lavaba la tinta empezando por donde se terminó de aplicar hacia donde se

comenzó. Todo esto, en un tiempo que viene determinado por el tiempo de secado de la tinta.

Una de las obras de mayor calidad donde se puede ver la técnica del dibujo lavado en detalle, es la *Descripción del establecimiento de Yndrid, donde se funden y barrenan los cañones de hierro para la Marina Real de Francia*⁶⁰, d Agustín Betancourt, 1791.



**Figura 64. Dibujo lavado al agua de Agustín de Betancourt.
<< Descripción del Establecimiento de Yndrid >>.
Fuente: (Silva Suarez, 2005)**

⁶⁰ Obra que se encuentra actualmente en la Biblioteca del Palacio Real de Madrid.

Líneas, Colores, Símbolos y Figuras.

En la actualidad los tipos de líneas utilizados se encuentran normalizados y se denominan, línea continua, discontinua, trazo y punto, trazo y doble punto. Igual sucede con el grosor de las mismas, pues este se encuentra normalizado por la serie geométrica de razón $\sqrt{2}$, ideada por el ingeniero Charles Renard en el siglo XIX, cuyos números naturales son: 0,18; 0,25; 0,35; 0,5; 0,7; 1 mm..., con la relación grueso-fino en la proporción 2:1. (Zulueta Pérez, 2007)

Durante el siglo XVIII y el XIX, antes de la aparición de la normalización, se utilizaba una línea continua más o menos gruesa para los contornos y las aristas y una línea de puntos para ejes de simetría, líneas auxiliares, líneas ocultas y líneas de cota.

La línea de puntos, además de los casos anteriores, también se utilizaba para identificar un plano de corte o un punto de vista, aunque en ocasiones el plano de corte venía representado por una línea de trazo y dos o tres puntos. Independientemente del tipo de línea utilizado habitualmente, el plano de corte iba acompañado con notaciones alfabéticas o numéricas para una mejor interpretación. Otra utilidad más de la línea de puntos era la de marcar el movimiento de un mecanismo, mostrando así una posición alternativa del mismo.

Los grosores de las líneas estaban limitados por la herramienta de dibujo, en este caso la pluma, a tres tipos: grueso, mediano y sutil. El grueso se conseguía con todo el corte de la pluma, el mediano se conseguía con la pluma ladeada y el sutil trabajando con la pluma diagonalmente. Un contraste claro del grosor de línea, lo tenemos presente en los enmarcados de los planos. Comúnmente se componían de dos líneas, una gruesa y otra fina, e incluso de tres líneas siendo la central gruesa y las de ambos lados finas.

No existían reglas específicas para el uso de los colores en los planos, dependiendo casi siempre de los conocimientos y de la técnica del propio autor.

En la actualidad existe la norma UNE 48103:2014, que clasifica como colores elementales el Blanco, Negro, Rojo, Amarillo, Azul y Verde y a través de sus mezclas se consiguen el resto de los colores. Clasificación que no coincide con la que aparece en los tratados estudiados de la época.

En el manuscrito anónimo del arte de lavar, mencionado en la obra de (Zulueta Pérez, 2007), aparecen como colores primarios el Negro, Blanco, Violeta y Amarillo, obteniendo el resto a partir de sus mezclas. Sin embargo en (Fernandez, 1778) indica que los colores empleados en el dibujo lavado eran el Carmín (rojo), Gutagamba (amarillo), Verde de Gris Líquido (azul celeste), índigo o Añil Fino (azul), Extracto de Regaliza (marrón) y Tinta China (negro), y al igual que en los casos anteriores con la mezcla de los colores principales conseguían el resto de colores.

A continuación se detalla la forma de representar algunos de los elementos más habituales en los planos y que ayudará a la posterior interpretación de los que se van a utilizar en este trabajo de investigación:

- Los muros de mampostería se representaban con líneas rojas y lavados con carmín, con un color suave al muro que no es seccionado y con mayor intensidad a todo lo que este cortado, quedando los huecos de las ventanas y las puertas en blanco. En cuanto a los huecos de las habitaciones se dejaban sin lavar, pero si aparecían cortados se lavaban con tinta china, dando mayor intensidad cuanto más cerca estuviese de la línea de corte.
- Los tejados de teja se dibujaban de color rojo con tonos amarillos, y los de pizarra, con tonos pardos y sombras azules oscuras, de una forma similar al hierro.
- La carpintería de madera como vigas, jácenas, tablas, se coloraba en madera (mezcla entre el rojo y el amarillo), incluso los nudos a base de unos golpes de la pluma con tinta china.
- Los pernos, clavos, engranajes, ruedas metálicas se representaban con tinta china o añil, y en función de la tonalidad se utilizaba azul o verde. De esta forma se conseguía el tono azulado característico. En el caso de que el metal fuera bronce, cobre o metal fundido, era algo más complicado pues no existían tintas con un color similar, pero se realizaban con tinta china y con verde.
- En lo que se refiere a paisaje, la hierba se dibujaba en verde oscuro, las praderas en un verde mezcla de amarillo y azul. Los

terrenos cubiertos de hierba con una mezcla de tinta china, verde y rojo oscuro. Para las tierras de labor se utilizaba el rojo y amarillo con un poco de verde claro

- El cielo, en caso de encontrarse sereno, se utilizaban azules claros, y cuando estaba nublado, se utilizaba tinta china con añil.
- Los arroyos y los ríos al igual que el cielo se lavaba con azul claro, dibujando las ondulaciones con un tono más intenso y marcando la dirección de la corriente con una flecha. Los estanques, pantanos, lagos, se dibujaban con tinta azul con unas pinceladas de verde.

En lo referente a los símbolos, tampoco existía codificación alguna y menos aún en lo referente a la representación de máquinas. Sin embargo en el ámbito de la cartografía o la topografía si se utilizaban símbolos para simplificar la elaboración y compresión de los planos. (Fuentes Ferrera, 2012)

En cuanto a la utilización de figuras humanas y de animales con intención de indicar el funcionamiento de la máquina representada, en ocasiones solían usar partes independientes del cuerpo humano como eran la mano o el ojo, además de objetos o flechas, todo ello con el mismo fin de escenificar el movimiento de la máquina o marcar el sentido de giro de algún mecanismo para facilitar su interpretación.

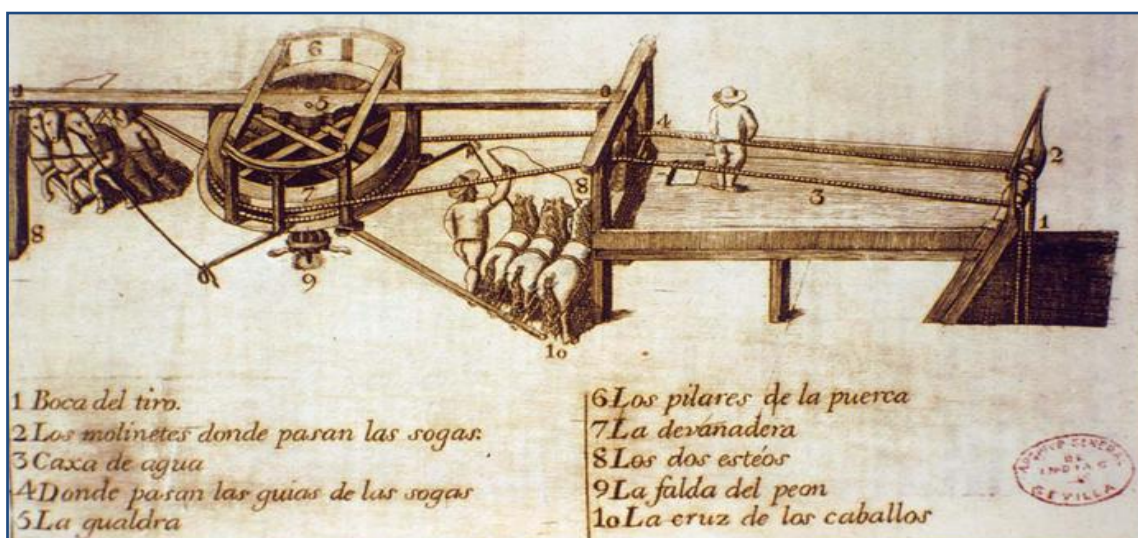


Figura 65. Plano malacate. Fuente: Archivo General de Indias, MP-INGENIOS, 196.

Escalas.

La escala es un elemento fundamental en cualquier dibujo para poder establecer relaciones proporcionales entre las dimensiones reales y las representadas y de esta forma conseguir materializar o hacer realidad lo que se encuentra representado en un plano.

La tabla siguiente muestra la equivalencia entre las medidas antiguas y el sistema métrico decimal.

EQUIVALENCIAS UNIDADES DE MEDIDA								
	TOESA	VARA C.	PIE F.	PIE C.	PULGADA	LINEA	PUNTO	METRO
TOESA	1	2	5,17	6	72	864	10368	1,67
VARA CASTELLANA	1/2	1	2,59	3	36	432	5184	0,84
PIE FRANCES ⁶¹	0,19	0,38	1	1,16	13,92	167,12	2005,41	0,32
PIE CASTELLANO	1/6	1/3	0,86	1	12	144	1728	0,28
PULGADA	0,014	0,028	0,072	0,084	1	12	144	0,023
LINEA						1	12	0,0019
PUNTO							1	0,0001
METRO								1

Tabla 11. Equivalencias unidades de medidas. Fuente: (Fuentes Ferrera, 2012)

En España aparece una primera normalización de escalas el 4 de Julio de 1718 con la publicación de las primeras Ordenanzas del Cuerpo de Ingenieros Militares españoles promulgadas por el rey Felipe V y en la que entre otras cosas establece como unidades principales la legua española, la legua francesa, la milla de Italia y la vara castellana.

⁶¹ El Pie Francés también podía denominarse “pie de París”, “pie de Rey de París” o “pie del Rey Francés”.

En el año 1757 se publican las ordenanzas del Conde de Aranda, Director General de Artillería e Ingenieros. En 1803 las nuevas Ordenanzas del Real Cuerpo de Ingenieros del ejército, todas ellas basadas en la legua, el pie o la vara castellana. Sin embargo, nuestro sistema actual de medida no se fundamenta en estas primeras ordenanzas, sino que lo hace en el sistema métrico con las unidades del metro, el gramo y el litro introducido en Francia en 1795.

Algunos ingenieros como Betancourt, manifestaban que para construir una máquina a un tamaño más grande que el representado en un plano, no solo bastaba con aplicar la escala, pues efectivamente geoméricamente el resultado iba a ser correcto, pero la fuerza, la velocidad o el movimiento no seguían la misma proporcionalidad y si se realizaba así probablemente sería un fracaso. Por ello indicaba que las líneas seguían la razón de la escala, las superficies la de los cuadrados y los sólidos o pesos la de los cubos. (Betancourt, 1792)

Lenguaje Alfanumérico, Cotas.

Representada la máquina, el objeto o un dibujo, y sobre todo si es de carácter industrial, se necesita un lenguaje alfanumérico para completar su definición. A tal fin, los planos iban acompañados de leyendas aclaratorias del significado de los símbolos utilizados. En ocasiones la leyenda no solo servía para definir la nomenclatura o simbología utilizada, también se utilizaba para explicar las ventajas de un nuevo invento o para indicar el funcionamiento de un objeto. En función de la extensión de la leyenda podía incluirse en el mismo plano o elaborarse en un documento aparte que acompañaba el dibujo en forma de anexo.

Entre los tipos de letras más utilizados se encontraban, la romana mayúscula recta o inclinada, romana minúscula⁶² recta o inclinada, la bastardilla similar a la cursiva, y la de mayor uso la bastarda moderna.

⁶² La romana minúscula también podía denominarse romanilla o redonda de imprenta.



Figura 66. Parte caligráfico letra romana. Fuente: (Fuentes Ferrera, 2012)

En cuanto al tamaño de la letra este era muy variado pero puede decirse que las letras minúsculas oscilaban en un tamaño entre un cuarto o un tercio de línea y una línea⁶³, y las mayúsculas entre una línea y tres líneas.

Los números, al igual que las letras, se acogían en la medida de lo posible a los criterios establecidos para las letras. Podían utilizarse casos, como la numeración de partes o piezas del elemento representado que posteriormente se detallan en la leyenda. También se utilizaban para determinar las dimensiones de un objeto a través de su acotación.

⁶³ La dimensión de 1 línea equivale aproximadamente a 1,93 mm.

El recurso de la acotación, era escasamente utilizado pues el concepto de medida y la toma de estas se hacía a partir de la escala gráfica incluida en el plano. En el caso de la existencia de acotación en los planos, no se puede establecer ningún criterio, en lo que se refiere al tipo de línea utilizado o a la posición de la cifra de la cota.

Como se ha podido observar, prácticamente ninguno de los recursos utilizados en la representación de un plano seguía una norma establecida. La normalización en la representación gráfica llegaría a partir del siglo XIX con el desarrollo de lo que hoy en día se conoce como dibujo técnico o dibujo industrial, dando lugar a unos planos totalmente normalizados, sin color, sin sombras, sin carácter artístico, prácticamente indescifrables para personas sin conocimiento en la materia.

A finales del siglo XX, la mentalidad de los ingenieros vuelve a cambiar con la entrada en escena las herramientas informáticas como los programas de modelado en 3D y los programas de simulación. Estas herramientas, nos ofrecen la oportunidad de utilizar colores, texturas, efectos de iluminación, de movimiento, introduciendo nuevamente al concepto de “bello”, desaparecido durante muchos años, en el campo multidisciplinario del diseño industrial.

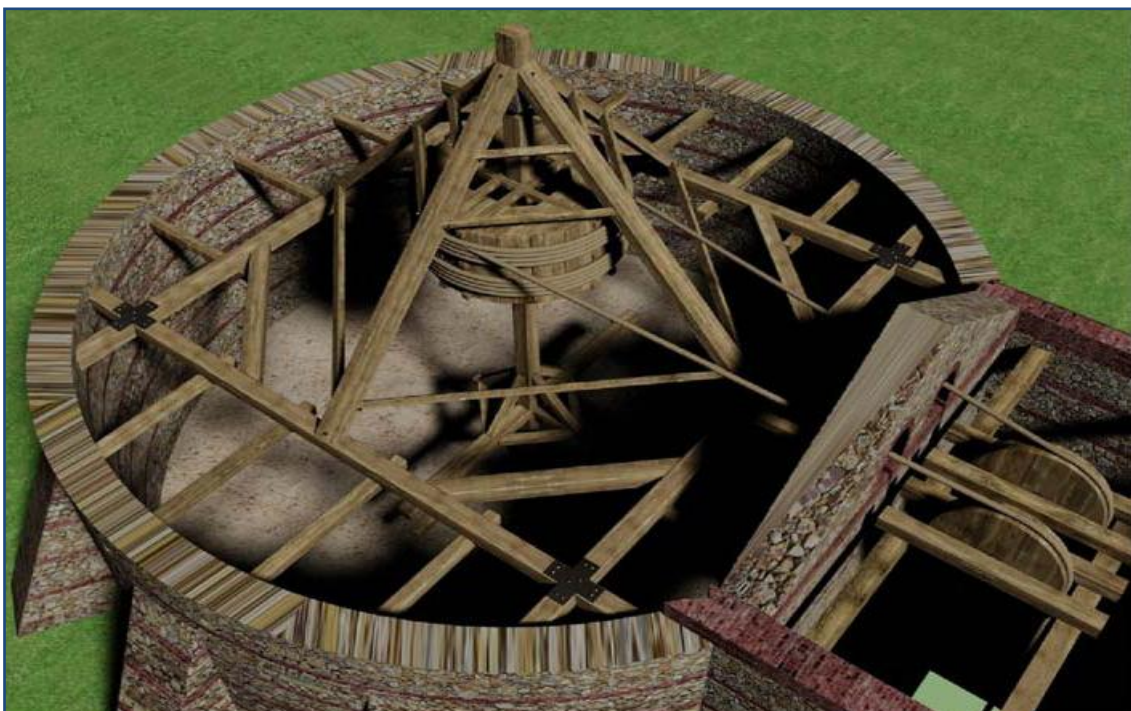


Figura 67. Reconstrucción Virtual Baritel Santa Cristina de Almadenejos (Ciudad Real)
Fuente: (Almansa Rodríguez, 2012)

5.4.-Las Minas de Almadén.

5.4.1.-Breve historia de las Minas de Almadén.

El yacimiento de Minas de Almadén, se estima que se formó aproximadamente hace unos 430 millones de años, junto con otros de menor importancia que también se encuentran en la zona. Como mineral principal en todos ellos está el cinabrio o sulfuro de mercurio, con su color característico rojo bermellón. También está presente en el yacimiento el mercurio nativo o líquido, aunque difícilmente recuperable por su movilidad.

El inicio de la explotación minera de Almadén, ha sido estudiado por numerosos investigadores, y ninguno de ellos ha conseguido datarla con precisión.

Se cree que los primeros en obtener *Argentum vivum* (azogue virgen), fueron los cartaginenses en el siglo IV a.C. Las palabras del historiador Diodoro Sículo⁶⁴, citado por (Gil Bautista, 2012), nos dicen que las minas de España habían sido explotadas antes por los cartaginenses que por los romanos. Incluso (Pontes y Fernández, 1900), se refiere al arquitecto Callias, quien fuera el encargado de las minas de Sisapo durante la dominación cartaginense en España, haciendo mención a la abundancia de azogue que se producía en ellas.

Se podría decir que durante la dominación cartaginense las minas de Almadén ya eran conocidas, pero no que este fuese su inicio de explotación ya que la documentación existente solo hace mención a su utilización y nunca a su descubrimiento.

Si está claro que las minas de Almadén son conocidas desde tiempos inmemoriales. Ya aparecen en las obras de Teofrasto (332 años a.C.), y de Vitrubio⁶⁵ (siglo I a.C.) donde queda clara la riqueza de los yacimientos de "Giro" o "Hydrargiros", de donde se extraía el bermellón que se llevaba a Grecia

⁶⁴ DIODORO SÍCULO o de SICILIA (Agyrion, Sicilia, c. 90-fines s. I a.n.e.). Historiador griego coetáneo de César y Augusto.

⁶⁵ En su obra *Los Diez Libros de la Arquitectura*. Lib. VII cap. IX.

y a Roma. O las referencias que tenemos de Plinio⁶⁶ a finales del siglo I d.C., en la época romana.

“Las oficinas establecidas en Efeso, para fabricar bermellón, se han trasladado a Roma, por haberse encontrado venas de este mineral en España, de cuyo país se lleva a la ciudad la piedra con que los asentistas preparan el color.....”.

La piedra que se recibía en Roma era de Almadén, porque Plinio situaba las minas de cinabrio en la Bética región Sisaponense. Aunque la ubicación de la antigua ciudad de “Sisapo” se halla en el municipio de La Bienvenida (Ciudad Real), entendemos que Plinio se refería a la región sisaponense y no a la ciudad en sí, por ello, parece lógico pensar que la famosa mina era en realidad un conjunto formado por la minas de Las Cuevas, Guadalperal (al redescubrirse en el S. XVIII, presentaban signos de haber sido ya explotadas) y la mina de Almadén, que debido a una intensa explotación milenaria, ha borrado los restos de las antiguas explotaciones. La razón por la que el lugar de Sisapo se encontraba apartado de las minas se debe a que era también el centro gestor de todo un gran conjunto de minas que se localizan en esta zona de Sierra Morena. (C. Fernández et al., 1983)

Tras la explotación de los romanos, las minas pasaron a mano de los visigodos, época en la que aparentemente las minas perdieron gran importancia. El vacío o la inexistencia documental de este periodo nos impiden poder hablar sobre él.

Fue en tiempo de la dominación árabe cuando se revitalizó la minería en Almadén. En esta época se destila el cinabrio para la producción de azogue mediante los hornos de xabeca. Introducen numerosos vocablos entre ellos el nombre de Almadén, que proviene de la palabra *al-madin* que en árabe significa *la mina*.

Durante el periodo árabe, según el historiador Al-Edrisi, *“más de mil obreros llegaron a tener explotando las minas y enviando el mercurio a todo el mundo”*. Lo que dejaba claro la importancia de estas minas para los árabes, pues varias son las menciones a la exportación masiva de este mineral, como

⁶⁶ En su obra Historia Natural. Lib. XXXIII cap. VI, VII y VIII.

por ejemplo la de, Ubu Fadi Allak´Omari, quien cuenta que: “(...) *al norte de Córdoba hay una mina, de la que se extrae azogue y cinabrio que son exportados al mundo entero*”.

Estas evidencias dejan claro que desde su invasión hasta la reconquista las minas fueron explotadas por los árabes, el propio (Escosura y Morrogh, 1878), nos cuenta que utilizaban el bermellón como elemento decorativo e incluso la posibilidad de que utilizasen el azogue para la amalgamación en la obtención de oro.

De esta época datan también la fuente de mercurio situada en el Palacio de Medina Azahara de Córdoba y la construcción del Castillo del Retamar situado estratégicamente en el centro del casco urbano histórico de Almadén (V.V.A.A., 1926)

Cuando la comarca es conquistada por Alfonso VII en el año 1151, la mina pasa a ser explotada por los Caballeros Templarios. Tras las continuas incursiones de los árabes, desde el Valle de Los Pedroches, para recuperar el territorio perdido, los Caballeros Templarios temerosos y desconfiados de sus propias fuerzas deciden ceder todo el terreno a la Orden de Calatrava, incluidas las Minas de Almadén.

El 27 de marzo de 1168 (expedido en Toledo), la Orden de Calatrava, recibe del rey Alfonso VIII el privilegio de ceder la mitad de Chillón y su Castillo con su Almadén (como se conocía por aquel entonces la mina), y la otra mitad a los Condes de Lara D. Nuño y Dña. Teresa⁶⁷. Este documento extractado dice así:

*“Ego Aldefonsus, Dei gratia Rex, dono et concedo...
bobis Comiti Nunnioni, vestraeque uxori Comitissie Teresiae...
illud Castrum de Chillón integrum, cum omnibus terminis
suis... Dono inquam bobis praedictum Castrum totum atque
integrum cum sua Almadén (...)”*

⁶⁷ Archivo Histórico Nacional. Sección de Ordenes Militares, nº 4.

Este privilegio fue confirmado varias veces, la primera por Fernando III el 16 de Febrero de 1249 en Sevilla⁶⁸, la segunda por Alfonso X El Sabio, hijo de Fernando III, el 16 de Abril de 1254 en Toledo⁶⁹ y en última instancia por Sancho IV El Bravo, hijo de Alfonso X, quien en rebelión contra su propio padre donaría la totalidad de las minas a la Orden de Calatrava, el 13 de Enero de 1285 en Valladolid, ratificándolo el 6 de Enero de 1289 en Atienza⁷⁰.

La Orden de Calatrava puso de nuevo en valor las riquezas de las minas, comercializando bermellón y mercurio por todo el mundo. Tal fue el éxito de esta exportación, que en 1308, Fernando IV, les otorgo el monopolio de la venta de mercurio.

Durante el periodo bajo esta Orden se inician los periodos de arrendamientos de las minas, habituales a lo largo de su historia. El primer arrendamiento se hace a unos industriales catalanes, posteriormente a manos de unos comerciantes genoveses, siendo en ambos casos el pago del arriendo en un tanto por ciento de la producción obtenida, o como se decía en la época, en quintales de mineral arrancado (Pontes y Fernández, 1900).

En Febrero de 1368 las minas pasan a ser propiedad de la Hacienda Real, aunque seguían estando regentadas por la Orden de Calatrava, regencia que se extiende hasta el año 1487, en el que los Reyes Católicos asumen su total propiedad. Ese mismo año Fernando el Católico es nombrado administrador de la Mesa Maestral de Calatrava. Durante este periodo, Almadén recibe la confirmación como Villa con un privilegio de los Reyes Católicos, firmado el 4 de Abril de 1492 en Sevilla. En el siglo XVI, durante el reinado de Carlos I, se produce la inclusión de todos los maestrazgos de la Orden de Calatrava a la Corona, entre ellos las Minas de Almadén. (Gil Bautista, 2012)

Bajo el reinado de Carlos I se inicia el periodo de arrendamiento más largo en la historia de las minas. Este arrendamiento tiene su origen en un préstamo de 200.000 ducados que pidió el Emperador a los hermanos Fugger (conocidos en España como los Fúcares), banqueros alemanas, quienes recibieron en pago de la deuda el arrendamiento de las minas durante 20

⁶⁸ Archivo Histórico Nacional. Sección de Órdenes Militares, nº 64.

⁶⁹ Boletín de la Academia. Tomo XXV. Pág. 19, nº 84.

⁷⁰ Archivo Histórico Nacional. Sección de Órdenes Militares, nº 113 y 116.

años, desde 1525 hasta 1545. Al finalizar este primer contrato, los herederos de los Fugger siguieron recibiendo en arrendamiento las minas con contratos que iban de diez en diez años hasta 1645, después de 120 años de monopolio por no poder hacer frente a los gastos que conllevaba su mantenimiento. (Matilla Tascón, 1958; Zarraluqui, 1983)

Durante este periodo se desarrolla el método para la obtención de plata mediante la amalgamación del mercurio, conocido como “*El Método del Patio*”, por Bartolomé Medina en 1555, (Castillo Martos, 2006). Esto supuso una verdadera revolución para la obtención de metales preciosos en las minas americanas y el consiguiente aumento de la demanda de mercurio a España. De este modo la Mina de Almadén se convierte en una forma de financiación del reino y en una de las joyas más preciadas de la corona.

En búsqueda de un mayor rendimiento ante el aumento de la demanda de mercurio, los Fugger introducen unos nuevos hornos, los hornos de reverberación para destilación del mercurio, sustituyendo a los antiguos hornos de xabeca introducidos por los árabes.

El aumento de la producción también trajo consigo la necesidad de mano de obra. Esto supuso un gran problema debido a las condiciones insalubres y a la dureza de los trabajos, que hacía de ellas un lugar poco atractivo para trabajar. El rey Felipe II firma la Real Cédula de 25 de Septiembre de 1566, pone a disposición de los Fúcares a 30 galeotes⁷¹ en calidad de forzados para la mina, cantidad que fue aumentando en función de las necesidades de producción. (Martinez Martinez, 2004)

Con esta medida se consiguió incrementar el número de presos que trabajaba en las minas, pero generando el problema de su realojamiento. Como solución se utilizaron varios edificios o cárceles antiguas, que fueron quedándose pequeñas a lo largo del tiempo, por lo que finalmente tomaron la decisión de construir la Real Cárcel de los Forzados de Almadén⁷² en 1754.

⁷¹ Los hombres condenados a remar en galeras como forma de pago por algún delito cometido se les conoce con el nombre de galeote.

⁷² Cárcel que se construyó en el terreno que actualmente ocupa la Escuela de Ingeniería Industrial y Minera de Almadén de la Universidad de Castilla la Mancha.

Terminado el arrendamiento de los Fugger y dejando las minas en un estado lamentable y prácticamente sin trabajadores, Felipe IV ordena en 1646, que sea el Consejo de Hacienda quien se haga cargo de la mina, finalizándose así el sistema de arriendos de Minas de Almadén. (Matilla Tascón, 1958)

Se crea la figura del Superintendente de las minas, que recae en Juan Alonso de Bustamante (1647 a 1651), a quien se le hizo venir expresamente desde las minas de Perú. Su primer trabajo fue realizar una memoria sobre el estado en el que se encontraban las minas después de finalizar el arriendo.

En el informe, Bustamante propone sustituir los hornos de reverberación por los hornos de aludeles utilizados en las minas de Perú. Estos hornos habían sido inventados en Huancavelica (Perú), por Lope Saavedra Barba y puestos en uso en esas minas. En Almadén estos hornos son conocidos como hornos de aludeles o de Bustamante, en alusión a la persona que los introdujo en las minas.

Con este nuevo episodio de las minas, se puede observar que los cambios tecnológicos en la metalurgia de Almadén están relacionados con los nuevos dueños. Los hornos de xabeca introducidos por los árabes fueron sustituidos por los de reverberación de los Fugger, y en esta ocasión los de reverberación han sido sustituidos por los de aludeles de Bustamante. Todo esto nos da a entender, que cada cambio de poder, suponía una inyección económica más o menos cuantiosa, para mejorar los números del anterior administrador.

Desde 1645 hasta 1825, las minas vuelven a ser explotadas por la Corona, encargándose de ellas sucesivamente organismos como:

- El Consejo de Hacienda
- La Junta de Azogues (perteneciente al Consejo de Indias)
- La Superintendencia General de Azogues
- Dirección de Rentas y Real Hacienda de Indias

Coincidiendo con los cambios de administración y con los procesos de reorganización que cada uno de estos cambios suponía, se produce en las minas una de las catástrofes más significativas de su historia. El 7 de enero de

1755, comenzó un incendio⁷³, originado “supuestamente” por una tea⁷⁴ mal apagada, que prendió las maderas de las galerías. Treinta meses duró el incendio, debido a la gran cantidad de maderas almacenadas en el interior. Así, el establecimiento se vio obligado a paralizar las labores hasta 1757, dejando atrás un número considerable de muertos, la migración de los obreros en busca de nuevos trabajos y el daño ocasionado en las instalaciones bien por el fuego, o por la inundación de los pisos por no poder realizar las labores de desagüe. (Zarraluqui, 1983)

La ineficacia de los métodos utilizados para extinguir el incendio motivó la visita de distinguidos técnicos del ramo de minas, entre ellos el ingeniero de minas Köehler, quien fue nombrado en 1755 como el primer Director de Minas, ejerciendo la función de máximo responsable de la dirección técnica de éstas. Aunque su presencia no fue destacada, por un lado por el incendio y por otro por su pronto fallecimiento en 1757.

Otros sucedieron a Köehler en el cargo, como Cristóbal Storr o Juan Martín Hoppensack, técnicos de la Escuela de Minas de Freiberg, Sajonia. Todos ellos con el objetivo principal de mejorar las técnicas de explotación, ante el desastroso estado de las explotaciones tras el incendio y la misión de formar a nuevos técnicos españoles especializados en el ramo de minas.

Obligados a buscar alternativas ante la imposibilidad de rehabilitar las labores incendiadas, se buscaron nuevos yacimientos como los de las Cuevas, Guadalperal, Concepción, Valdeazogues y el Entredicho. Con el fin de mantener a los trabajadores ocupados, se les destinó a diferentes proyectos arquitectónicos como la construcción de la Plaza de Toros Hexagonal⁷⁵, el Real

⁷³ Hay suposiciones de que el incendio fue provocado por los forzados, para evitar sus labores en el interior de la mina.

⁷⁴ Una tea era una antorcha de esparto empapada en aceite, con la que alumbraban las labores de interior.

⁷⁵ Construida con dos fines, solucionar el problema de la vivienda en Almadén, y como coso taurino para celebrar festejos y reuniones sociales. Además con el alquiler de las viviendas y los beneficios de los festejos servían de ayuda para realizar la obra del Real Hospital de los Mineros de San Rafael.

Hospital de los Mineros de San Rafael⁷⁶ o la muralla que rodea el cerco de Almadenejos⁷⁷.

Para la formación de nuevos técnicos de minas, e instruirlos en la teoría y en la práctica de la Geometría Subterránea y Mineralogía, Carlos III, crea la Academia de Minas de Almadén⁷⁸, mediante la publicación de la Real Orden del 14 de Julio de 1777. Se nombra como primer director a Enrique Cristóbal Störr, compaginando la dirección de las minas y la academia. (Mansilla Plaza & Fernández, 2010)

En ese mismo año con la finalidad de que la mina tuviese a su disposición un mayor número de trabajadores, Carlos III decreta el 11 de marzo en El Pardo, la incorporación de Chillón a Almadén, junto con la Dehesa de Castilseras para disponer de terrenos de labranza y poder enviar a los trabajadores a sanearse realizando trabajos de agricultura al aire libre. (De la Cruz Martinez, 1993)

Durante el siglo XIX, la administración de las minas correrá a cargo del Estado, pero no siempre sobre el mismo organismo. En 1825, con la aprobación de la Ley de Minas se trasladan las competencias de las minas desde la Real Hacienda a la Dirección General de Minas, que tras formar parte del Ministerio de Gobernación, fue incluida en el de Fomento, y en 1847 nuevamente al de Hacienda.

A pesar de todos estos cambios de administración, el avance en los trabajos de la minas comienza a ser importante. Al inicio del siglo XIX se están trabajando los cuatro primeros pisos de la mina y se habían construido malacates a los pozos de San Teodoro y San Aquilino. También se da comienzo uno de los proyectos más importantes de estas minas, la

⁷⁶ Tras la crisis epidémica vivida en el año 1751, por la que se produjo una disminución de la población y por tanto de los operarios de la minas, surge en 1752 la idea de la fundación del Real Hospital de los Mineros de San Rafael. El hospital empezó a funcionar en 1774 gracias al Superintendente Francisco Javier de Villegas.

⁷⁷ En la puerta del cerco, conocida como Puerta de Almadén figuran las fechas de inicio y fin de su construcción 1756-1759.

⁷⁸ Cuarta Institución en su género en el Mundo y la Primera en España.

construcción de la Máquina de Vapor en el pozo de San Teodoro⁷⁹ (1785-1805), con el objeto de solventar los problemas del desagüe.

Coincidiendo en el tiempo con este proyecto es nombrado Director del Establecimiento Minero en el año 1803 al Ingeniero de Minas D. Diego Larrañaga y Garate. Bajo su dirección se introduce un nuevo método de explotación que llevará su nombre y que fue empujado durante más de 100 años. Este nuevo sistema contaba con la máquina de vapor para agilizar las labores de desagüe, y con la utilización de mampostería en las labores de fortificación, mucho más resistentes y duraderas que las de madera.

Durante esa época el país atravesó momentos difíciles como la invasión francesa (1808 - 1812) y la guerra carlista de 1836 y una larga crisis política. A pesar de estas dificultades en 1859 se construyó el primer ferrocarril, aunque por motivos desconocidos no pasó por Almadén. Si existe un proyecto para la construcción de un ferrocarril por Almadén, firmado en el año 1927 y elaborado por los ingenieros de caminos José María Aguirre y Martín de Abad, encargado por el Consejo de Administración de Minas de Almadén, que nunca se llevó a cabo. (Archivo Histórico Nacional, 1927) Como consecuencia de esta situación el transporte de mercurio por ferrocarril no comienza hasta principios del siglo XX, utilizando como estación principal la de Almadenejos, municipio cercano a Almadén (Almansa Rodríguez, 2012)

En 1868, se aprueba una nueva Ley de Minas, la Ley de Bases del 68 que favorece la entrada de capital extranjero y la privatización con el fin de financiar al Estado y subsanar el desastroso estado de la Hacienda Pública.

Se produce de nuevo el arrendamiento de las minas de Almadén. Ahora a la casa Rothschild, el 24 de noviembre de 1869 y por una duración de treinta años. Durante este periodo, los Rothschild, controlaron los yacimientos de Almadén en España, los de Idria en Eslovenia y los de New Almadén en California, lo que les llevó a tener el monopolio mundial del mercurio durante una gran parte del siglo XIX.

Este arrendamiento y la entrada de capital favorecieron nuevamente la evolución tecnológica del establecimiento. Entre 1870 y 1875 se instalaron las nuevas máquinas de extracción de vapor de los pozos de San Miguel, San

⁷⁹ Fue introducida por Manuel Pérez Estala y fue una copia del modelo de Watt.

Aquilino y San Teodoro. En 1904, se introducen los primeros hornos Cermak-Spirek y en 1909, se instala una nueva máquina de vapor en el pozo de San Aquilino.

En 1918 se constituye el Consejo de Administración de las Minas de Almadén como organismo encargado de su explotación y dependiente del Ministerio de Hacienda, a través del Real Decreto del 25 de Junio de 1918. En 1921 se le otorga la explotación de las minas de plomo de Arrayanes en Linares (Jaén), por lo que el consejo pasa a llamarse Consejo de Administración de las Minas de Almadén y Arrayanes. (Fuentes Ferrera, 2012)

En ese mismo año se introduce la energía eléctrica sustituyendo a la energía del vapor. Inicialmente comenzó utilizándose en el alumbrado y poco a poco se fue abriendo paso hasta convertirse en la principal fuente de energía para el establecimiento minero. Aproximadamente alrededor de 1921-1922 comenzó a utilizarse para la extracción. (Calderón Herrera, 2013)

Con todos estos avances tecnológicos, en 1941, prácticamente recién terminada la Guerra Civil española (1936-1939) y coincidiendo con la II Guerra Mundial, las Minas de Almadén alcanzan la producción más elevada en toda su historia, cifrada en una cantidad de 82.000 frascos envasados⁸⁰.

A partir de 1973, el papel del mercurio comienza a disminuir y con ello su demanda dando inicio a la crisis del mercurio. La sucesión de varios accidentes medioambientales como el de Minamata⁸¹ (Japón) en 1968, o el de Irak⁸² en 1972, provocan la caída tanto de su precio como de la producción.

Esta recesión hizo que el Ministerio de Hacienda comenzase a buscar alternativas para la revitalización de la comarca de Almadén. A partir de 1977, comenzó un proceso de reconversión de las minas y por extensión de la comarca, que hasta entonces había dependido del mercurio, a través de lo que se denominó Plan de Reconversión Económica de la Comarca de Almadén (PRECA), aprobado por el Consejo de Ministros en 1982.

⁸⁰ Fuente: <http://www.mayasa.es/esp/historia.asp>

⁸¹ Numerosas personas sufrieron envenenamiento por metilmercurio, al alimentarse de pescado expuesto a diversos compuestos de mercurio vertidos al mar por la empresa Chisso Corporation.

⁸² Envenenamiento masivo de numerosas personas por el consumo de semillas de trigo que habían sido desinfectadas con fungicidas que contenían metilmercurio.

El 31 de marzo de 1982 las Minas de Almadén, organismo autónomo del Ministerio de Hacienda, se convierte en una empresa pública denominada Minas de Almadén y Arrayanes, S.A. (MAYASA).

Como puntos principales de actuación el PRECA se centró en la potenciación de los recursos naturales de la comarca como la minería, la agricultura y la ganadería, y en la diversificación industrial de MAYASA. A pesar de las iniciativas el plan resulto insuficiente y la explotación minera de Almadén se vio avocada al cierre. (Mansilla Plaza, 2013)

El cierre de las minas comienza en 2002, con la clausura de la Mina de Almadén y Las Cuevas, en el 2003 se presenta el plan de cierre de la mina del Entredicho y se paraliza la metalurgia definitivamente. En 2002, coincidiendo con el inicio del cierre de las minas, el Establecimiento minero pasa a depender de la Sociedad Estatal de Participantes Industriales (SEPI) como único accionista.

Con el cierre de la metalurgia y la prohibición de la comercialización del mercurio, la única solución pasa por la revalorización del patrimonio minero con el fin de potenciar el turismo en la comarca. Para ello se realizó en 2003 el Plan Director del Parque Minero de Almadén como iniciativa de la rehabilitación y adaptación del patrimonio minero además de la rehabilitación ambiental y paisajista. El plazo de ejecución de este proyecto fue de cuatro años, culminando en enero de 2008 con la inauguración del Parque Minero de Almadén. (Cañizares Ruiz, 2008; Mansilla Plaza, 2013; Villar Díez, 2005)

El interés por el patrimonio minero-industrial de Minas de Almadén siguió creciendo, y para asegurar la protección del mismo, en el 2007 se presenta el expediente de declaración de Bien de Interés Cultural del Conjunto Histórico Minero de Almadén, incoado el 29 de Octubre de 2007⁸³ por la Dirección General de Patrimonio y Museos de la Consejería de Cultura de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha. Finalmente el 25 de noviembre de 2008⁸⁴, es declarado Bien de Interés Cultural, por parte del Consejo de Gobierno de Castilla la Mancha, obteniendo así una protección legal y un compromiso de conservación y protección por parte de los gestores de los bienes, además de

⁸³ Publicado el 14 de diciembre de 2007 en el BOE n° 299 y el 12 de septiembre de 2008 en el DOCM n° 189.

⁸⁴ Publicado el 1 de diciembre de 2008 en el DOCM n° 246.

ser un requisito obligatorio para poder ser reconocido Patrimonio de la Humanidad.

En el año 2009 en Sevilla, las Minas de Almadén optan por primera vez a la declaración de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO bajo la denominación “El binomio mercurio-plata en el camino real intercontinental. Almadén, Idría y San Luis Potosí”, en la categoría de “*Itinerario Cultural*”, de forma conjunta con las ciudades de San Luis Potosí (México) e Idría (Eslovenia). El resultado de esta candidatura no prosperó, al igual que la segunda presentada en 2010 en Brasilia. No fue hasta el 30 de junio de 2012 en San Petersburgo, cuando se consigue la declaración bajo la denominación de “*Patrimonio del Mercurio. Almadén – Idrija*”.

5.4.2.-Patrimonio minero e industrial de Almadén y Comarca.

5.4.2.1.-Recursos patrimoniales.

5.4.2.1.1.-Las Minas de Almadén.

Las minas de Almadén constituyen un punto de interés con peculiaridades geológicas, paleontológicas y mineras que las han hecho únicas en el mundo.

Su historia abarca un periodo de tiempo que empieza en el siglo III a.C. hasta el siglo XXI. Con más de 2.000 años de historia ha surtido de mercurio a civilizaciones como los cartaginenses, romanos, visigodos y árabes y al estado español.

El Establecimiento Minero está formado por varias minas entre las que destacan:

La mina Vieja:

Tiene un total de 25 plantas y 700 metros de profundidad, con una longitud total de galerías superior a los 120 km, constituyendo un verdadero laberinto debajo del municipio de Almadén. Dentro de ella se encuentran la mina del Pozo y la mina del Castillo, unidas entre sí por la llamada “caña gitana”. En el interior de estas minas también se encuentra la mina de los fúcares, inaccesible desde el incendio de 1755. En sus primeras plantas hoy en día quedan restos tangibles de los diferentes métodos de explotación empleados a lo largo de su historia como el de hurtos, el de testers o el de Larrañaga, hasta sus últimos días de trabajo.

La disposición vertical de los filones de mineral hizo necesaria la profundización de la mina y para su acceso se construyeron pozos y galerías.

El acceso a las primeras plantas puede hacerse desde las laderas del cerro sobre el que se sitúa la localidad de Almadén mediante los socavones de la Mina del Pozo, Mina del Castillo, Contramina, Santa Catalina, etc. Estos socavones también eran utilizados para ventilación y desagüe de las minas.

El descenso al resto de plantas se hacía a través de pozos. El más antiguo de todos es el Pozo de San Aquilino, que tiene su origen en el siglo XVI y llega hasta la planta 14 (-378 metros); en el siglo XVIII se construyeron el Pozo interior de San Andrés que parte desde la primera planta y llega hasta la cuarta con una profundidad aproximada de 108 metros; el Pozo de San Teodoro con 19 plantas (-522 metros); el Pozo de San Miguel también con 19 plantas; y por último en el siglo XX el Pozo de San Joaquín que profundiza hasta la última planta, la 25 lo que hace un total de 700 metros. (V.V.A.A., 2008)

Dentro de las infraestructuras significativas de la mina, que pueden ser visitables hoy en día, nos encontramos con el Baritel de San Andrés, La Galería de Forzados y el Torno de Castro.

Baritel de San Andrés:

El Baritel de San Andrés está situado en la primera planta de la mina del Castillo y tiene su acceso por el socavón del Castillo. Es un edificio de planta circular y bóveda esférico-cónica fortificada con ladrillo macizo de tejar, esculpido en la propia roca en el segundo tercio del siglo XVIII. Su función principal era la de albergar un malacate accionado por caballerías, que se utilizaba para las tareas de extracción y desagüe del pozo de San Andrés. (Cañizares Ruiz, 2003)

Galería de Forzados y Torno de Castro.

La Galería de Forzados (Siglo XVIII), es una galería subterránea que unía la Real Cárcel de los Forzados con la mina del Castillo pasando por el Torno de Castro y el Baritel de San Andrés. La misión de esta galería era la de llevar a los presos, condenados a trabajos forzados en las minas de Almadén, hasta la mina sin la posibilidad de ver el sol y ensartados por cadenas de hierro para disminuir al máximo el riesgo de fuga. (Sumozas García-Pardo, 2012).

El Torno de Castro⁸⁵ era un sencillo torno colocado en el interior de la mina, utilizado para las labores de desagüe mediante unas zacas de cuero que eran capaz de transportar más de 50 litros de agua. Estas labores eran unas de las más duras que podían realizarse en la mina, de ahí la falta de interés de los trabajadores para realizarlas y por lo que generalmente eran los forzados los que se veían obligados a desempeñar estas funciones. La persona que se

⁸⁵ Actualmente existe una recreación en el Parque Minero de Almadén.

encargaba de llenar la zaca recibía el nombre de charquero, los que movían el torno (normalmente 2 personas) tiradores, y el que vaciaba la zaca amainador. (V.V.A.A., 2014)

La mina La Nueva Concepción.

Esta mina está ubicada a unos 10 km de la localidad de Almadén y a 1 km de la localidad de Almadenejos, en la finca denominada Dehesa de Castilseras. Su descubrimiento se produjo en un momento de numerosas investigaciones de nuevas reservas en el distrito minero motivadas por el gran incendio de las minas de Almadén en 1755 y las inundaciones de 1766. Fue descubierta en 1779 por el oficial de minas D. Pedro Sánchez Aparicio.

La mina consta de 6 plantas más un subnivel (medio piso), lo que supone aproximadamente 170 metros de profundidad, en la que se pueden observar sistemas de explotación en transversales y galerías con mampostería y ladrillos. El cierre de estas minas se produjo en 1861 por orden de la Dirección General del ramo motivado por la baja mineralización del yacimiento y por las inundaciones. En varias ocasiones las minas fueron desaguadas para labores de investigación, que confirmaron que a medida que se avanzaba en profundidad la mineralización era más débil. (Almansa Rodríguez, 2012)

Entre los pozos más destacados se encuentra el de San Carlos con su baritel y el del Refugio. En este último se conserva un buen acceso mediante escaleras de mano.

Baritel de San Carlos.

Una de las construcciones de mayor valor arquitectónico que hoy en día podemos encontrar en la mina La Nueva Concepción es el Baritel de San Carlos, construido en el siglo XIX sobre el pozo de su mismo nombre.

El edificio en sí, es similar al Baritel de San Andrés, salvo que este está construido en el exterior, como en la mayoría de los casos, pues el de San Andrés es una excepción. Las paredes están fabricadas de ladrillo y mampostería, formando en el interior una planta circular, rematada con una bóveda esférico-cónica. Su exterior tiene forma poligonal de 16 lados, con una cubierta a 16 aguas con una inclinación de 33° que termina con una veleta en forma de cruz. Al igual que el resto de bariteles, en su interior albergaba un malacate movido por caballerizas para realizar las labores de extracción y desagüe de la mina. (Almansa Rodríguez, 2012)

La mina de Las Cuevas.

Está ubicada en la carretera Almadén a Saceruela a unos 7 km de la localidad de Almadén. Fue redescubierta en 1794 y explotada en varias ocasiones, por última vez a partir de 1982 hasta su cierre en el año 2000 por agotamiento de sus reservas. Finalmente quedó sellada en el año 2002 y sus escombreras se restauraron en el 2004.

La mina es de tipo subterránea y consta de cuatro plantas y dos subniveles de explotación, que alcanzan los 235 metros de profundidad. El último método de explotación utilizado en 1987 es, el de cámara almacén con arranque por banqueo de barrenos largos sobre cuele de chimeneas excavadas por cráteres invertidos en retirada.

En la actualidad sus edificios están siendo utilizados como almacén de azogue, pues el antiguo almacén situado en el Cerco de Buitrones de Almadén, ha sido rehabilitado y en su interior se encuentra el Museo del Mercurio.

La mina El Entredicho.

Está ubicada a 3 km de la localidad de Almadenejos y antiguamente fue denominada el Registro del Entredicho. Fue descubierta en 1771, pero los restos encontrados en labores antiguas demostraron que ya había sido explotada por los romanos.

Inicialmente la explotación se realizó de forma subterránea hasta el año 1860, que fue clausurada por orden de la Dirección General de Consumos, Casa de Monedas y Minas, llegando a tener una profundidad de 4 plantas y una profundidad aproximada de 100 metros. (Almansa Rodríguez, 2012)

La paralización de las labores subterráneas coincidió también con el cierre de la mina de Valdezogues, próxima a la del registro del Entredicho.

De ambas explotaciones surgió la explotación a cielo abierto de El Entredicho en el año 1978⁸⁶. En 1979 comienzan los trabajos utilizándose el método de corta de base elíptica⁸⁷ hasta el año 2002 que es cuando se retira el último mineral de la metalurgia. Entre los años 2003 y 2004 se procede a su restauración con la formación de un lago de 11,2 ha y 90 m de profundidad.

⁸⁶ Para su construcción tuvieron que desviar la carretera CR-424 (4km), y el río Valdeazogues con la construcción de un muro de presa y un túnel de 602 metros de longitud y una sección de 25 m².

⁸⁷ Se creó un gran embudo (cono invertido con base elíptica), cuyo eje mayor medía 450 m. y su eje menor 350 m., con una profundidad de 100 m. La altura de los bancos fue de 10 m. y la anchura de las bermas de 5 m.

5.4.2.1.2.-El horno de Aludeles o de Bustamante.

Este tipo de hornos fue creado en 1633 por Lope Saavedra Barba en las minas de Huancavelica (Perú) e introducidos en las Minas de Almadén por Juan Alonso de Bustamante en 1646, para sustituir a los hornos de reverbero introducidos por los Fúcares. Este tipo de horno estuvo en funcionamiento hasta principios del siglo XX, conviviendo con los hornos más modernos que se iban implantando en función de los avances tecnológicos y el poder monetario del establecimiento minero de Almadén.

Este tipo de hornos se construían adosados por pares, formando un bloque constituido por dos cuerpos rectangulares a dos alturas, realizados con ladrillo macizo, enfrentados entre sí, entre los que se encuentran los canales de destilación formados por los aludeles⁸⁸, formando dos pendientes descendientes en forma de “V” para facilitar el desplazamiento del mercurio por los canales hasta el recipiente de recogida.

La carga y descarga de estos hornos, se realizaba cada tres días por no ser hornos de marcha continua. La carga se realizaba en la parte interior distribuida en varias capas según tamaños y calidades. Tras cerrar el horno se procedía a quemar el combustible (madera o carbón) para calentar el mineral y obtener el vapor de mercurio, que circulaba por las cañerías de aludeles donde en primer lugar se condensaba⁸⁹ y posteriormente, ya en forma líquida, salía a través de los orificios de los propios aludeles para ser recogido. Antes de proceder a una nueva cochura los aludeles se desmontaban para su limpieza, recuperándose restos de mineral adheridos a la pared, y restos de barros, denominados hollines, que se amontonaban para su tratamiento posterior. (García de Miguel, 2010)

⁸⁸ “Aludel: Cada uno de los caños de barro cocidos, semejantes a una olla sin fondo, que, enchufados con otros en fila, se emplean en los hornos de Almadén para condensar los vapores mercuriales producidos por la calcinación del mineral del azogue” (Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española).

⁸⁹ Para facilitar la condensación del vapor de mercurio, era necesario regar los aludeles con agua fría.

En la actualidad, dentro del Parque Minero podemos encontrar un edificio con dos hornos aludeles adosados denominados San Eugenio y San Julián, que fueron declarados BIC en 1992 por el Decreto 94/1992 del 3 de Junio y fueron restaurados por el Instituto de Patrimonio Histórico Español. También podemos encontrar los restos de cinco hornos en el Cerco de Buitrones de Almadenejos.



Figura 68. Fotografía digital Hornos de Bustamante. Fuente: Adame, 2009.

5.4.2.1.3.-La puerta de Carlos IV y su cerco de Buitrones.

La Puerta de Carlos IV fue construida en 1795 en estilo neoclásico con rasgos barrocos. Construida en ladrillo, con un arco rebajado en el centro y dos columnas toscanas en los laterales. Rematando la construcción hay un frontón triangular y en su interior el escudo de los Borbones (tiene representado el collar del Toisón de Oro, la Corona Real y por encima la Santa Cruz) en representación del poder real y a su lado dos carteles que dicen “*Reinando La Magestad de Don Carlos Cuarto año 1795*”. Además encima del arco se encuentra una lápida que dice “Cerco de Buitrones”. La puerta tiene incoado expediente de BIC el 26 de Enero de 1983 y fue restaurada en 2004 por el Instituto de Patrimonio Histórico Español.

Esta puerta es la entrada al Cerco de Buitrones, muralla que separaba la zona metalúrgica de la zona de extracción del mineral. Además esta puerta era el punto de partida de los transportes de mercurio a Sevilla para su posterior traslado a América.

El Cerco de Buitrones actualmente acoge entre otros elementos el Museo de Mercurio⁹⁰, el Pozo de San Joaquín junto con su castillete, los hornos de Bustamante, los hornos Pacific, los hornos de Tejera, la Puerta de Carros y la Puerta de Carlos IV.

En el Museo del Mercurio podemos observar las características y utilizaciones del mercurio además de fósiles, rocas, minerales, utensilios de minería, maquetas de maquinaria y conocer la historia de las minas, e incluso el transporte y comercialización del mercurio.

Junto al Cerco de Buitrones encontramos el Cerco de San Teodoro que alberga el Centro de Recepción de Visitantes del parque minero, el Museo de la Minería, los antiguos talleres, la sala de compresores, el Edificio de Dirección, el Pozo de San Aquilino con su castillete y su máquina de extracción y el Pozo de San Teodoro junto a su castillete, entrada actual a la mina en la visita guiada del Parque Minero.

⁹⁰ Antiguo Almacén de Azogue, edificio de 1941. Su fachada está formada por un gran arco adornado con dos medallones.



Figura 69. Puerta de Carlos IV. Fuente: <http://www.almaden.es> 06/12/2016

5.4.2.1.4.-El cerco de Buitrones de Almadenejos.

El Cerco de Buitrones de Almadenejos es una muralla compuesta por piedra y ladrillos. La muralla tiene una altura de 3 metros, existiendo seis puertas todas ellas construidas en ladrillo, tapiadas todas ellas excepto dos que permiten el acceso al interior.

En el interior del cerco se encuentran los restos de cinco hornos de Bustamante y la cimentación de un sexto horno. Además se encuentra varios edificios: el almacén de azogue, el almacén de pólvora, y la oficina de administración todos ellos en un mal estado de conservación.

Este cerco se encuentra a su vez en el interior del Cerco de Almadenejos, que rodea todo el núcleo urbano, parte de sus terrenos y la mina de la Vieja Concepción. Esta muralla también está construida de piedra y ladrillo y consta de varias puertas una de ellas conocida como La Puerta de Almadén en la que podemos encontrar una inscripción con las fechas de inicio y fin de su construcción 1756-1759.

5.4.2.1.5.-Los castilletes.

Los Castilletes constituyen un avance tecnológico en la minería de Almadén, siendo todos ellos un claro ejemplo representativo de la arquitectura metálica del siglo XIX y XX.

El más antiguo de todos los que se conservan es el Castillete del Pozo de San Aquilino con 16 metros de altura, construido en el siglo XIX sobre un pozo vertical del siglo XVI conocido como “La Grúa”, de 30 brazas de profundidad⁹¹. Este pozo se profundizó posteriormente hasta la planta 14 y disponía de una máquina de extracción de vapor, sustituida por una máquina eléctrica con bobinas para cable plano de acero, que es el aspecto que presenta hoy en día. Aún se conserva su Sala de Máquinas con parte de la maquinaria.

El siguiente en edad que se conserva es el Castillete del Pozo nº1 de la Mina de Diógenes, también del siglo XIX y ubicado en el patio interior de la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén.

Cronológicamente, el siguiente es el Castillete del Pozo de San Teodoro, construido en el siglo XX y con una menor relevancia arquitectónica. Ha sido modernizado en dos ocasiones, la última en 1962 adquiriendo su estado actual con una profundidad 19 plantas y 522 metros. Este castillete está dentro del Cerco de San Teodoro de Almadén.

Finalmente el Castillete del Pozo de San Joaquín del siglo XX es el más moderno de todos y el último que se perforó. Data del año 1960 y alcanza la profundidad de 700 metros, equipado con una jaula para transporte de personal y un skip⁹². Este castillete se encuentra en el Cerco de Buitrones de Almadén.

⁹¹ 1 Braza = 6 Pies = 1,668 metros → 1 Pie = 0,278 metros

⁹² Recipiente situado debajo de la jaula, que se llenaba con el mineral triturado en el interior de la mina.



Figura 70. Fotografía Castillete del Pozo de San Aquilino.
Fuente: <https://www.tripadvisor.es> 06/12/2016

5.4.2.1.6.-Restos arqueológicos de la Real Cárcel de Forzados.

Durante muchos años las Minas de Almadén se han servido de la mano de obra de los presos y esclavos, bien para cubrir la falta de mano de obra en algunos periodos o para realizar labores que los trabajadores libres se negaban a realizar.

Para ello por parte de la administración de la mina se solicitó al Rey el envío de galeotes, o esclavos y condenados a galeras, para trabajar en las minas.

El primer envío de forzados a Almadén data del 14 de febrero de 1566 y para su custodia se utilizó como cárcel una casa grande justo detrás del pozo de San Aquilino, junto a la iglesia de San Sebastián. Unos años después se construyó la antigua Cárcel de los Forzados, también conocida como “La Crujía”⁹³, ubicada al final de la actual Avenida de la Libertad

Desgraciadamente los únicos restos físicos que quedan en pie de esta cárcel del siglo XVI, es la Capilla de San Miguel, mandada construir en 1645 por el administrador de la mina, Mateo Naguelio para evitar las fugas de los presos cuando iban a misa los domingos. Por el mismo motivo se construyó un año antes una galería que comunicaba la cárcel con la Mina del Pozo. (Calderón Alberola, 1997)

Con el paso de los años el aumento de forzados en La Crujía fue notable y como consecuencia se presentó el problema de espacio lo que favoreció la aparición de epidemias. Como solución se mandó construir una cárcel nueva, “La Real Cárcel de Forzados”, en el año 1754 con encargo al ingeniero de los Reales Ejércitos D. Silvestre Abarca.

La apertura del nuevo correccional supuso el cierre de la Crujía, utilizándose como almacén, almijara, albergue, vivienda de los carabineros y de los guardas jurados del establecimiento minero, hasta su derribo en el año 2003.

⁹³ La crujía en aquella época era el paso que unía la popa con la proa del barco de las galeras; también se conocía por crujía al castigo que se les daba a los condenados a galeras, obligándoles a pasar por un pasillo entre dos filas de marineros que les azotaban. De ahí que a la galería que unía la cárcel con la mina, recibiera dicho nombre, y en consecuencia el propio penal.

La nueva cárcel sirvió como presidio para los forzados hasta el 8 de agosto de 1800, fecha en el que Carlos IV abolió la pena de mina trasladando el penal de forzados a Ceuta en 1801. Fue Presidio Provincial, durante el periodo republicano durante la Guerra Civil y posteriormente como Campo de Concentración (1939-1941) y como Silo Almacén de trigo del Servicio Nacional de Cereales hasta 1969. Finalmente, se demolió el 5 de mayo de 1969, perdiendo así el que probablemente fuese el mejor edificio de Almadén, según las palabras de (Madoz, 1845). En el solar se construyó lo que es actualmente la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén.

En 1995 se desenterraron algunas de las celdas de castigo de la Cárcel, que actualmente se conservan bajo uno de los edificios de la universidad. Desde estas instalaciones se puede acceder a la galería de los forzados.



Figura 71. Maqueta de la Real Cárcel de los Forzados de Almadén.
Fuente: <http://www.almaden.es> 06/12/2016

5.4.2.1.7.-La plaza de toros hexagonal de Almadén.

La Plaza de Toros es uno de los edificios emblemáticos de Almadén estando incluida en el Patrimonio Histórico Artístico y el Patrimonio Minero. Fue construida entre 1752 y 1754, por los propios mineros, con una doble finalidad: solucionar el problema social de la vivienda para los jornaleros y temporeros y de aportar una ayuda económica en la construcción del Real Hospital de Mineros de San Rafael. (Muñoz Sumozas, 1997)

Se trata de un edificio de estilo neoclásico propio de la arquitectura colonial del siglo XVIII. Tiene una forma hexagonal y consta de dos pisos en altura albergando en el exterior 24 viviendas y en su interior un coso taurino también de forma hexagonal.

Fue declarada Monumento Histórico Artístico Nacional por Real Decreto en 1979, estando considerada como la segunda plaza de toros más antigua de España y el único complejo “Coso-Viviendas” del mundo.

En 1998 se inició su restauración que concluyó en el año 2003, devolviendo a la Plaza de Toros todo su esplendor. La parte habitacional de la Plaza se rehabilitó para hotel, restaurante y museos; mientras que el resto de su conjunto y servicios fueron restaurados y acondicionados para la celebración de festejos taurinos y otros espectáculos. Consiguiendo así que vuelva a ser uno de los más importantes ejes de atracción para los turistas de Almadén.



Figura 72. Plaza de Toros Hexagonal de Almadén. Fuente: <http://www.tauroweb.es> 06/12/2016

5.4.2.1.8.-El Real Hospital de los Mineros de San Rafael.

Es otra de las edificaciones más emblemáticas de Almadén. La construcción de éste hospital es consecuencia de la crisis epidémica que vivió Almadén en 1751 que produjo una disminución de la población y de la mano de obra para la mina. De ahí que en 1752 el Superintendente Francisco Javier de Villegas diese orden de construir el hospital que se inicia en 1755 y finaliza en 1773. Las rentas obtenidas de las viviendas de la plaza de toros, así como los ingresos de los festejos taurinos, fueron utilizadas para cubrir parte de los gastos de la construcción de éste hospital. (Menéndez Navarro, 1990)

Este hospital fue el primero que se construyó en el mundo con el fin de atender a los enfermos de una mina y pionero en los tratamientos de las enfermedades del azogue. Su apertura es en el año 1774 y estuvo funcionando hasta los años sesenta del siglo XX.

El edificio tiene forma de “L”, compuesto por pasillos, patios ajardinados y otras dependencias en su interior. Se completa con otro edificio de menores proporciones que alojaba diversos servicios del hospital, como cuadras, viviendas del personal sanitario, cocinas. Destaca su fachada compuesta de ladrillo y dividida en dos cuerpos, quedando rematada con una espadaña. En la parte inferior se encuentra la puerta de acceso flanqueada por dos esbeltas pilastras. En el dintel hay una placa en la que se lee “Hospital de Mineros”, y en la parte superior hay unos medallones en los que se lee las fechas de inicio y fin de las obras “1755-1773”. Además en la parte superior se hallan varios detalles, una placa que tiene esculpido dos martillos de mineros cruzados, el escudo real y una imagen del Arcángel San Rafael. En 1992 es declarado BIC por el Decreto 93/1992 el 23 de Junio (Sumozas García-Pardo, 2012).

Recientemente restaurado⁹⁴, alberga en su interior un Museo Minero, el Museo del Hospital y el Archivo Histórico de Minas de Almadén. También fue sede de la Fundación Almadén Francisco Javier de Villegas, desde su creación en 1999 hasta su derogación en 2013. La Fundación fue la principal impulsora de la creación del Archivo Histórico de Minas de Almadén, con el propósito de reunir en él todos los documentos relacionados con la explotación minera y que en la actualidad se encuentran repartidos en diversos archivos nacionales.

⁹⁴ Fue inaugurado el 19 de febrero de 2004.

El Archivo, una de las principales fuentes de información para nuestra investigación, fue declarado Bien de Interés Cultural en 2016, y está dividido en cinco secciones: I. Fondo Antiguo (siglo XVIII-1918); II. Consejo de Administración de Minas de Almadén y Arrayanes (1918-1982); III. Minas de Almadén y Arrayanes, S.A. (1982-); IV. Colección Cartográfica; V. Biblioteca.

Este edificio, junto con su museo y el Archivo Histórico, permite conocer mejor la historia y lo que ha significado la minería para la comarca de Almadén y sus gentes.



Figura 73. Real Hospital de los Mineros de San Rafael de Almadén.
Fuente: <http://www.almaden.es> 06/12/2016

5.4.2.1.9.-La Academia de Minas.

La Academia de Minas o Escuela de Minas, fue creada en 1777, siendo la primera de este género en España y la cuarta en el mundo, tras la de Freiberg (Sajonia, 1757), Schemitz (Chequia, 1770) y la de San Petersburgo (Rusia, 1772). Su valor patrimonial se ve engrandecido tanto por la arquitectura notable del edificio en sí, como por el significado histórico que posee.

Su creación, como la mayoría de los elementos patrimoniales estudiados, aparece vinculada a la Mina de Almadén, con la finalidad única de instruir en la escuela al personal de la explotación en la teoría y en la práctica, en la geometría subterránea, y mineralogía. El primer director al frente de la academia fue Enrique Cristóbal Störr, desde 1777 hasta 1792.

Relacionados con la Academia, figuran nombres de ilustres ingenieros de minas, como J. Martin Hoppensack sucesor de Störr en la dirección, Fausto E'lhuyar⁹⁵, Andrés Manuel del Río⁹⁶, Diego y José de Larrañaga, Casiano del Prado.

El edificio que acoge la academia fue construido entre 1782 y 1785, situado en la actual calle Mayor de San Juan, número 74, en el casco antiguo de la ciudad y próximo al Castillo de Retamar, la Casa de la Inquisición o la Casa de los Fúcares siendo el director de obras D. Antonio del Villar.

El inmueble presenta un estilo neoclásico, con dos plantas de altura además de los semisótanos de la parte trasera. En su parte trasera existe una zona sin edificar en la que se encuentra una puerta secundaria de acceso o de salida a la Avenida del Norte, y una zona destinada a patio, jardín y huerta.

Su fachada principal, es su elemento arquitectónico más importante junto con su portada de piedra. Presenta dos cuerpos, con sillería de buena piedra, con despiece almohadillado, rematando con un escudo y guarnecido de cornisas de cierto vuelo. (Mansilla Plaza & Fernández, 2010)

⁹⁵ Descubridor del Wolframio.

⁹⁶ Descubridor del Vanadio.

Debido al gran deterioro que había sufrido este edificio desde el cierre de sus aulas en 1973, ha sido necesaria su rehabilitación en los últimos años, reforzando la estructura para consolidar su resistencia y cambiando la cubierta por completo. Con esta rehabilitación se ha recuperado un edificio de gran valor patrimonial.



Figura 74. Reconstrucción virtual de la Academia de Minas de Almadén.
Fuente: <http://eimia.uclm.es/academia/> 06/12/2016

5.4.2.1.10.-Otras edificaciones de interés.

La casa palacio de los Fúcares (Casa de la Inquisición)

Se trata de un edificio de planta rectangular del siglo XV que se encuentra en buen estado de conservación, localizado en la calle Mayor de San Juan y en el que se puede destacar su portada de piedra. En el dintel de la puerta hay un escudo central con una espada y una palma, representando el poder político y el poder religioso. A ambos lados se encuentran dos perros con antorchas en la boca mirando hacia el centro del dintel y atados a globos coronados por una cruz. Los perros hacen referencia a la orden de los monjes dominicos a los que se les atribuye la construcción del edificio. En primer lugar fue la casa de la Inquisición y después paso a ser la casa de la familia Fugger. En la actualidad y después de una esmerada restauración se ha convertido en un hotel.

El castillo de Retamar.

Este castillo es de origen medieval, situado en el centro del casco urbano histórico de Almadén y su construcción se atribuye a los árabes. Fue reforzado y ampliado en 1467 por el Clavero de la Orden de Calatrava, López de Padilla. Hoy en día solo queda parte de la muralla y un torreón de forma prismática, de lo que se puede deducir que su construcción estaba realizada en sillería y en mampostería de ladrillo. Su extensión no es conocida, pero todo parece indicar que las viviendas de su alrededor formaron parte del mismo. Aunque tampoco pueda verificarse, debió utilizarse como elemento de protección en la ruta Toledo-Sevilla, pues queda alineado con el Castillo de la Virgen del Castillo y el de Santa Eufemia. Está considerado como uno de los restos más antiguos de Almadén.

La casa de la Superintendencia.

La Casa de la Superintendencia, destinada a vivienda del Superintendente de las minas y a su familia, así como a la administración y a la contaduría de la misma, estaba ubicada en el casco urbano histórico de Almadén, junto a la iglesia de San Sebastián y al final de la calle Mayor de San Juan. Actualmente sólo se conserva una puerta de piedra formada por doble pilastra y dintel con triglifos y metopas. El terreno que ocupaba el inmueble fue edificado parcialmente, construyendo una plaza y sepultando multitud de restos arqueológicos, lo que podría añadirle al inmueble la categoría de yacimiento arqueológico.

M

11

Notas.

Edificios públicos	H. Entrada a la Mina del Castillo.	X. Entrada al Cerro de San Miguel
	I. Id. id. Iglesia de San Juan.	Y. Id. id. Iglesia Nueva
	J. Id. id. id.	Z. Id. id. Superintendencia
	K. Id. id. Ayuntamiento.	A. Id. id. Casa del Contador
	L. Id. id. Iglesia de Jesus.	B. Id. id. Escuela de Capataces
	ll. Id. id. Hospital de la Caridad	C. Id. id. Escuelas publicas
	M. Id. id. Ermita de San Sebastian	D. Id. id. id.
	N. Id. id. Mina del Pozo.	E. Id. id. id.
	Ñ. Id. id. Casa del Omo	F. Id. id. Carneceria
	O. Id. id. Teatro	G. Id. id. Escuelas publicas
	P. Id. id. Cerro de San Teodoro	H. Id. id. id.
	Q. Id. id. id.	I. Id. id. id.
	R. Id. id. id.	J. Id. id. Escuela de Capataces
	S. Id. id. Cerro de Buitrones	K. Id. id. Superintendencia
	T. Id. id. id.	
	V. Id. id. id.	
	F. Id. id. id.	
	W. Id. id. id.	

C. Indica copia de piedra en seco
 D. Indica "Cubierto"
 D. Indica "Descubierto"

En los poligonos 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125 y 126, no se han observado considerables delos solo como alineaciones para determinar el detalle.

INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO

TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

PROVINCIA DE CIUDAD-REAL

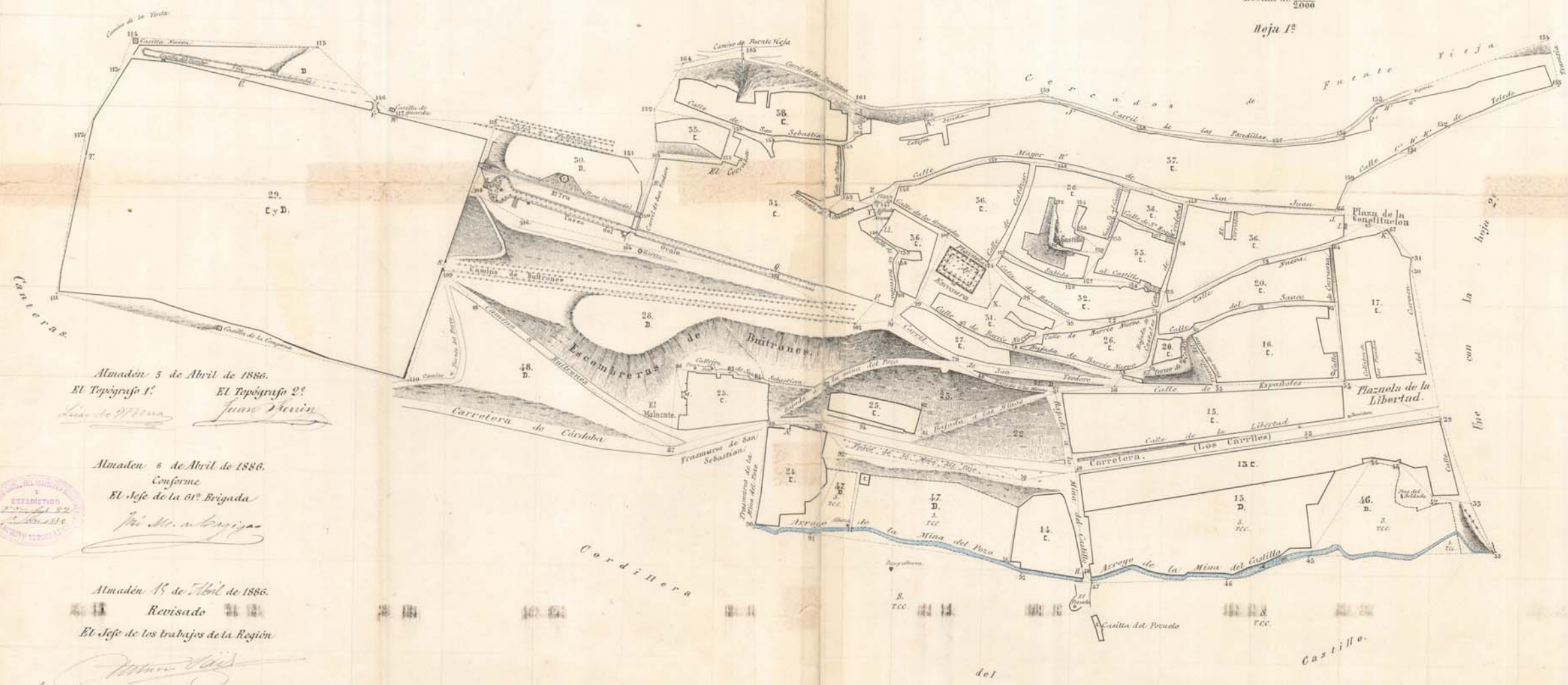
130972

REGIÓN CÓRDOBA

Término municipal de Almadén.

Escala de 1/2000

Hoja 1ª



Almadén 5 de Abril de 1886.
 El Topógrafo 1º *Luis de Medina*
 El Topógrafo 2º *Juan Merin*



Almadén 6 de Abril de 1886.
 Conforme
 El Jefe de la 61ª Brigada
J. M. Subiza

Almadén 15 de Abril de 1886.
 Revisado
 El Jefe de los trabajos de la Región

M. J. J.
 Aprobado
 El Director general
J. J. J.

5.4.2.2.-Valorización del patrimonio.

El reconocimiento de las Minas de Almadén como Patrimonio de la Humanidad el 30 de Junio de 2012 bajo los criterios (ii) y (iv) de las Directrices del Comité de Patrimonio Mundial⁹⁷, fue la recompensa a todo el trabajo de recuperación, conservación y puesta en valor llevado a cabo a lo largo de los últimos veinte años. El conjunto histórico, además de estar compuesto por la Mina de Almadén o La Mina Vieja, lo forman el Castillo de Retamar, la Casa de la Superintendencia, la Plaza de Toros, la Academia de Minas, el Real Hospital de Mineros, la Cárcel de Forzados y la Puerta de Carlos IV.

Se puede decir que el interés por la rehabilitación del patrimonio histórico minero de Almadén surgió a finales del siglo XX, destacando entre sus inicios el primer manifiesto desarrollado por la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDPGYM) en 1996. A partir de entonces comenzaron a sucederse diferentes proyectos para la valorización del patrimonio, logrando en 2002 que el Instituto de Patrimonio Histórico Español (IPHE)⁹⁸ incluyera a las Minas de Almadén en el Plan Nacional de Patrimonio Industrial, un paso más en su camino hacia el reconocimiento como Patrimonio de la Humanidad.

⁹⁷ <http://whc.unesco.org/archive/opguide05-es.pdf>

⁹⁸ Hoy Instituto del Patrimonio Cultural en España

La Tecnología del Vapor aplicada en las Minas de Almadén.
Desde su origen hasta el Consejo de Administración.

ANTECEDENTES DE LA REVITALIZACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO DE ALMADÉN		
FECHA	PROYECTO	RESPONSABLE
1979	Plaza de Toros Hexagonal de Almadén. Declaración de Monumento Histórico Artístico Nacional	Ministerio de Cultura
1983	Puerta de Carlos IV. Bien de Interés Cultural.	
1984	Creación del Grupo Geológico Minero	Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén (EIMIA)
1989	Museo Histórico Minero, "Francisco Pablo Holgado"	Grupo Geológico Minero de EIMIA
1992	Hornos de Aludeles: San Eugenio y San Julián de Minas de Almadén. Bien de Interés Cultural.	Junta de Comunidades de Castilla la Mancha (JCCM)
1992	Real Hospital de los Mineros de San Rafael. Bien de Interés Cultural.	JCCM
1994-1995	Planificación Estratégica de Ecoturismo en el Valle de Alcudia (Programa Futuros)	Diputación Provincial de Ciudad Real
1995	Sociedad Turística Comarca de Almadén	
1996	Manifiesto para la rehabilitación del patrimonio histórico-minero de la comarca de Almadén	Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDPGYM)
1996	Plan Estratégico de Desarrollo Turístico de la Comarca de Almadén	Consejería de Industria y Trabajo. Dirección General de Turismo, Comercio y Artesanía en Castilla la Mancha.
1997	Ruta Minero-Industrial de Ciudad Real: Comarcas de Almadén, Almodóvar del Campo y Puertollano.	Universidad de Castilla la Mancha. (UCLM)
1998	Asociación Defensa del Patrimonio Histórico de Almadén	
1999-2003	Rehabilitación Plaza de Toros de Almadén	Ayuntamiento de Almadén y JCCM
1999	Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"	Minas de Almadén y Arrayanes, S.A. (MAYASA)
2002	Plan Integral de Desarrollo de Almadén y Comarca (PIDAC)	Administraciones, Sindicatos, Empresas y EIMIA
2002	Inclusión de Minas de Almadén, junto con su población y estructuras en el Plan Nacional de Patrimonio Industrial	
2003-2008	Plan Director del Parque Minero de Almadén	
2007-2008	Conjunto Histórico Minero de Minas de Almadén. Bien de Interés Cultural	MAYASA, Ayto. de Almadén y EIMIA
2007-2009	1ª Candidatura a Patrimonio de la Humanidad (Desfavorable) El Binomio Mercurio-Plata en el Camino Real Intercontinental. Almadén, Idria y San Luis de Potosí.	ICOMOS-ESPAÑA, EIMIA, UCLM, SEDPGYM, MAYASA, JCCLM, Ayto. de Almadén, etc.
2008	Museo Waldo Ferrer	Colegio Público Hijos de Obreros de Almadén
2008	Plan Especial de Protección del Centro Histórico de Almadén (PECHA)	Ayuntamiento de Almadén
2010	2ª Candidatura a Patrimonio de la Humanidad (Desfavorable) El Binomio Mercurio-Plata. Almadén, Idria, San Luis de Potosí.	ICOMOS-ESPAÑA, EIMIA, UCLM, SEDPGYM, MAYASA, JCCLM, Ayto. de Almadén, etc.
2010	Ruta del Mercurio	
2010	La Mina a la Luz	Ayuntamiento de Almadén
2010	Rutas Nocturnas	Varias Asociaciones
2010-2012	3ª Candidatura a Patrimonio de la Humanidad (Favorable) Patrimonio del Mercurio. Almadén e Idria.	ICOMOS-ESPAÑA, EIMIA, UCLM, SEDPGYM, MAYASA, JCCLM, Ayuntamiento de Almadén, etc.

Tabla 12. Antecedentes de la Revitalización del Patrimonio Minero de Almadén.
Fuente: (Mansilla Plaza, 2013), y elaboración propia.

A raíz de esto, y con la finalidad de revalorizar el patrimonio minero de Almadén y su recuperación ambiental y paisajística nace el Plan Director del Parque Minero de Almadén en 2003. Aunque en realidad, puede considerarse que el proyecto se inició en 2002 con las obras de rehabilitación del Real Hospital de los Mineros de San Rafael, edificio que además de acoger dos museos es la sede del Archivo Histórico de Minas de Almadén.

El proyecto elegido para la elaboración del plan director fue Quality System⁹⁹, cumpliendo con los siguientes objetivos:

- Ser el instrumento para el diseño, la planificación y el control de las acciones encaminadas a transformar la mina de Almadén en un espacio público, cultural y educativo con vocación turística, con el fin último de la recuperación, conservación y puesta en valor de su patrimonio histórico, industrial y tecnológico.
- Asegurar la explicación de la evolución tecnológica de la extracción del cinabrio de la mina y del mercurio de él, la extraordinaria riqueza del yacimiento, el valor mundial de la explotación y su importancia en el desarrollo histórico de España y América.
- Conseguir que el Parque Minero se convirtiese en motor del desarrollo turístico de la comarca, logrando compatibilizar la conservación del patrimonio industrial de la mina con un turismo cultural sostenible.

La culminación de este proyecto, fue la inauguración del Parque Minero de Almadén en enero de 2008, aunque las visitas al establecimiento comenzaron prácticamente un año antes, alcanzando una cifra aproximada de unas 17000 visitas. Con su apertura se pone en valor a un gran tesoro con más de 2000 años de historia y con un valor incalculable. En él se puede observar el patrimonio científico, industrial y tecnológico de una de las minas más antiguas de la historia. Esta iniciativa supuso una alternativa al desarrollo de la cuenca minera, aportando recursos sociales, culturales y económicos a la comarca de Almadén. Prueba de ello es que en los últimos años se ha convertido en un referente turístico cultural de Castilla la Mancha, con transcendencia nacional e internacional. (Cañizares Ruiz, 2003)

⁹⁹ Elaborado por la empresa Quality Grupo Arquitectura- Ingeniería-Cultura (Quality System España S.A.).

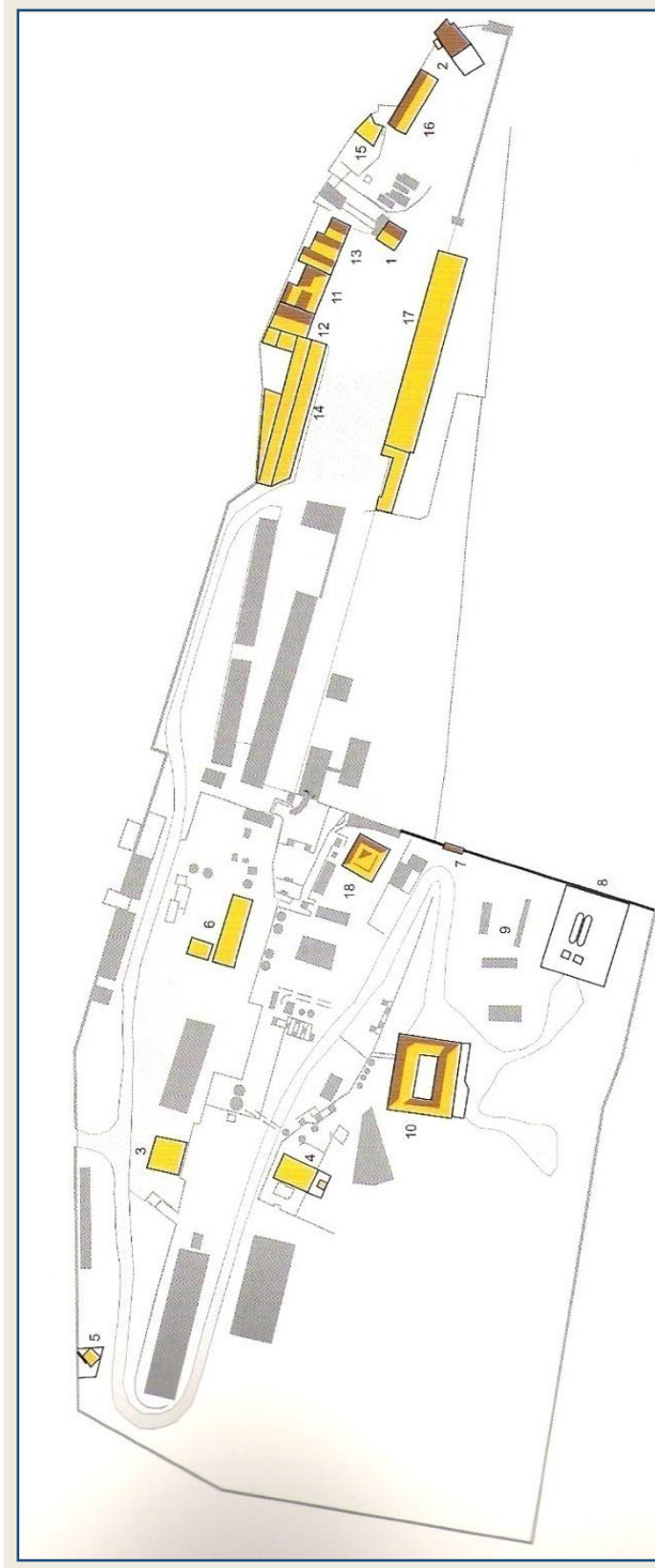


Figura 75. Esquema del Parque Minero de Almadén.
Fuente: (Hernández Sobrino, 2006)

1. Castillete y Sala de Máquinas del pozo de San Aquilino
2. El Castillete del Pozo de San Teodoro
3. El Castillete del Pozo de San Joaquín
4. Hornos de Aludeles o de Bustamante
5. Chimenea de los Hornos Cermak-Spirek
6. Hornos Pacific
7. La Puerta de Carlos IV
8. La antigua Puerta de Carros
9. El Horno de Tejeras

10. El Almacén de Mercurio / Museo del Mercurio
11. El edificio de la antigua Dirección de la Mina
12. Nave Almacén
13. Nave Almacén
14. Naves Talleres
15. Antigua Hospedería. Bodegón de San Teodoro
16. Edificio de Compresores / Centro de Interpretación de la Minería
17. Oficinas / Centro de Recepción
18. Actual Museo / Centro de Interpretación de la Metalurgia

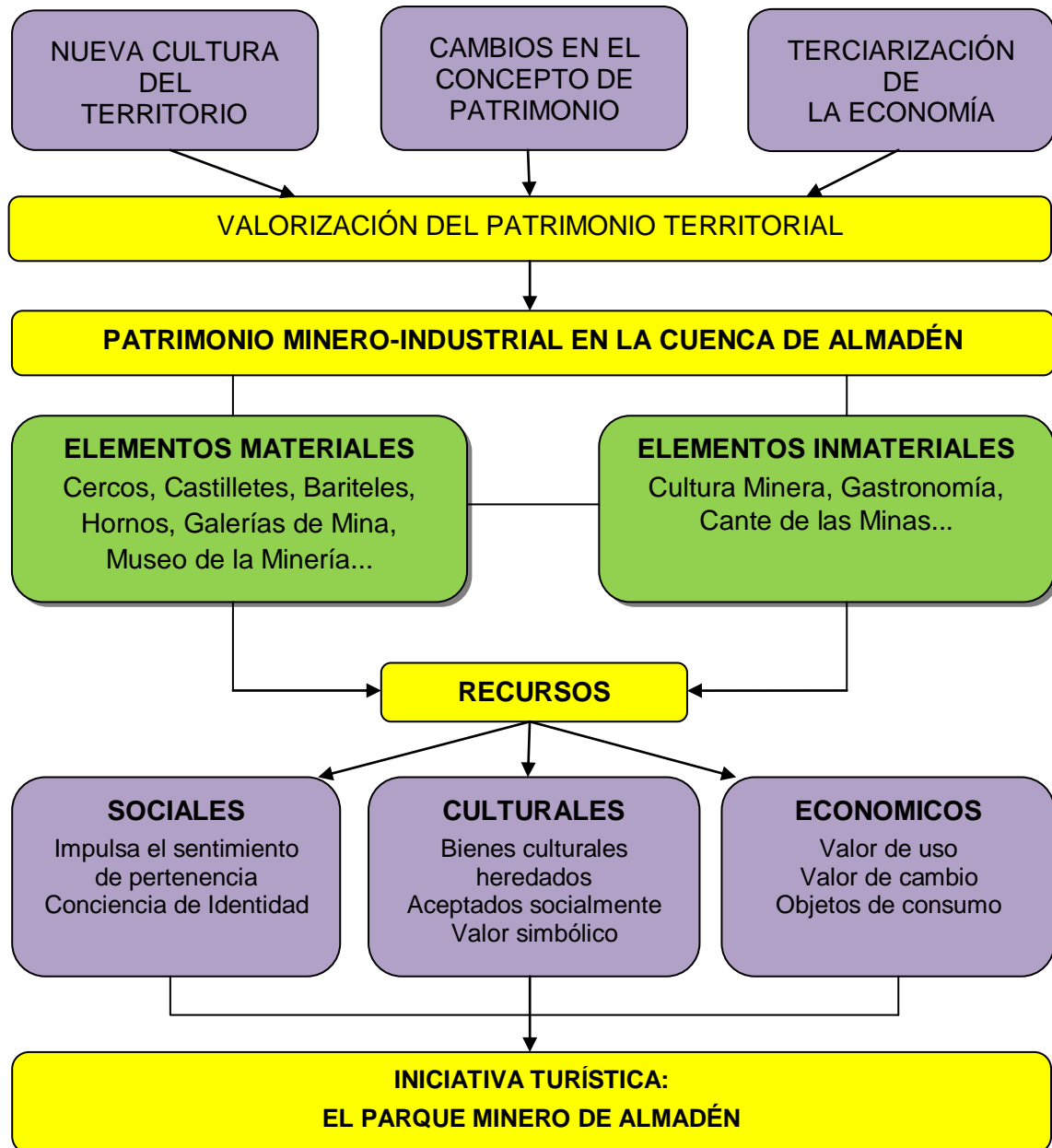


Figura 76. Diagrama: El Patrimonio Minero-Industrial como Recurso en Almadén.
Fuente: (Cañizares Ruiz, 2008)

Prácticamente de forma simultánea al expediente de declaración como BIC del Conjunto Histórico Minero de Almadén, comenzó a elaborarse el primer expediente presentado a la UNESCO para ser reconocido Patrimonio de la Humanidad, titulado *“El Binomio Mercurio Plata en el Camino Real Intercontinental. Almadén, Idria y San Luis de Potosí”*, evaluado en junio de 2009 en Sevilla, con un resultado de 13 votos a favor, 7 en contra y 1 abstención, resultado insuficiente por no llegar a los 2/3 de los votos a favor.

Tras los resultados obtenidos, el expediente fue nuevamente presentado, atendiendo a las demandas del Comité de Patrimonio Mundial, con el nombre de *“El Binomio Mercurio Plata. Almadén, Idria y San Luis de Potosí”*, evaluado en agosto de 2010 en Brasilia, con un resultado similar al de la vez anterior.

En vista de los resultados insatisfactorios conseguidos, se tomó la decisión de modificar la candidatura, retirando de esta a San Luis de Potosí por propia iniciativa. Se elaboró un nuevo expediente bajo el nombre de *“Patrimonio del Mercurio. Almadén e Idria”*, basado fundamentalmente en la importancia mundial del mercurio en la historia de la humanidad y con el que finalmente se consiguió el reconocimiento de Patrimonio Mundial el 30 de junio de 2012 en San Petersburgo (Rusia).

Un estudio mucho más detallado en lo que se refiere a la puesta en valor del patrimonio de las Minas de Almadén es el de (Mansilla Plaza, 2013), (Mansilla Plaza, 2013), titulado *“Metodología para la valorización del patrimonio minero industrial de Castilla la Mancha”*. En el podemos ver cómo analiza en profundidad el proyecto de Almadén y como se adapta a lo desarrollado en la Carta del Bierzo (V.V.A.A., 2009) y en el Plan Nacional de Patrimonio Industrial, demostrando la eficacia del modelo elegido, constituyendo un ejemplo sin precedentes.

5.4.3.-Causas que favorecieron el repunte tecnológico en Minas de Almadén hasta la llegada del vapor.

Los dos mil años de explotación casi ininterrumpida avalan que las minas de Almadén hayan sido una constante referencia en España y en el mundo, no solo por su antigüedad, sino porque en sus galerías y pozos puede observarse como se han experimentado los diferentes avances tecnológicos que se iban produciendo a lo largo de la historia, desde los martillos de los romanos hasta las grandes máquinas de perforación.

La utilización de los forzados, desde 1566, favoreció el uso de métodos de explotación basados principalmente en la mano de obra y más aún cuando era gratuita como en este caso. No fue hasta finales del siglo XVIII, coincidiendo con la Revolución Industrial generalizada y la abolición de la pena de los forzados, cuando se produjeron cambios tecnológicos significativos en el establecimiento.

La mayoría de estos avances o cambios tecnológicos implantados, tenían como objetivo principal buscar un aumento de la producción y un mayor beneficio del mineral. La necesidad de producción, al igual que sucede en la actualidad, estaba ligada a la demanda del mercado, y a la oportunidad de maximizar los ingresos económicos, tan importantes para las arcas españolas como para los arrendatarios de la mina.

Cabe destacar que en las minas de Almadén se han producido aproximadamente 7,5 millones de frascos de mercurio frente a los 22 millones producidos en todo el mundo (Hernández Sobrino, 1992). Estas cifras nos indican que han producido casi la tercera parte de mercurio del mundo. Otros autores como (Saupé, 1990), marcan la cifra en 9 millones de frascos para las Minas de Almadén, seguido de la Mina de Idria en Eslovenia con 3 millones y en tercer lugar Monte Amiata en Italia con 2 millones de frascos.

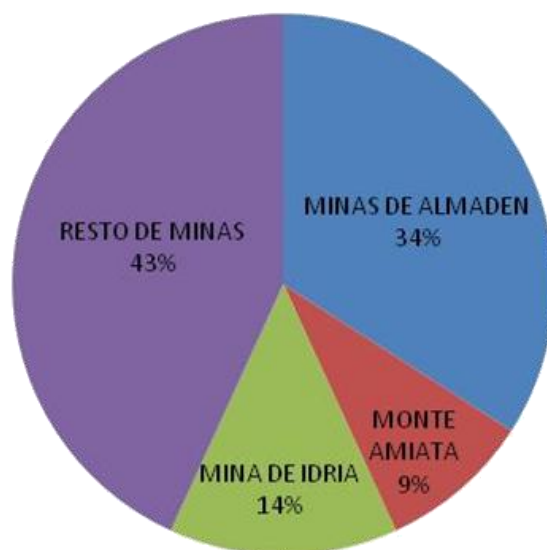


Gráfico 3. Diagrama producción de mercurio en el mundo. Fuente: Elaboración propia.

Hasta el siglo XVIII, la minería de Almadén fue muy precaria y simple. Los avances más significativos se produjeron en la metalurgia, implantando distintos tipos de hornos para obtener un mayor beneficio de minerales y satisfacer la demanda de mercurio necesaria en la obtención de metales preciosos como la plata y el oro. Los primeros pasos en cuanto a metalurgia se refiere, los dieron los árabes con la introducción de los hornos de Xabecas o Jabecas, hasta el año 1573, que fueron sustituidos por los hornos de reverberación introducidos por los Fugger. Nuevamente en 1656, tras la marcha de los Fugger, Juan Alonso de Bustamante, construyó los primeros hornos de Aludeles, tecnología que funcionaría de forma ininterrumpida durante más de 250 años, conviviendo con las nuevas tecnologías de los siglos XIX y XX, con los hornos de Idria, los de Canales o los Cermak-Spirek.

En el siglo XVIII, en plena Revolución Industrial, la mentalidad de la sociedad comienza a evolucionar y pensar cómo mejorar la producción, interviniendo en factores como la organización administrativa e industrial, mejorando las condiciones de los trabajadores, e implantando nuevos sistemas de fabricación, y de esta forma mejorar la rentabilidad y optimizar los recursos de que disponían. Todo esto fue posible gracias a los grandes avances tecnológicos que se produjeron, dando lugar a invenciones tan importantes como la máquina de vapor. Mejoras que como se observa en el siguiente gráfico sirvieron para aumentar los índices de producción desde el siglo XVIII

en adelante, momento en el que la Real Hacienda, preocupada por la baja producción de las minas, se vio obligada a intervenir en el establecimiento, pidiendo asesoramiento a numerosos expertos tanto españoles como extranjeros acerca de las reformas necesarias a llevar a cabo. Por destacar algunos de los ilustres que visitaron las minas, mencionaremos a los hermanos Jussieu en 1717, Bowles en 1752, o Agustín de Betancourt en 1783.



Gráfico 4. Evolución de la producción de mercurio en Minas de Almadén.
Fuente: (Carcavilla & Palacio, 2010)

. Todo este periodo de reconversión, se vio marcado por el terrible incendio de 1755-1757, que destruyó gran parte de las labores de interior dejándolas irre recuperables y paralizando la extracción de mineral hasta su extinción. Desde su reapertura hasta prácticamente comienzos del siglo XIX, es cuando se implementaron los nuevos sistemas de extracción, desagüe, explotación o la instalación de nuevas máquinas para conseguir recuperar la producción perdida y devolver a la mina a un estado adecuado de producción.

Ante la imposibilidad de extinguir el incendio se contrataron a técnicos especialistas alemanes como Köehler, Storr o Hoppensack, en busca de soluciones y mejoras para el complejo minero. La presencia de los nuevos técnicos supuso un gran paso en la introducción de nuevas técnicas mineras y metalúrgicas.

Una de las medidas para estabilizar la mano de obra fue la utilización de los mineros como albañiles, dando lugar a una eclosión constructiva y convirtiendo el incendio como el inicio de la etapa arquitectónica más brillante

de Almadén. Se levantan los edificios más emblemáticos del conjunto histórico de Almadén como la Plaza Hexagonal de Toros (1752), el único edificio cosovivienda del mundo, el Real Hospital de los Mineros de San Rafael (1755),⁷ o el Cerco de Almadenejos (Matilla Tascón, 1987)

El número de trabajadores demandado por la mina vieja tras la extinción del incendio y la reapertura de sus trabajos, era elevado y la Corona buscó fórmulas para atraer mano de obra mediante la concesión de privilegios. Tales eran la exención en el pago tributos y del servicio militar aprobada por Carlos III mediante la *“Real Cédula de su Magestad declarando esentos del anual reemplazo del exercito a varios individuos operarios de las minas del azogue de Almadén”*, (V.V.A.A., 1771).

Después de esto se dictan varias órdenes: la primera el 29 de Marzo de 1780, por la que D. Gaspar Soler tomo posesión de la Dehesa de Castilseras, (Matilla Tascón, 1987); y otra tras la venta de Chillón y sus tierras, del Duque de Medinaceli Señor de la Villa de Chillón a la Corona, por lo que se expide la Real Cedula del 13 de Junio de 1789¹⁰⁰. Aunque la falta de documentación no nos permite saber la duración de dicha anexión, (De la Cruz Martinez, 1993).

Al parecer todas las iniciativas tomadas en busca de mano de obra, lograron que en la mina llegasen a trabajar unos 4.500 trabajadores en el año 1780, haciendo innecesaria la utilización de los forzados y el traslado de los presos de la Real Cárcel de Forzados de Almadén al penal de Ceuta en 1801(Hernández Sobrino, 2010; Prior Cabanillas, 2006).

La financiación, fue otro de los problemas más importante durante la reanudación de los trabajos tras el incendio. Las quejas continuas de los superintendentes por la falta de fondos, la buena situación de la Real Hacienda, y la voluntad de aumentar la producción, hicieron posible la adquisición de nuevas máquinas, un mayor abastecimiento de madera y combustible, necesarios para el desarrollo de los trabajos en la Mina de Almadén.

Los avances tecnológicos, procedentes principalmente del centro de Europa, comenzaron a llegar a Minas de Almadén. Entre ellos destacar la instalación del primer malacate para el transporte vertical en el brocal del pozo

¹⁰⁰ Real Cédula para D. José de Rojas, Gobernador de las Minas de Almadén, pase a tomar posesión de dichas poblaciones y tierras.

de San Teodoro en 1769, el malacate de San Andrés ideado principalmente para el desagüe en 1785, o la primera máquina de vapor para el desagüe 1785-1805 siendo la tercera instalada en España después de las máquinas de Newcomen del arsenal de Cartagena, pero la primera en cuanto a su clase por ser de Watt de simple efecto. (Dobado González, 1989)

Finalizado el siglo XVIII, se comienza a emplear en las Minas de Almadén un nuevo sistema de explotación propuesto por el ingeniero Diego de Larrañaga, y que sustituye al sistema de Bancos y Testeros. Se estima que comenzó a utilizarse entre los años 1802-1804, permaneciendo en uso durante más de 110 años, (Fuentes Ferrera, 2012).

Diego de Larrañaga, no solo se limitó a diseñar un sistema de explotación, sino que preocupado por la metalurgia en 1806 introduce los hornos de Idria, similares a los de Bustamente pero con un rendimiento mayor y una menor contaminación (Mansilla Plaza & Puche Riart, 1986). En los hornos de Bustamente la condensación de los gases era pequeña y los vapores expulsados contenían aún mucho azogue. Para disminuir esta cantidad en los de Idria se colocaron arquetas de expansión que reducen la velocidad del aire y favorecen la condensación. Según (Tejero Manzanares, 2011), estos hornos fueron utilizados hasta 1905 y fueron sustituidos por los del tipo Cermak-Spirek, que a su vez fueron sustituidos por los hornos Pacific alrededor de 1950, últimos en funcionamiento en las Minas de Almadén. Es de destacar que los hornos que fueron empleados durante un periodo de tiempo mayor fueron los hornos de Bustamente, aproximadamente desde 1646 hasta 1929.

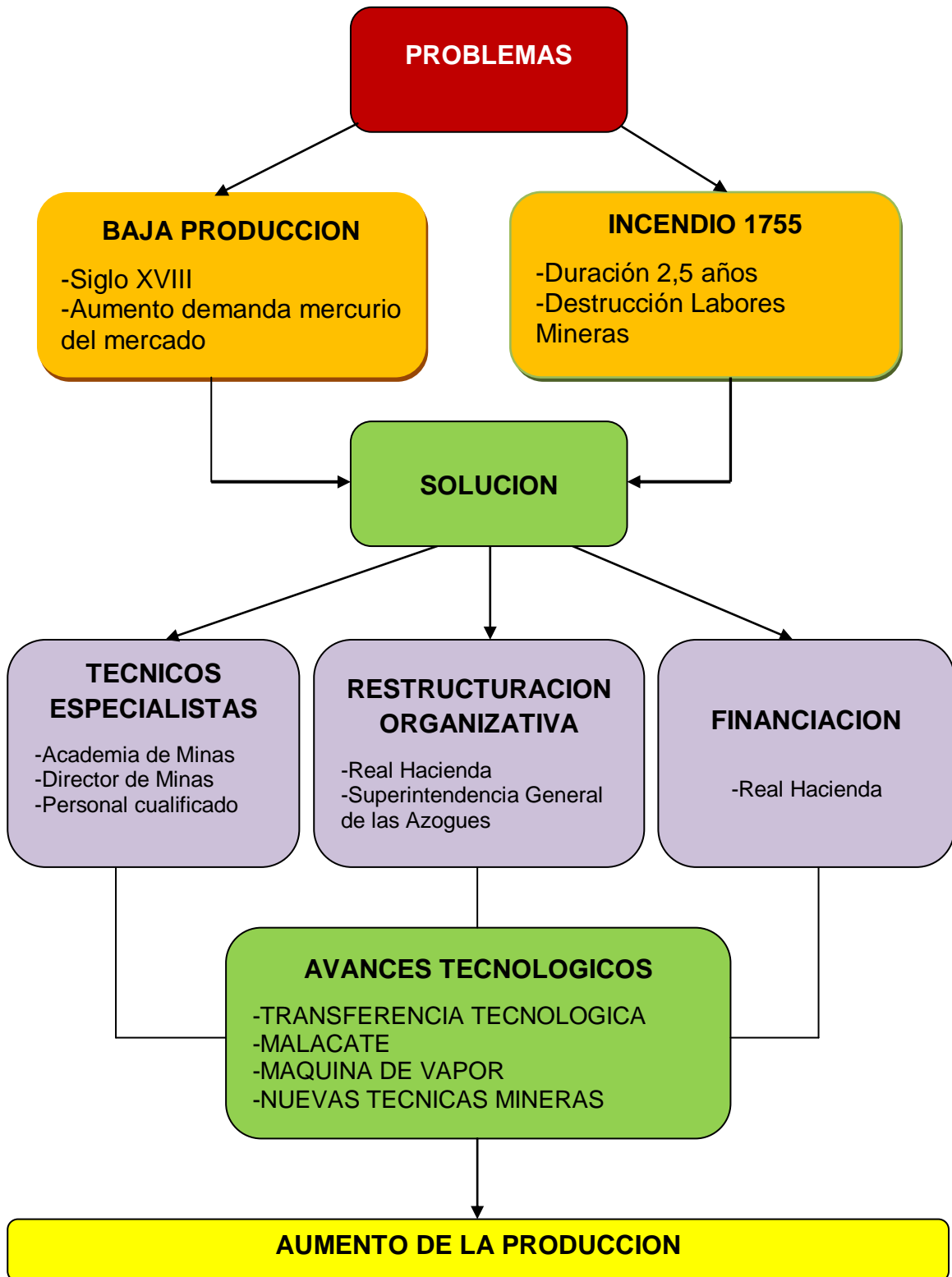


Gráfico 5. Factores que intervienen en la Evolución Tecnológica de Minas de Almadén. Siglo XVIII. Fuente: Elaboración propia.

5.4.4.-Método de explotación en Minas de Almadén en el siglo XIX.

Los diferentes métodos de explotación utilizados hasta la llegada del método de Larrañaga se pueden ver en la siguiente tabla.

EVOLUCION SISTEMA DE LABOREO EN MINAS DE ALMADEN			
FECHA	ANTIGÜEDAD SIGLO VI	SIGLO VI SIGLO XVIII	SIGLO XVIII
SISTEMA	ROMANOS	HURTOS	BANCOS Y TESTEROS
ARRANQUE	Pico y pala; Por Fuego	Pico y pala; Barrenas; Voladuras	Perforación Manual; Voladuras
FORTIFICACION	Madera	Madera; Mampostería	Madera; Mampostería
TRANSPORTE HORIZONTAL	A mano; Espuertas.	A mano; Espuertas; Carretones	A mano; Espuertas; Carretillas
TRANSPORTE VERTICAL	Escaleras; Tornos; Espuertas	Escaleras; Tornos; Espuertas	Malacates; Tornos
DESAGÜE	Socavón; Tornos	Socavón; Tornos	Bombas de Pistón; Tornos
VENTILACIÓN	Natural	Natural	Natural
ALUMBRADO	Antorchas	Antorchas; Candiles	Candiles
METALURGIA	----	Hornos Xabeca; Hornos Reverberación; Hornos Aludeles	Hornos Aludeles

Tabla 13. Evolución del Sistema de Laboreo en Minas de Almadén.
Fuente: (Mansilla Plaza & Iraizoz Fernández, 2012)

Entre 1802-1804, coincidiendo con la puesta en funcionamiento de la primera máquina de vapor, en las minas de Almadén se adopta un nuevo método de explotación diseñado por el ingeniero y director de las minas D. Diego de Larrañaga.

Este método sustituyó al antiguo de bancos y testers introducido por los alemanes en el siglo XVIII, y que apenas tres décadas desde el inicio de su utilización presentaba serias deficiencias como el propio Agustín de Betancourt reflejó en sus memorias, con numerosas mejoras técnicas propuestas tanto en la extracción de agua, como en la explotación, y en la metalurgia.

El método de “Larrañaga”, permitía una explotación mucho más segura del yacimiento y podía considerarse una labor mixta (Ezquerria del Bayo, 1851), donde se utilizan labores tanto en bancos, como en testers, como a través.

Se diferencian dos fases, como en todo método minero. Una primera en la que se realizaba la preparación del terreno a explotar, excavando un entramado de galerías y pozos necesarios para facilitar la explotación del filón por fases.

En la segunda fase es en la que se producía la explotación en sí. A grandes rasgos el método de explotación consistía en el arranque del mineral por tajos verticales en tres etapas, construyéndose un sostenimiento en base a muros de mampostería y arcos de ladrillo según se avanzaba en el arranque. En la primera etapa se procedía al arranque de una faja central del macizo en toda la longitud y altura del piso. En la segunda etapa se arrancaba la mitad de cada una de las dos fajas dejadas en la etapa anterior. Y en la última etapa se arrancaba la última mitad de la faja que había quedado pendiente en las etapas anteriores.

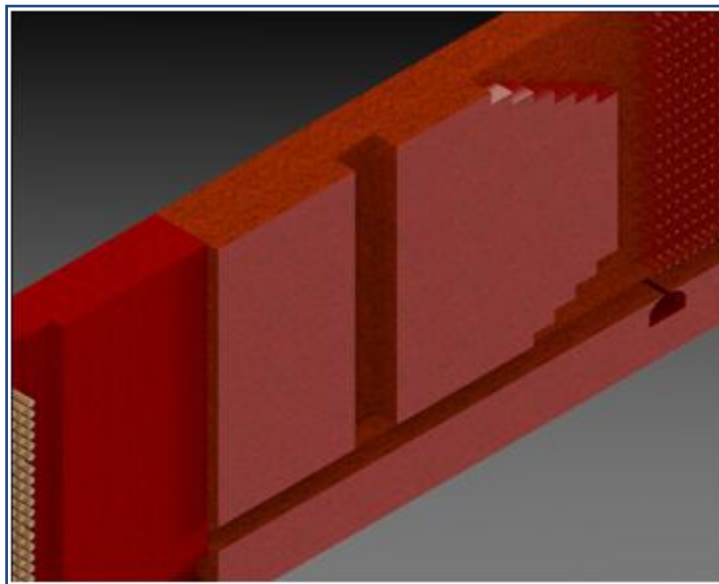


Figura 77. Primera etapa método Larrañaga.
Fuente: (Fuentes Ferrera, 2012)

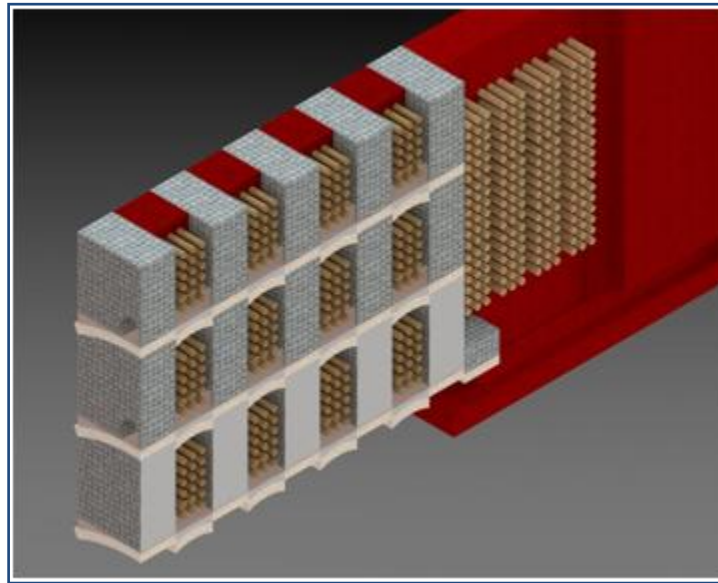


Figura 78. Segunda etapa método Larrañaga.
Fuente: (Fuentes Ferrera, 2012)

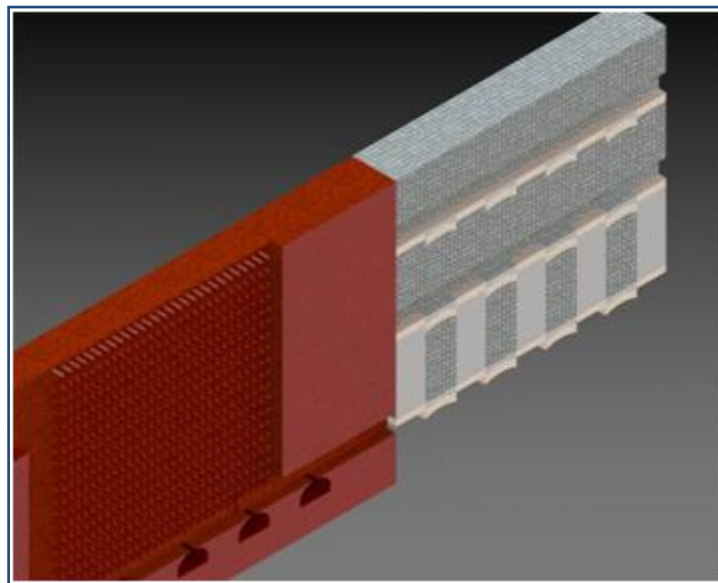


Figura 79. Tercera etapa método Larrañaga.
Fuente: (Fuentes Ferrera, 2012)

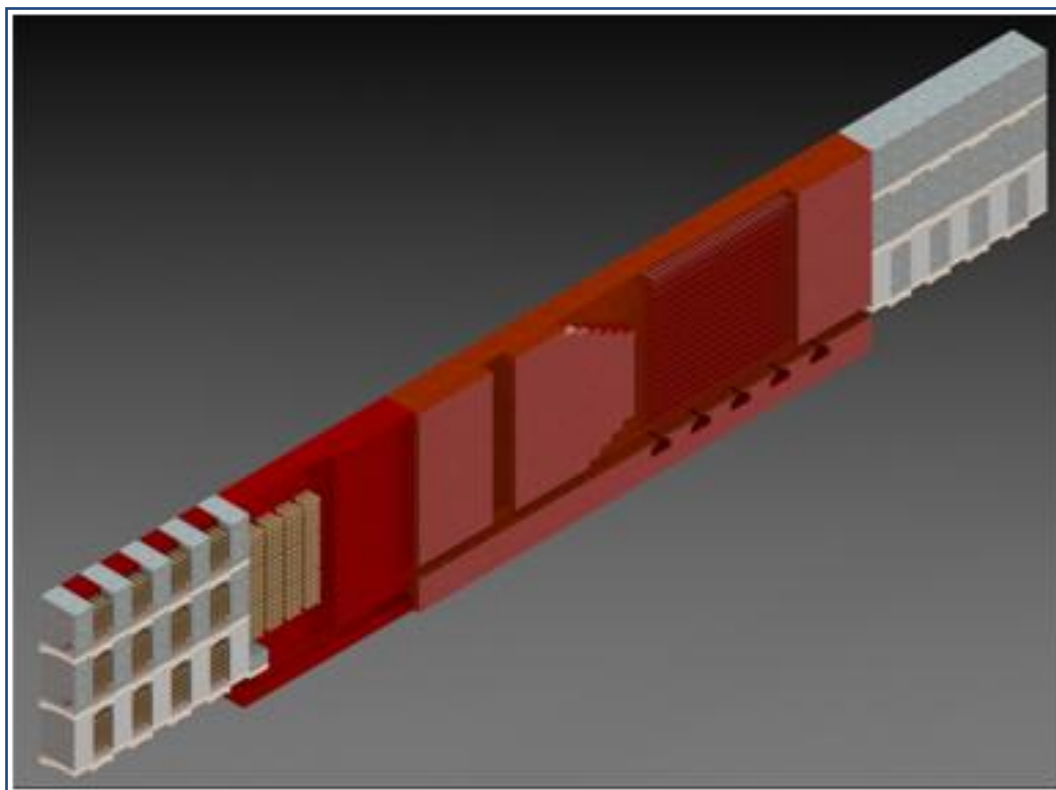


Figura 80. Etapas método de Larrañaga. Fuente: (Fuentes Ferrera, 2012)

Mediante este método se explotó una importante parte de la mina, concretamente entre los pisos 5º al 12º. A finales del siglo XVIII el pozo de San Teodoro llegaba hasta el 4º piso a unos 150 metros de profundidad aproximadamente, el de San Miguel hasta el 3º piso a unos 110 metros de profundidad y el de San Aquilino con unos 100 metros de profundidad apenas alcanzaba el 3º piso. Datos que se pueden observar en el plano de 1792 de Diego Larrañaga analizado en el estudio de Demetrio Fuentes, (Fuentes Ferrera, 2012). Comparado con la descripción de la mina realizada por su Director Eusebio Oyarzabal, (Oyarzabal, 1880), a finales del siglo XIX el estado de los pozos era el siguiente, los de San Teodoro y San Miguel alcanzaban ya la profundidad de 300 metros rebasando el 10º piso y el de San Aquilino con 265 metros alcanzaba el 9º piso.

La puesta en marcha de este método de explotación supuso una revolución absoluta en el arte de laboreo de la mina, partiendo de una planificación inicial que regulaba los trabajos, y aseguraba así un ritmo de producción más o menos constante. Como pozo principal se estableció el de San Teodoro, para dar servicio a los tajos, y como pozos auxiliares el de San Miguel usado principalmente para ventilación y el de San Aquilino para la entrada y salida de los operarios.

La vida del método Larrañaga fue pareja a la vida de la máquina de vapor en las Minas de Almadén, coincidió en su comienzo y en su final, constituyendo uno de los mejores ejemplos de la revolución tecnológica en una mina española.

6.- LA ERA DEL VAPOR EN MINAS DE ALMADÉN

6.-LA ERA DEL VAPOR EN MINAS DE ALMADÉN

6.1.-El problema del desagüe en Minas de Almadén.

El principal motivo que lleva a la instalación de la primera máquina de vapor en las Minas de Almadén no es otro que la necesidad de extracción del agua que acumula en el interior de la mina. Cuando la profundidad de las excavaciones sobrepasa el nivel freático el agua mana y dificulta las labores en el interior de las minas, llegando en algunos casos a la inundación y a la paralización completa de los trabajos.

6.1.1.-Desde los romanos hasta mediados del siglo XVIII.

Hasta el siglo XVIII se emplearon en el desagüe los sistemas tradicionales basados en la evacuación del agua aprovechando las pendientes y diferentes de cotas. El uso del socavón y el plano inclinado permitía evacuar el agua mediante canales hechos en el suelo y hasta el punto más bajo del valle próximo. Cuando la profundidad de la mina estaba por debajo del nivel del valle y resultaba imposible el empleo del socavón, la extracción se realizaba a mano o bien mediante tornos manuales y zacas¹⁰¹ desde un piso al inmediato superior en forma de escalera (aproximadamente entre 20 y 30 metros de desnivel) hasta llegar al socavón. Para este método era necesario utilizar de dos a cuatro “tiradores” en el torno, un “charquero” que llenaba la zaca en el fondo y un “amainador”, que la vaciaba. Por norma general, estos trabajos realizados a “*fuerza de sangre*”, estaban reservados para los forzados y esclavos, ya que debido a su gran dureza muchos operarios se negaban a su realización.

Para la recogida de las aguas para su posterior elevación, se construían depósitos en las cercanías del pozo de San Teodoro, a donde se canalizaban todas las aguas de la mina para ser elevadas. Los depósitos o calderas, se construían sobre la roca y se revestían de mampostería con el fin de impermeabilizarlos y evitar la filtración del agua. Estos depósitos se encontraban en el 4º, 5º, 7º y 9º piso (mediados del siglo XVIII).

¹⁰¹ Bolsas de cuero con una capacidad aproximada de 10 arrobas.



Figura 81. Desagüe a fuerza de sangre con torno de mano y zacas de cuero.
Fuente: (Hernández Sobrino & Fernández, 2005)



Figura 82. Charquero llenando zaca de cuero. Fuente: Parque Minero de Almadén.

De los diferentes tornos que existían en la mina, el de San Andrés tenía una profundidad de 81 varas todas ellas construidas en mampostería y era usado exclusivamente para el desagüe de la mina. Desde este torno salía una galería hacia levante conocida como la “*caña de levante*”, que se dirige hacia el torno de Castro, y su continuación es la “*galería de forzados*” que se dirigía hasta la cárcel, empleada para llevar a los presos hasta la mina. La galería estaba realizada en mampostería en la mayor parte de su trayecto y en roca viva desde el torno de Castro hasta el torno de San Andrés.

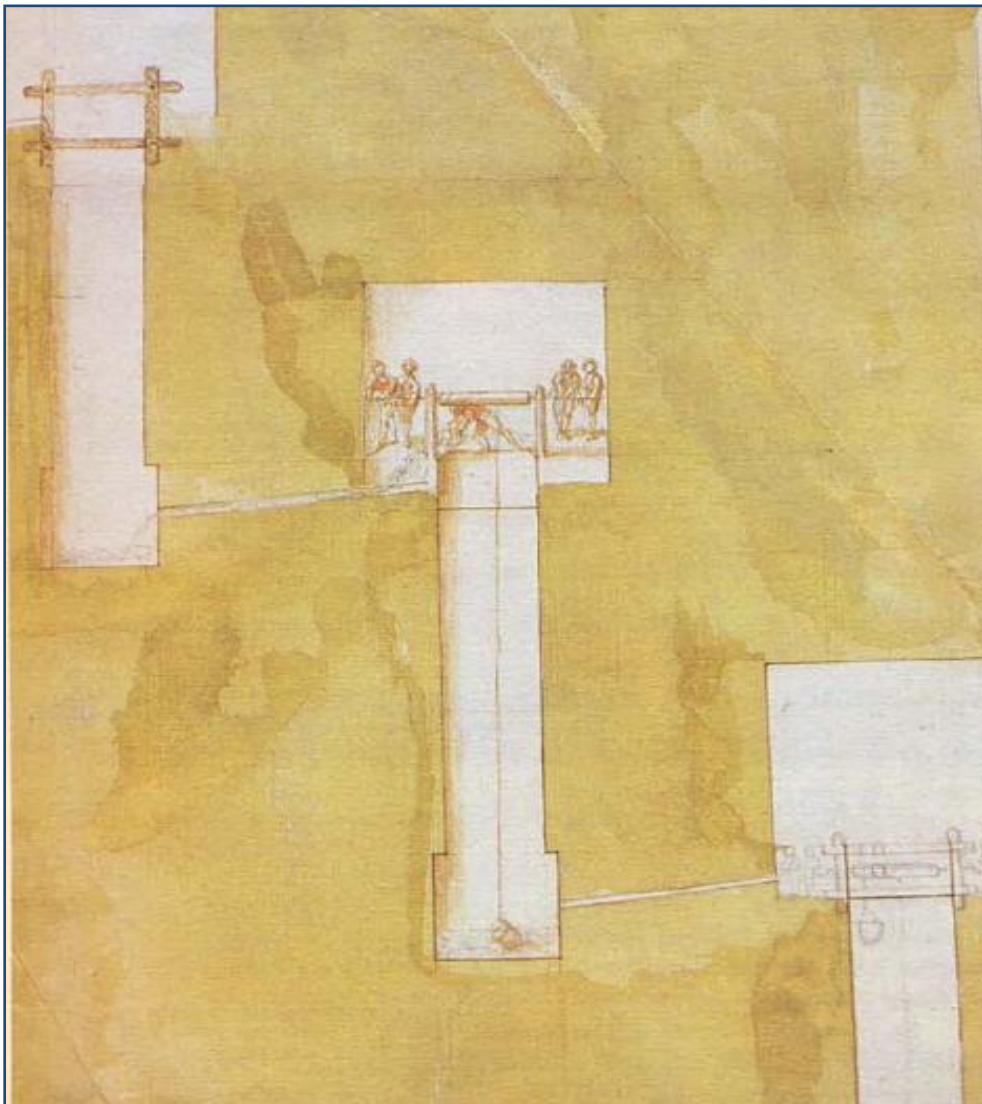


Figura 83. Tornos de achicar agua en las minas de Almadén.
Fuente: Archivo General de Simancas. Mapas, Planos y Dibujos, VII-44.

6.1.2.-Desde la década de 1750 hasta comienzos del siglo XIX.

A medida que avanzaba el siglo XVIII se fue profundizando la explotación, alcanzando los 140 metros a mediados de siglo (Hernández Sobrino & Fernández, 2005), lo que acentuaba el problema del desagüe y la necesidad de buscar soluciones. La llegada de los expertos alemanes a la mina supone la introducción de un sistema de desagüe basado en bombas aspirantes accionadas por medio de una palanca o balancín, y colocadas de forma escalonada para salvar desniveles más pequeños al igual que se hacía con el torno de mano.

Es difícil asegurar que la introducción de las bombas fue debida a los alemanes, en torno a 1757, como avalan las ordenes de los superintendentes (Prado, 1846) o (Matilla Tascón, 1987). El propio Matilla Tascón, en su primer volumen (Matilla Tascón, 1958), hace referencia a la existencia de bombas para el desagüe a comienzos del siglo XVI, y por el contrario en una descripción del año 1621, solo hace referencia a la utilización de tornos de mano. Fuera de parecer una contradicción, y debido a la falta de documentación, expondremos que estamos frente a un caso de falta de evolución lineal acorde a la tecnología de las minas. También constituye un exponente del atraso tecnológico que vivían las minas de Almadén, ya que en el año 1729 la máquina de vapor de Newcomen era empleada en varios países.

En las décadas de 1770 y 1780 se seguía experimentado con nuevos métodos, como la utilización de bombas mixtas (aspirante-impelente), o el uso de la fuerza animal a través de un malacate construido bajo la dirección del francés Francisco Pellieur, aunque los resultados obtenidos tampoco fueron satisfactorios. Otro de los sistemas utilizados fue la noria de Francisco Gabriel Malo de Molina (Anónimo, 1779), en el pozo de San Aquilino, que con multitud de imperfecciones y a fuerza de sangre alimentaron de agua el cerco de San Teodoro sin mucho éxito.

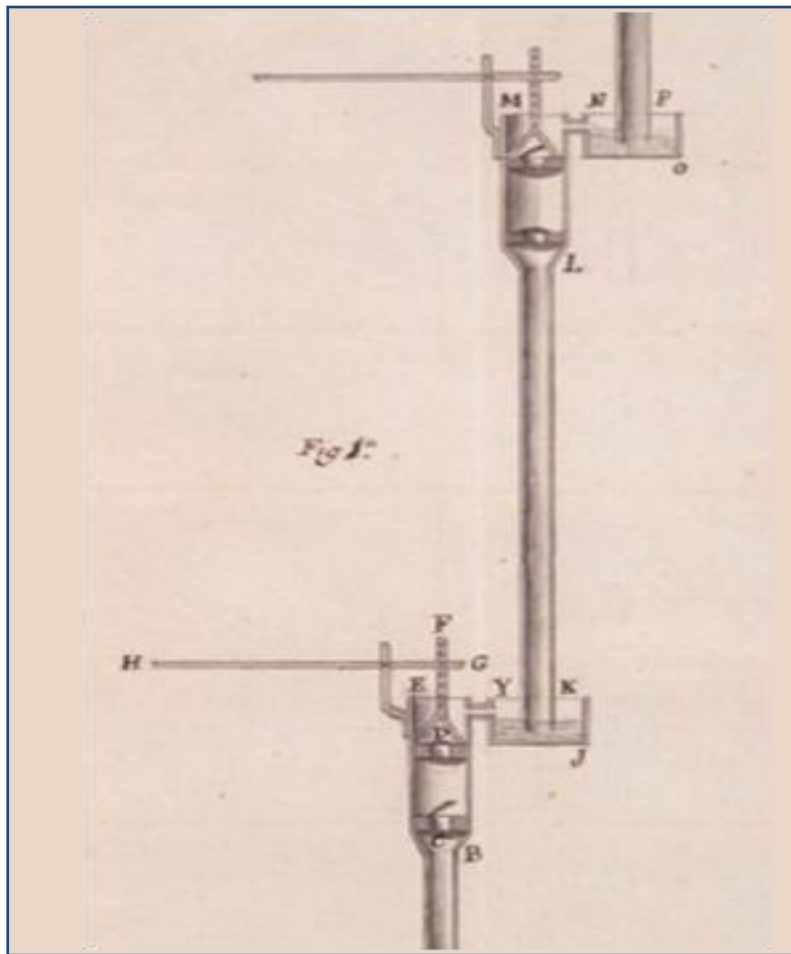


Figura 84. Bombas aspirantes minas de Almadén.
Fuente: (Betancourt, 1783)

Zarraluqui en sus memorias relata que fueron muchas las reformas que quiso implantar Francisco Gabriel, aunque los resultados fueron similares en todos ellos, quedando demostrada su ineficacia al ponerlas en marcha. Un ejemplo fue otra de las norias que instaló para desaguar la mina del Pozo y para la que se necesitaban veinte hombres que se relevaban incesantemente para ponerla en funcionamiento. (Zarraluqui, 1983)

Con el objeto de encontrar una solución al problema del desagüe de la mina de Almadén, en 1783 el Conde Floridablanca ministro principal de la Corona y el Superintendente General de los Azogues José de Gálvez, encargaron inspeccionar las minas a los expertos Tomás Pérez Estala y Agustín de Betancourt.

Betancourt, tras su visita a la mina, escribió las tres memorias sobre las minas, siendo en la primera de ellas en las que analiza los métodos de extracción del agua y su problemática. Tras su análisis propone unas reformas moderadas del sistema de bombas para mejorar su rendimiento, con la finalidad de no interrumpir el proceso de desagüe que se estaba llevando a cabo, además de recomendar incrementar la cualificación de los operarios que las accionaban, y no utilizar el sistema de zacas pues su eficiencia era la mitad que la de las bombas manuales. Hay que indicar que no hace mención a ninguna reforma drástica pues como el mismo indica en su primera memoria:

*“... sin espíritu de reformador ni de proyectista, porque no tenía misión para lo primero, ni lo segundo es de mi genio”.*¹⁰²

Aunque en su análisis se puede deducir que ya se estaba planteando la necesidad de construir una máquina para la extracción del agua, y esto se debe sin duda a la visita que realizó Tomás Pérez Estala unos meses antes, tras la siguiente reflexión:

“..., he reflexionado que, si se piensa hacer una máquina para extraer estas aguas, será preciso contar con que la extracción diaria, debe ser, de más de 4000 pies cúbicos¹⁰³...”

¹⁰² Véase (Betancourt, 1783)

¹⁰³ 113,27 m³. → 1 pie cúbico = 0,0283m³.

ESTADO DE LAS AGUAS DE LAS REALES MINAS DE ALMADÉN																	
Zonas en las que hay agua	Nº Bombas	Nº Zacas	Altura que sube el agua	Nº Jornaleros		Entradas que hacen devengan		Precios de cada jornal (Reales)		Total Importe	Agua elevada en una hora		Agua que produce la mina		Transitos que hace el agua dentro de la mina	Sitios por donde sale el agua de la mina	
				Bombero	Compositor	Entradas	Jornales	Bombero	Compositor		Día	Año	Pies	Pulgadas			Pies
3º Torno San Francisco	1	"	10	2	"	4	8	5	"	40	14600				Caldera 2º Torno	Pasan por la Travesía de San Andrés y salen por el Socavón del Castillo	
2º Torno San Francisco	"	2	28	6	"	4	26	5	8	136	94640	120	"	1200	Suelo 1º Torno		
1º Torno San Francisco	2	"	18	4	1	2	8	5	"	40	14600				Caldera Torno San Andrés		
Plan de San Julian	"	2	36	5	"	1	5	5	"	25	9125				Caldera Torno Grande	Se consume en la mina	
Plan de San Carlos	"	2	34	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	80	Caña Real 4º Piso- Caldera San Andrés		
Travesía de San Miguel	"	"	74	"	"	"	"	"	"	"	"				Caña Gitana		
Plan de San Juan	5	"	46	5	1	2	12	5	8	66	24090	53	816	534	1248	Caldera de San Andrés	Sale por el Socavón del Castillo
Travesía al norte de la caña Real en el 4º piso	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	20	"	480	"		
Torno de San Andrés	9	"	81	18	2	4	76	5	8	392	143080	110	1272	2214	1248	Travesía de San Andrés	
Charcos de San Teodoro	"	"	2	2	"	0,5	1	4	"	4	1460	"	"	28	"		
Torno principal de la Esperanza	5	"	44	10	2	2	22	6.17	8	146	53290	90	"	1800	"	Suelo 1º Torno Santa Catalina	Sale por el Socavón de Santa Catalina
Torno 2º de Santa Barbara	4	"	38	4	2	1	5	5.17	8	22	8030	68	"	340	"		
Torno 1º de Santa Barbara	4	"	32	8	"	4	"	"	"	176	64240	108	691	2168	"	Socavón de Santa Catalina	
TOTAL	30	6	"	64	8	"	197	"	"	1047	427155	570	1091	9845	788		

Tabla 14. Estado de las Aguas de las Reales Minas de Almadén en 1783. Fuente: (Betancourt, 1783)

Otro dato importante del análisis de Betancourt es que en 1783 se destinaban 72 operarios a las labores de desagüe con un coste anual de 427.155 reales. A este coste había que sumarle los producidos como consecuencia de los retrasos que se producían en todas las operaciones de la mina por el mal funcionamiento de los sistemas utilizados. Esta circunstancia lleva a la Real Hacienda a la necesidad de encontrar una solución eficiente que reduzca los costes de desagüe.

Del estudio de los sistemas de desagüe empleados, se puede achacar su fracaso, especialmente el de las bombas, a los siguientes motivos:

- La fabricación de los cilindros de las bombas con madera de roble en lugar de utilizar cobre u otro metal similar, por su elevado coste. Las maderas se pudrían y se rajaban y obligaba a su continua reposición con grandes retrasos y costes para la Real Hacienda.
- El incorrecto dimensionado de las bombas tal y como deja patente Betancourt al referir que las proporciones entre el diámetro del cilindro del émbolo y el del cañón que absorbe el agua no son las correctas, o bien por no contemplar que la altura máxima a la que podían elevar el agua por atracción era de 35 a 37 pies y 1/3 castellanos, lo que limitaba la longitud máxima por bomba a unas 12 varas aproximadamente (10 metros). Todo esto generaba gastos y retrasos innecesarios, ya que en algunos casos para una altura de 24 varas (20 metros), se colocaban 3 juegos de bombas en vez de 2, o que en una altura de 15 varas (12,6 metros) se colocase un juego único de bombas incapaz de elevar el agua.

Las palabras puestas en la boca de un maestro de bombas de las minas, deja claro que existía un total desconocimiento de mecánica de fluidos:

“Las Bombas eran unos duendes que sacaban agua cuando querían, y cuando no, no había diablos que las hiciesen ir adelante” (Betancourt, 1783)

Otro factor observado por Betancourt en las minas de Almadén fue la falta de cuidado de las máquinas por parte de los empleados, con la cantinela *“El Rey paga”*, insensibles a los costes que ocasionaban a la Real Hacienda con sus negligencias.

Tomás Pérez propone como solución dejar de utilizar los sistemas tradicionales a favor de la instalación de una máquina de vapor, como la que había tenido ocasión de ver en la mina francesa de carbón de Fresnes. Además según (Helguera Quijada, 1999), Pérez estaba en contra del malacate de Pellieur tachándolo de fraude además de decir que era un procedimiento obsoleto y mucho menos eficiente que la máquina de vapor.

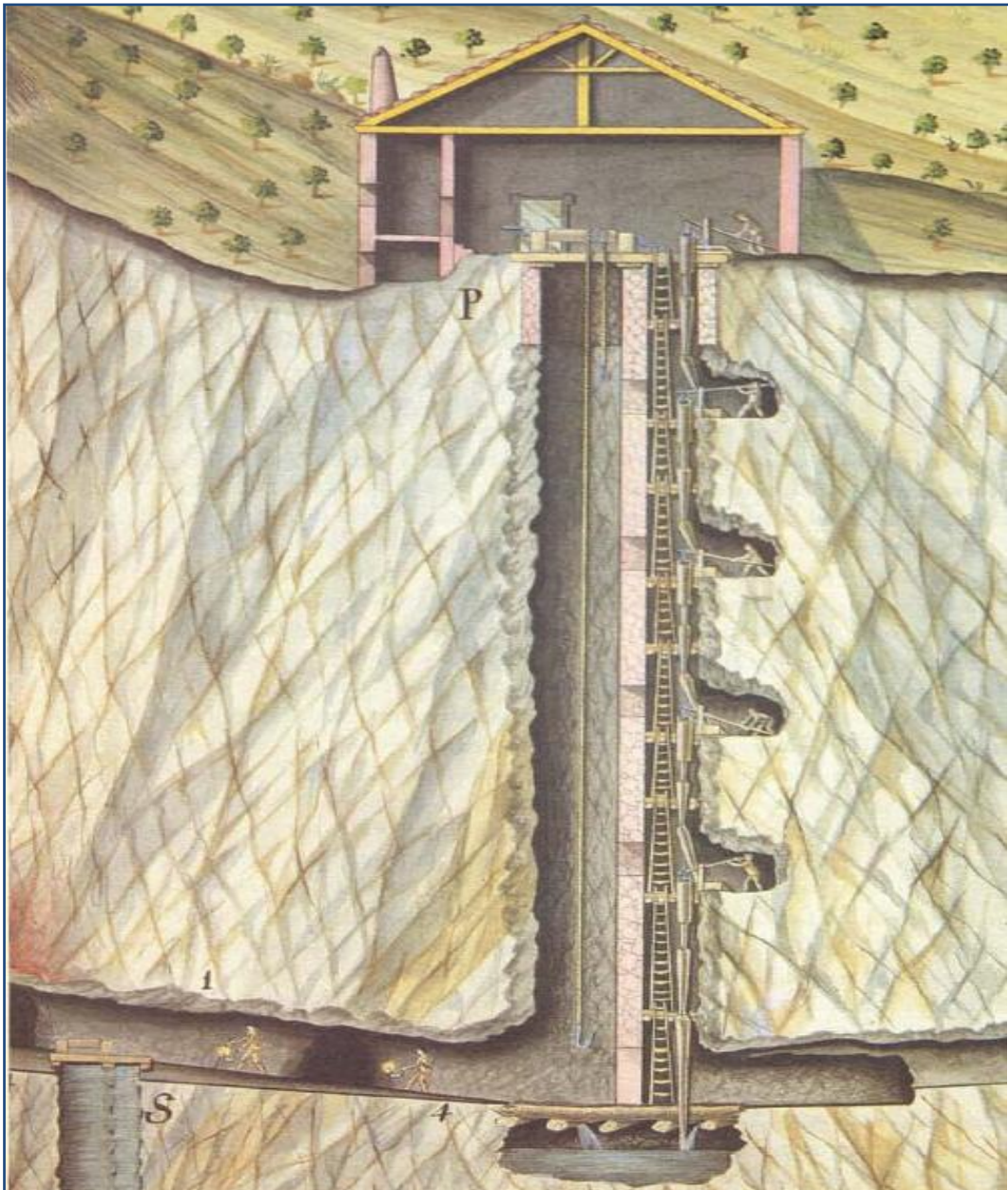


Figura 85. Bombas aspirantes en la mina de la Concepción de Almadenejos.
Fuente: (Tascón & Pérez, 1990)

Sin embargo, la decisión de utilizar la nueva tecnología del vapor no llegó hasta 1785, tras comprobar el escaso rendimiento del malacate en la extracción del agua. El Secretario de Indias y Superintendente General de Azogues, José Gálvez decide emplear una máquina de vapor para resolver el problema del desagüe de las Minas de Almadén. A favor de esta máquina podemos encontrar los siguientes datos en (Zarraluqui, 1983):

“La cantidad de agua que entonces hacía la mina, se calculaba en 1.200 pies cúbicos en veinticuatro horas.... Su desagüe con bombas de mano desde el quinto piso hasta el brocal del pozo de San Teodoro costaba 178.795 reales al año, y... de la máquina de fuego,... 67.408 reales, la máquina proporcionó una economía de 111.386 reales.”

No fue hasta 1805, cuando la máquina de vapor comenzó a funcionar a pleno rendimiento, lo que supuso un importante salto tecnológico para las Minas de Almadén.

En resumen, la utilización de diferentes sistemas de desagüe como bombas, norias, e incluso la máquina de vapor, prueban la complejidad del conjunto de factores técnicos, económicos y sociales que intervienen en la innovación tecnológica, aplicada al proceso productivo.

6.2.-La primera máquina de vapor del pozo de San Teodoro.

6.2.1.-La instalación de la primera máquina de vapor 1787-1805.

La preocupación de la Real Hacienda por la baja producción de las minas de Almadén durante el siglo XVIII llevó a adoptar decisiones como el aumento de la financiación al establecimiento, la reestructuración de la organización administrativa y la contratación de expertos en minería con el objeto de implantar nuevos métodos y técnicas que diesen como resultado el aumento de los ingresos en las arcas del Estado.

Una de estas mejoras fue la adquisición de una máquina de vapor para resolver de una forma definitiva la problemática del desagüe en la mina vieja de Almadén.

Su adquisición comienza a gestarse cuando en el año 1785, el Superintendente General de las Azogues, José de Gálvez, encarga la adquisición e instalación de una de estas máquinas a Tomás Pérez Estala a la vista de las conclusiones a las que este había llegado unos años antes.

Tomás Pérez es comisionado en el año 1786 a un viaje a Inglaterra con el objeto de adquirir varias máquinas de vapor para Almadén y obtener información sobre la industria textil. Se podría considerar que en este viaje las intenciones estuvieron a caballo entre la adquisición de máquinas y el espionaje industrial. (Helguera Quijada, 1999).

De su viaje a Londres, Tomás Pérez redactó una memoria¹⁰⁴ explicativa de las diferentes fábricas y maquinarias que había visitado, aunque sin mucho detalle, pues probablemente buscaba rentabilizar en su propio beneficio los conocimientos adquiridos.¹⁰⁵

¹⁰⁴ Londres, julio de 1786, Tomás Pérez. “Fábricas que ha visto Don Tomás Pérez en su último viaje en Inglaterra. Son para él todas nuevas, y tiene las explicaciones de las operaciones de cada una, con notas de las dimensiones de sus máquinas”. Archivo Histórico Nacional. Estado. Legajo 3000

¹⁰⁵ Su suegro era propietario de la fábrica de paños de Segovia, que años más tarde sería regentada por el mismo.

En relación a la adquisición de las máquinas para la mina de Almadén, Tomás Pérez pudo visitar las fábricas que poseía John Wilkinson¹⁰⁶ en Bersham y en Broseley, viendo de primera mano cómo funcionaban las máquinas de vapor de simple efecto con condensador independiente de Boulton&Watt, frente a las de tipo Newcomen que ya estaban obsoletas. Pérez quedó muy impresionado y solicitó al Superintendente José Gálvez la aprobación inmediata de su compra. Se ordena la adquisición a Wilkinson de las piezas tres máquinas de vapor con tamaño de cilindro de 50, 38 y 26 pulgadas de diámetro respectivamente, quien se compromete a suministrarlas a pesar de que son Boulton&Watt los que tienen los derechos de patente.

Wilkinson, aprovechó el encargo de la fabricación de los cilindros de estas máquinas de Watt para copiar su diseño y construirlas en su propio beneficio. Se estima que Wilkinson llegó a montar alrededor de 30 de estas máquinas de vapor sin licencia, entre las que están las tres máquinas de Almadén. (Ashton, 1963)

Una mala decisión adoptada por Tomás Pérez fue encargar sólo algunas piezas de la máquina, aquellas que no se podían fabricar en España, las calderas, los cilindros y el condensador, fiando el resto y su montaje al conocimiento adquirido.

Por otro lado, la máquina que se compró ya estaba superada tecnológicamente por la desarrollada por Watt de doble efecto, que además a diferencia de Wilkinson, ofrecía asistencia técnica durante el montaje.

Estas dos decisiones condicionaron en gran medida el montaje de esta primera máquina de vapor. La fabricación de piezas en diferentes lugares provocó retrasos en la recepción e incompatibilidades entre estas y la compra a Wilkinson supuso no disponer de ningún asesoramiento técnico durante su montaje. Tan sólo Tomás Pérez era conocedor del montaje y sin ser un experto no poseía el conocimiento suficiente para resolver todos los problemas que se fueron planteando.

En menos de un año se embarcan en el “The Recovery” las piezas de las tres máquinas encargadas a Wilkinson, junto con 70 toneladas de carbón que se emplearían como combustible. Se produce su partida desde el puerto

¹⁰⁶ conocido con el sobrenombre de “Iron Master”

de Chester entre febrero y marzo de 1787 y su llegada al puerto de Cádiz el 15 de abril de 1787. Posteriormente el cargamento alcanza el puerto de Sevilla y su posterior traslado a Almadén.

Las piezas llegaron a Almadén a finales de Mayo de 1787, y fue a Tomás Pérez, a quien se le encargó la construcción del edificio donde se iba a ubicar la máquina de vapor. Durante los trabajos, el Superintendente José Gálvez pidió que los alumnos de la Escuela de Almadén acompañasen a Tomás Pérez para ser instruidos en la materia.

El montaje de la primera de las máquinas se inicia el 4 de junio de 1787 en el brocal del pozo de San Teodoro y se prolongó hasta julio de 1799, un total de 12 años, fecha de la que se tiene noticia de su puesta en marcha. Sin embargo, por la documentación consultada, se deduce que no llegó a funcionar a rendimiento hasta el año 1805, al comprobar que existen archivos de contabilidad donde se reflejan la existencia de gastos de instalación de la bomba de fuego¹⁰⁷ durante ese periodo (Archivo Histórico Nacional, 1805).

Los informes de la Superintendencia de Pedro Hernando en el año 1804 solicitando a la Real Fundición de Artillería de Sevilla más piezas de cobres imprescindibles para el funcionamiento de la máquina de vapor, (Archivo Histórico Nacional, 1806), o los datos de (Dobado González, 1989), sobre la sustitución de las 23 bombas que realizaban el desagüe del cuarto al quinto piso por la máquina de vapor en agosto de 1804, confirman que el montaje de la máquina se extendió hasta 1805, sumando un total de 18 años.

Este largo proceso de montaje se vio afectado por la confluencia de varios sucesos. En primera instancia el proyecto perdió su apoyo político por el fallecimiento de su promotor, el Superintendente Gálvez, 1787 y sus sucesores¹⁰⁸ y las diferentes reestructuraciones administrativas¹⁰⁹, no prestaron la atención suficiente al proyecto.

Por otro lado el propio Tomás Pérez fue motivo de demoras y errores en el montaje y puesta en marcha. Cuando Pérez recurre a Wilkinson para fabricar

¹⁰⁷ Nombre por el que se conocía a la máquina de vapor del Pozo de San Teodoro.

¹⁰⁸ En aquella época, Antonio Valdés estaba respaldando el proyecto de la instalación de la nueva máquina de vapor de doble efecto para el Arsenal de la Carraca. (Torrejón Chaves, 1995)

¹⁰⁹ La Superintendencia General de las Azogues, quedó provisionalmente incorporada a la Secretaría de Estado de Marina, hasta 1790 que se incorporó a la Secretaría de Estado de Hacienda.

las piezas de la máquina, opta por la falta de garantía y ausencia de asesoramiento técnico. En segundo lugar, confiar en exceso en sus propios conocimientos para el montaje y las adquiere incompletas, sin disponer de unos planos fiables para la fabricación del resto en España. Tuvieron que fabricarse una gran cantidad de piezas sueltas que eran un verdadero rompecabezas y que ocasionó importantes retrasos en las entregas. Y en tercer lugar, en 1788, al año de comenzar el montaje, tiene que abandonar Almadén para hacerse cargo de la dirección técnica de una fábrica de paños segoviana, dejando a su hermano Manuel Pérez, desconocedor de la materia, al frente del proyecto. A pesar de todo Tomás Pérez, no se desvincula por completo del proyecto, manteniendo el contacto con su hermano y estar al tanto de la marcha de los trabajos. Remite algunos informes durante el montaje e incluso existen constancias de que visitó las minas en 1799 y en 1804, coincidiendo con las fechas claves de la puesta en marcha de la máquina.

Consecuencia de continuos retrasos, el nuevo Superintendente Diego de Gardoqui, ordenar en el año 1793 que se trasladen a Cádiz las otras dos máquinas más pequeñas que se habían adquirido para intentar darles servicio (Archivo Histórico Nacional, 1798). A pesar de los intentos de mantenerlas en las minas, y proponer el montaje de una de ellas en las minas de Almadenejos, las máquinas salieron rumbo a Cádiz, terminando en paradero desconocido pudiendo haber sido víctimas del contrabando de máquinas o simplemente haber terminado en algún proceso de reciclaje industrial.

Después de 18 años se puede dar por concluido el montaje de la máquina, en Junio de 1805 con unos gastos totales de instalación que ascendían a 1.908.742 reales desglosados en el informe de (Fernández Aparicio, 2004) sobre los archivos de contaduría de las Minas de Almadén.

AÑO	GASTOS	FUENTE
1787	197.269 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 1
1788	96.075 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 1
1789	51.200 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 1
1790	128.280 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 2
1791	226.860 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 2
1792	107.769 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 2
1793	46.246 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 2
1794	80.094 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 3
1795	69.975 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 3
1796	61.130 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 3
1797	57.777 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 3
1798	86.127 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1488, caja 3
1799	112.447 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1275, caja 3, cuaderno I
1800	105.129 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1275, caja 3, cuaderno I
1801	97.346 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1275, caja 3, cuaderno I
1802	73.104 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1275, caja 3, cuaderno I
1803	104.475 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1275, caja 3, cuaderno I
1804	126.152 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1275, caja 3, cuaderno I
1805	81.287 reales	AHN. FF.CC - Minas de Almadén, legajo 1275, caja 3, cuaderno I
TOTAL:	1.908.742 reales	

Tabla 15. Gastos instalación primera máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Aparicio, 2004)



Gráfico 6. Evolución gastos instalación primera máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: Elaboración propia.

Un análisis de la evolución de los gastos permite distinguir tres etapas: La etapa inicial, donde se producen los mayores gastos ocasionados por la adquisición de las piezas principales, los viajes a Inglaterra y la construcción de un edificio nuevo para su ubicación. La etapa central, donde los gastos descienden y se regularizan, motivado principalmente por la lentitud de los trabajos. Y la última etapa en la que vuelve a notarse un aumento de gastos ocasionados por la puesta en marcha desde 1799 hasta 1805.

La preocupación de la Real Hacienda por el gran desembolso realizado en el proyecto, bastaron para que en dos meses desde que se dio por concluida la instalación, el Superintendente de las Minas, Miguel Balterra, solicitara al Director de las Minas, Diego de Larrañaga, un informe completo sobre los beneficios que produciría la máquina de vapor a la Real Hacienda. (Archivo Histórico Nacional, 1805)

En respuesta a la petición de Balterra, el 20 de agosto de 1805, Diego de Larrañaga, expone que desde que la máquina comenzó a prestar su servicio en 1799, se ahorraban los 178.795 reales anuales que suponía el servicio de las bombas de mano, y que el gasto anual de la bomba de fuego ascendía a 67.408 reales, que restados a los 178.795 reales, suponía un beneficio de 111.386 reales al año.

Desde el año 1805, la sustitución de las bombas del 4º al 5º piso y la profundización de las instalaciones de bombeo de la máquina de vapor hasta el 5º piso suponen 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. (Archivo Histórico Nacional, 1805)

Pero no todo fueron ventajas, el asentamiento de una nueva tecnología lleva consigo la necesidad de un conocimiento técnico específico y un personal cualificado, factores que sumados a los avatares del proceso de montaje, nunca dejaron que la máquina mostrase su mejor versión.

Para mejor comprensión de la vida de la máquina se ha seguido sus pasos desde su montaje analizando toda la información que aportaban sobre ella los ingenieros del ramo de minas a través de sus informes anuales realizados tras la visita regular a las minas.

En los informes correspondientes a los años 1805-1819, 1819-1829, 1830-1836 de las Minas de Almadén, se puede comprobar que durante los primeros años solo se hacía mención al buen estado que presentaba la máquina y lo beneficiosa que era para el Establecimiento, considerándose como el bien máspreciado del establecimiento.(Archivo Histórico Nacional, 1805-1819, 1819-1829, 1830-1836).

No obstante la máquina fue objeto de reparaciones y recomposturas, necesarias para mantener su buen estado de funcionamiento y evitar los perjuicios a la mina. Estas reparaciones se realizaban en el intermedio de una tirada¹¹⁰ a otra, o durante la propia tirada. Para ello se fabricaron piezas duplicadas de repuesto que eran probadas con antelación para asegurar la calidad y precisión requerida. Otra circunstancia a vencer era la falta de personal cualificado como atestiguan las palabras escritas en el informe realizado durante la visita del año 1820:

“Se han desmontado este año los registros y cajas del regulador por advertirse alguna salida de vapor entre las uniones de ellas, a causa de no haberse levantado desde que se estableció esta gran máquina, por haberse dudado si podría hacerse esta obra en los nueve días que median de tirada a tirada, lo que se pudo conseguir con un trabajo sin interrupción y con tal acierto que las uniones quedaron cerradas con tal precisión que no se ha notado desde entonces dar paso alguno al vapor. (...)”

Las reparaciones más habituales eran sustituir alguna pieza por otra de repuesto, reforzar el balancín de madera, los cojinetes que lo sustentaban, o su gran curva de madera, sustituir alguna bomba o válvula e incluso reforzar el cincho de apriete del cilindro.

Pero sobre todo, la parte que más reparaciones necesitaban eran las calderas dañadas por el fuego y por la mala calidad de las aguas, obligando a renovar los costados o los telares de hierro constantemente. Como solución preventiva a este problema, entre 1836 y 1837 se construyeron dos nuevas calderas para sustituir las antiguas en caso de rotura.

¹¹⁰ La máquina de vapor no operaba de forma continua, sino que se trabajaba en periodos de tiempo establecidos que se conocían con el nombre de tiradas.

En 1838, a pesar de su antigüedad y de no haber implementado las mejoras que habían ido teniendo las de su género, seguía realizando el desagüe desde el depósito del 5º piso a 200 varas de profundidad¹¹¹, con una capacidad de 876 m³, en veinte horas aproximadamente sino sucedía ningún contratiempo. Estaba proyectado que las bombas de la máquina alcanzasen el depósito del 7º piso a 250 varas de profundidad y con una capacidad de 1186 m³. Como norma general la máquina se ponía en funcionamiento de diez en diez días, tiempo más que suficiente para evacuar el agua que se generaba, y aunque su coste anual no podía determinarse con exactitud, Rafael Cavanillas, Director de las Minas, lo cifraba en unos 60.000 reales anuales, frente a los 300.000 reales que suponía la utilización de las bombas de mano para las zonas donde no llegaba la máquina de vapor. (Cavanillas, 1838)

Después de 30 años desde su entrada en funcionamiento y a pesar de su estado, la máquina seguía generando beneficios. De ahí que Cavanillas propusiera su sustitución por otra más moderna con un mayor rendimiento y menor consumo de combustible. Esta propuesta se produce en un momento de crisis económica del Estado pero lo hace bajo el planteamiento de que a este ahorro se podría añadir el beneficio de emplear el carbón mineral procedente de Belmez de un mayor poder calorífico. Para su transporte sería necesario habilitar los caminos desde esa localidad y propone que se destinen a ello los propios trabajadores de la mina que necesitasen saneo.

¹¹¹ Una vara castellana es equivalente a 0,836 m

6.2.2.- Cálculos y datos técnicos de la primera máquina de vapor.

La máquina de vapor de Minas de Almadén siempre fue centro de atención de los ingenieros de minas españoles. Sus primeras explicaciones las aporta el ingeniero Policarpo Cía en 1839 (Cía, 1839). La describe como una máquina de simple efecto del primer modelo de Watt sin volante de inercia. Presentaba variaciones con respecto al modelo original de Watt que podían deberse a su fabricación por Wilkinson, o por algunas modificaciones que el propio Tomás Pérez o su hermano introdujeron durante el montaje.

Las características técnicas de la máquina eran las siguientes:

MAQUINA DE VAPOR

- Tipo de máquina: 1ª Máquina Simple Efecto Watt con Variaciones.
- Diámetro del pistón motor: 60,66 pulgadas = 1,54 m
- Recorrido del pistón: 10,5 pies = 3,20 m
- Volumen del émbolo: 0,37 m³.
- Número de golpes por minuto: 9 golpes/min
- Velocidad del émbolo: 0,84 m/s
- Longitud del balancín Cada brazo 4,50 m >> 9,0 m

CALDERAS:

- Tensión del vapor en la caldera: 11,992 lb/pulg² = 0,844 Kg/cm²
- Temperatura de ebullición del agua en la caldera: 101 °C
- Diámetro de la válvula de seguridad: 12,24 pulg = 0,30 m
- Sección de la válvula de seguridad: 0,07 m².
- Dimensión de una calderas: Longitud=4,65 m. ; Anchura=1,86 m. ;
Altura= 2,32 m.
- Volumen de la batería de calderas: 20 m³ x 2= 40 m³.

TRABAJO:

- Funcionamiento de la máquina:
 - 1 Tirada de 18 horas, cada 10 días.
- Cantidad de agua necesaria para su funcionamiento:
 - Condensación + Vapor → 1200 + 66 = 1266 pies³/h = 35.840 m³/h
- Cantidad de agua que extrae la máquina:
 - Por el brocal del pozo de San Teodoro:
 - 914 pies³/h = 25,882 m³/h = 0,0071 m³/s
 - Altura: 205 varas = 171 m (5º piso – Brocal)
 - Por el socavón del Castillo:
 - 770 pies³/h = 21,804 m³/h = 0,0060 m³/s
 - Altura: 152,38 varas = 127 m (5º piso – Socavón)
- Combustible: Retama; 13,86 kg para evaporar 28,32 litros → 0,489 kg/l;
- Trabajo mecánico desagüe del 5º y 7º piso simultáneamente:
 - 45,897 CV. → Efecto útil: 24,26 CV. → 49%
- Trabajo mecánico desagüe solo del 5º piso:
 - 41,99 CV. → Efecto útil: 20,60 CV. → 52%

A la vista de estos datos, la máquina presentaba un bajo rendimiento con un porcentaje de pérdidas igual a su efecto útil. Las principales pérdidas se generan en la propia combustión con el empleo como combustible de retama y otros matorrales de monte bajo que presentan un bajo poder calorífico y ocupan un mayor volumen en la cámara de combustión. Su combustión rápida obligaba a abrir los hogares a menudo y rellenarlos, provocando una disminución brusca de la temperatura y movimientos irregulares de la máquina. La utilización de carbón estaba limitada por su alto coste del mineral y en especial su transporte.

Para verificar la información aportada por el ingeniero Policarpo Cía, vamos a realizar unos cálculos sencillos basándonos en los mismos datos iniciales, donde determinaremos el rendimiento aproximado de la caldera y el trabajo desplegado por la máquina de vapor.

Para determinar el rendimiento de la caldera, lo primero que tenemos que hacer es determinar el poder calorífico de la retama que utilizaban por combustible, aunque (Cía, 1839) afirmaba que se correspondía con la mitad de la leña del pino.

La retama es un tipo de cultivo energético que es válido para la producción de biocombustible. Pertenece a las especies leñosas con cultivos de corta rotación y en concreto pertenece a la familia de las leguminosas arbustivas (a la que también pertenecen el Ulex o el Cytisus). Según varias fuentes el tipo de retama usada en siglo XVIII en los hornos era de tipo *Retama Sphaerocarpa*, (*Carabaza Bravo, García Sanchez, Hernández Bermejo, & Jiménez Ramírez, 2004*) y (*Quer, 1778*), que junto a la *Retama monosperma* es la más abundante en la zona sur de España (M. Fernández et al., 2005) y (Sánchez Francés, Ordax de Castro, Quijano Pedrosa, & Antolín Giraldo, 2008). También es conocida por su denominación inglesa 'Broom', Genista o Spartium junceum. El autor Baldelli, C., afirma en (El Bassam, 2010) que el poder calorífico superior de esta especie es 3906 Kcal/kg, lo que equivaldría a 16353640 J/kg (16,35 MJ/kg). Otros autores (Anjorín & Ogundana, 2016) han puesto de manifiesto que el poder calorífico de especies de esa misma familia (*Pterygota macrocarpa*) es 16,384 MJ/kg con un tiempo de ignición de 1442 segundos.

Para conocer el calor en unidades de potencia (W) que producía la retama en el hogar de la caldera se utiliza la ecuación 1, y para conocer el calor, en unidades de energía (J) se utiliza la ecuación 2.

$$Q_{retama} = \dot{m} \cdot Hcs \quad Ec. 1$$

$$q = m \cdot Hcs \quad Ec. 2$$

Según (Cía, 1839), las calderas consumían 1.440 arrobas (16.328,16 Kg) de retama en 18 horas, esto implica un caudal másico de 0,25 kg/s. Por tanto, usando las ecuaciones 1 y 2 se obtiene el calor producido por la quema de la retama.

$$Q_{retama} = 0,25 \left(\frac{kg}{s} \right) \cdot 16,35 \left(\frac{MJ}{kg} \right) = 4087,5 \text{ kJ/s}$$

$$q = 16328,16kg \cdot 16,35 \left(\frac{MJ}{kg} \right) = 266965,41 \text{ MJ}$$

Además, según este autor, en ese tiempo se evaporaban 1184,4 pies cúbicos de agua cada 18 horas, dato que implica que se evaporaban 33538,47 litros en 18 horas (1,86 m³/h).

Para saber el rendimiento del horno de la caldera, con la ecuación 3 se calcula el calor necesario para evaporar 1,86 m³/h. Suponiendo que el agua cuando se evapora está a una presión de 0,844 kg/cm² y de 101 °C (83768,126 Pa y 374K), (Cia, 1839). En esas condiciones el calor específico del agua (c_p) sería de 4,216 kJ/kg°C. También se supone que la temperatura de entrada del agua a la máquina es 20 °C y la densidad del agua 955,1 kg/m³.

$$Q_{agua} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{ev} - T_{amb}) \quad \text{Ec. 3}$$

$$Q_{agua} = \frac{0,00051757m^3}{s} \cdot \frac{955,1kg}{m^3} \cdot \frac{4,216kJ}{kg} \cdot (101^\circ C - 20^\circ C)$$

$$Q_{agua} = 168,81kJ/s$$

Esto indica que el rendimiento termodinámico total de las dos calderas viene definido por la ecuación 4.

$$\eta = \frac{Q_{agua}}{Q_{retama}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\eta = \frac{168,81kJ/s}{4087,5 \text{ kJ/s}} = 0,041 = 4,1\%$$

Con estos datos, podemos determinar que el rendimiento de la caldera era realmente pequeño (4%), de lo que podemos deducir que en este intercambio de calor se producían pérdidas tanto por la radiación de las paredes al exterior, como por las reiteradas cargas del horno (1 carga cada 2-3 horas) por el elevado volumen aparente que presenta la retama y por la renovación del agua a medida que las calderas se vaciaban.

Una vez demostrado el rendimiento de la caldera, el siguiente paso es determinar la potencia que eran capaz de desarrollar cuando tiraba desde el 5º y el 7º piso simultáneamente y cuando tiraba solo desde el 5º piso.

Para ello tenemos que calcular la presión que era necesaria para elevar la válvula de seguridad que disponía cada una de las calderas.

En el caso de que la máquina estuviera tirando desde el 5º y el 7º piso la válvula se cargaba con 100 libras de peso además de las 46 libras de su propio peso, lo que suma un total de 146 libras (66,22 Kg). Por tanto, la presión que se necesita para levantar la válvula se calcula con la ecuación 5, donde F es la fuerza que ejerce la válvula y A la sección de la misma.

$$p = \frac{F}{A} \quad Ec. 5$$

$$p = \frac{66,22 \times 9,8}{0,07} = 9270,8 Pa$$

Cada caldera tiene una válvula que se levantará cuando el vapor llegue a esa presión.

A partir de la presión de trabajo del vapor, podemos determinar la fuerza que este ejercía sobre el émbolo del cilindro de la máquina de vapor, que sumada a la que ejercía el peso propio del émbolo nos ayudaran a determinar la potencia que podía desarrollar la máquina en estas condiciones. Por tanto la fuerza que ejerce el vapor sobre el émbolo se calcula con la ecuación 6, donde P, es la presión del vapor y A, es la sección del émbolo.

$$F = p \times A \quad Ec. 6$$

$$F_{Vapor} = 9270,8 \times 1,86 = 17243,68 N$$

La fuerza que ejerce el peso propio del émbolo, viene determinada de multiplicar el volumen del émbolo por la densidad del hierro y la gravedad, de lo que se obtiene:

$$F_{\text{Émbolo}} = V \times \rho \times g \quad \text{Ec. 7}$$

$$F_{\text{Émbolo}} = 0,37 \times 7864 \times 9,8 = 28514,86 \text{ N}$$

$$F_{\text{Total}} = F_{\text{Vapor}} + F_{\text{Émbolo}} \quad \text{Ec. 8}$$

$$F_{\text{Total}} = 17243,68 + 28514,86 = 45758,54 \text{ N}$$

La potencia que desempeña la máquina en estas condiciones viene definida por la ecuación 9, donde F, es la fuerza total que desempeña la máquina y v, la velocidad con la que se mueve el pistón.

$$P = F \times v \quad \text{Ec. 9}$$

$$P = 45578,54 \times 0,84 = 38437,17 \text{ W}$$

$$P = 52,58 \text{ CV}$$

El siguiente paso, es determinar que parte de los 52,58 CV, realmente es la que se utiliza para elevar el agua desde el 5º y el 7º piso simultáneamente. El efecto útil, viene determinado por la ecuación 10, donde P₁, es la potencia que se ejerce para elevar el agua desde el 7º piso hasta el Socavón del Castillo; P₂, desde el 5º piso hasta el Socavón; P₃, desde el 7º piso hasta el brocal del Pozo de San Teodoro; y P₄, desde el 5º piso hasta el brocal del pozo.

$$P_{\text{Total}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad \text{Ec. 10}$$

Según (Cía, 1839), el agua que se sube en este caso es la siguiente:

- (1) Desde el 7º hasta el socavón: 646 pies³/h a 250 varas = 18,29m³/h a 209 m.
- (2) Desde el 7º hasta el brocal: 268 pies³/h a 205 varas = 7,59m³/h a 171 m.

- (3) Desde el 5º hasta el socavón: 546 pies³/h a 198 varas = 15,46m³/h a 165 m.
- (4) Desde el 5º hasta el brocal: 224 pies³/h a 152 varas = 6,34m³/h a 127 m.

$$P = \rho_{agua} \times g \times Q \times H \quad Ec. 11$$

$$P_1 = \rho_{agua} \times g \times Q \times H = 955 \times 9,8 \times 0,0051 \times 209$$

$$P_1 = 9975,75 \text{ W} = \mathbf{13,64 CV}$$

$$P_2 = \rho_{agua} \times g \times Q \times H = 955 \times 9,8 \times 0,0021 \times 171$$

$$P_2 = 3360,81 \text{ W} = \mathbf{4,59 CV}$$

$$P_3 = \rho_{agua} \times g \times Q \times H = 955 \times 9,8 \times 0,0043 \times 165$$

$$P_3 = 6640,21 \text{ W} = \mathbf{9,08 CV}$$

$$P_4 = \rho_{agua} \times g \times Q \times H = 955 \times 9,8 \times 0,0018 \times 127$$

$$P_4 = 2139,47 \text{ W} = \mathbf{2,93 CV}$$

$$P_{Total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 13,64 + 4,59 + 9,08 + 2,93 \quad Ec. 10$$

$$P_{Total} = \mathbf{30,24 CV}$$

Por tanto, de los 52,58 CV, el efecto útil de la máquina es de 30,24 CV, lo que nos da un 57,51 % de aprovechamiento y un 42,49 % de pérdidas.

En el caso de que la máquina solo tire desde el 5º piso, (Cia, 1839) considera un peso de 46 libras (20,83 Kg) para la válvula.

$$p = \frac{20,83 \times 9,8}{0,07} = 2916,20 \text{ Pa} \quad \text{Ec. 5}$$

$$F_{Vapor} = 2916,20 \times 1,86 = 5424,13 \text{ N} \quad \text{Ec. 6}$$

$$F_{\acute{E}mbolo} = 0,37 \times 7864 \times 9,8 = 28514,86 \text{ N} \quad \text{Ec. 7}$$

$$F_{Total} = 5424,13 + 28514,86 = 33938,99 \text{ N} \quad \text{Ec. 8}$$

$$P = 33938,99 \times 0,84 = 28508,75 \text{ W} \quad \text{Ec. 9}$$

$$P = 38,99 \text{ CV} \quad \text{Ec. 9}$$

El siguiente paso, es determinar que parte de los 38,99 CV, realmente es la que se utiliza para elevar el agua desde el 5º. El efecto útil, viene determinado por la ecuación 10, donde P_1 , es la potencia que se ejerce para elevar el agua hasta el Socavón del Castillo, y P_2 , la potencia para elevar el agua hasta el brocal del Pozo de San Teodoro.

$$P_{Total} = P_1 + P_2 \quad \text{Ec. 10}$$

$$P_1 = \rho_{agua} \times g \times Q \times H = 955 \times 9,8 \times 0,0059 \times 127 \quad \text{Ec. 11}$$

$$P_1 = 7012,69 \text{ W} = 9,59 \text{ CV}$$

$$P_2 = \rho_{agua} \times g \times Q \times H = 955 \times 9,8 \times 0,0071 \times 171$$

$$P_2 = 11362,76 \text{ W} = 15,54 \text{ CV}$$

$$P_{Total} = P_1 + P_2 = 9,59 + 15,54 = 25,13 \text{ CV} \quad Ec. 10$$

Por tanto, de los 38,99 CV, el efecto útil de la máquina es de 25,13 CV, lo que nos da un 64,45 % de aprovechamiento y un 35,55 % de pérdidas.

Tras los resultados obtenidos, en la siguiente tabla mostramos la comparación con los resultados de (Cía, 1839)

CALCULO	POLICARPO CIA (1839)	ELABORACIÓN PROPIA (2017)
RENDIMIENTO CALDERA	NO CALCULA	4 %
POTENCIA MÁQUINA DESDE 5º y 7º PISO	45,90 CV	52,58 CV
EFFECTO ÚTIL MÁQUINA DESDE 5º y 7º PISO	24,26 CV (49 %)	30,24 CV (57,51%)
PERDIDAS MAQUINA DESDE 5º y 7º PISO	51 %	42,49 %
POTENCIA MÁQUINA DESDE 5º PISO	41,99 CV	38,99 CV
EFFECTO ÚTIL MÁQUINA DESDE 5º PISO	20,60 CV (52 %)	25,13 CV (64,45%)
PERDIDAS MAQUINA DESDE 5º PISO	48 %	35,55 %

Tabla 16. Comparación resultados de los cálculos de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos, podemos determinar que en la máquina de vapor existían unas pérdidas entorno al 40% - 50%, pérdidas producidas como bien indica (Cía, 1839) por el mal diseño y dimensionamiento de la máquina como veremos a continuación, y un rendimiento mínimo en la caldera alrededor del 4%, principalmente por la utilización de un mal combustible.

Desde la adquisición de la máquina, la Superintendencia General de las Minas realizó varias diligencias para conseguir alimentar a la máquina con carbón. En 1788, se descubre un yacimiento de carbón piedra de excelente calidad en la provincia de Córdoba, siendo la zona de las localidades de Peñarroya-Pueblonuevo y Belmez la que presentaba mayor abundancia y calidad. Los trabajos de explotación corrieron a cargo de las minas de Almadén, y el carbón se utilizaba tanto en las fraguas de las minas como en la máquina de vapor. Al observarse que la máquina alcanzaba la fuerza necesaria con el material combustible procedente del monte bajo y por el elevado coste de transporte del carbón, se suspendieron los trabajos en ambas minas en torno a 1800. (Gallardo Fernandez, 1808)

Un problema técnico que influía en el correcto funcionamiento de la máquina, era la inexistencia de una válvula en la parte superior del cilindro que impidiese la entrada de vapor en el momento que el pistón alcanzaba el punto inferior del cilindro y facilitar el ascenso en su retorno. Sin esta válvula el pistón tiene que vencer en su ascenso la resistencia de la fuerza del vapor residual que sigue entrando en el cilindro, además del peso del contrapeso necesario para facilitar la bajada del pistón y accionar el regulador y el balancín, lo que provocaba sin duda pérdidas de rendimiento evitables.

En cuanto al condensador, la temperatura de salida del agua era alta, lo que pone de manifiesto su incorrecto funcionamiento. Este problema se debía a varias causas. Por un lado, la llave de apertura y cierre funcionaban independientes del movimiento de la máquina y un operario tenía que ser el encargado de su manipulación coordinada con el movimiento del balancín. De otra parte, para el óptimo funcionamiento se necesitan 1266 pies³/h, pero la máquina solo subía a la superficie 914 pies³/h, pues una parte del agua que extraía la máquina solo subía hasta la altura del socavón. Esta falta de agua impedía la total condensación del vapor y el mal funcionamiento del condensador en el siguiente ciclo de trabajo que provocaban continuos parones que no hacían otra cosa que perjudicar a la máquina en sí.

Policarpo calcula que la potencia máxima era de 59 CV, con la que sería posible extraer las aguas hasta el 9º piso, pero alertaba que esta operación podía resultar muy peligrosa pues se estaría llevando la máquina a su límite con el riesgo de accidente.

Completa el estudio con unas propuestas de mejora. Entre ellas propone cambiar el diámetro del tubo superior del cañonaje de las bombas que llegan a la superficie, por otro con una pulgada más de diámetro para conseguir que se alcancen los 1267 pies³/h de agua en la superficie y solucionar el problema de la falta de agua.

La falta de agua es una constante en la mina a lo largo del siglo XIX, siendo necesaria no solo para la máquina de vapor sino para el resto de actividades mineras, entre ellas el proceso metalúrgico.

La segunda propuesta de mejora es la sustitución de la válvula independiente que tiene el cilindro en su parte inferior, por una válvula coordinada con el movimiento de la máquina que cierre la comunicación del cilindro con la caldera, una vez llenado este y así evitar la oposición que ejerce el vapor en el movimiento del pistón. Se consigue una mejora del rendimiento y un ahorro en la cantidad de agua y de combustible.

Con sus cálculos concluye que el conjunto formado por el enorme balancín de madera, el contrapeso que se coloca en el brazo del cilindro para ayudar la bajada del pistón, la incorrecta dirección del tubo que comunica la caldera con el cilindro y su llave independiente se opondrán siempre al buen funcionamiento que pudiera originar cualquier otra reforma.

En los informes anuales de la mina de los años 1837-1845, 1846-1840 de las minas de Almadén, encontramos información sobre el estado de esta máquina, la cual a pesar de su deterioro sigue considerándose el objeto de mayor interés en el cerco, repitiendo las reflexiones sobre la falta de potencia respecto al efecto que produce. Recomiendan una mayor atención a su estado y cuidado y tener en previsión constantemente habilitadas cuatro calderas para sustituir de inmediato por necesidad alguna del par que están en el fuego; además exigen que las siete bombas de mano que elevan del séptimo al quinto piso las aguas estén bien accionadas para que guarden la debida proporción. Ampliar las dimensiones del depósito de agua que alimenta las calderas y condensador con el objeto de que esta experimente un mayor enfriamiento de una a otra tirada y se genere un mayor efecto. (Archivo Histórico Nacional, 1837-1845, 1846-1850).

Durante el quinquenio de 1851 a 1855, los ingenieros (Bernáldez & Rúa Figueroa, 1861), elaboran una memoria sobre el estado de las Minas de Almadén y Almadenejos, dedicando parte de esta a un estudio sobre el desagüe de la mina aportando más datos sobre la máquina.

El desagüe con la máquina se sigue realizando de diez en diez días y se extrae el agua desde los depósitos del 5º piso y del 7º piso, que a su vez recoge las aguas del 9º piso elevadas mediante bombas de mano¹¹². Una vez puesta en marcha la máquina bombea desde los depósitos durante un cierto tiempo que varía, entre 12 y 16 horas (según la cantidad de agua) al cabo del que se desengancha el tirante de las bombas del 7º piso, para seguir bombeando solo desde el 5º piso. El juego de bombas constaba de tres bombas aspirantes del 7º al 5º piso y de cuatro bombas del 5º piso a la superficie.

El coste medio del desagüe por aquella época suponía un total de 424.046 reales anuales, de los que un 83% (350.785 reales) pertenecía al desagüe con las bombas de mano y zacas, y el 17 % (73.261 reales) restante a la máquina de vapor.

AÑOS	PRODUCCIÓN DE AGUA (M ³)		COSTES DESAGÜE (REALES)								
	M ³ AL AÑO	M ³ POR HORA	COMBUSTIBLE MÁQUINA DE VAPOR	JORNALES MÁQUINA DE VAPOR	REPARACIONES MÁQUINA DE VAPOR	DESAGÜE CON MÁQUINA DE VAPOR	REPARACIONES BOMBAS Y ZACAS	JORNALES BOMBAS Y ZACAS	DESAGÜE CON BOMBAS Y ZACAS	COSTE TOTAL DESAGÜE	COSTE M ³ SUPERFICIE
1851	27.074	3,09	30.664	21.186	6.061	57.911	7.322	359.034	366.357	424.268	15,67
1852	24.149	2,76	24.292	34.832	11.740	70.864	7.766	371.175	378.941	449.805	18,63
1853	24.574	2,81	25.991	37.265	7.653	70.909	5.594	335.451	341.044	411.954	16,76
1854	27.847	3,18	29.869	38.555	7.661	76.085	6.340	354.665	361.005	437.090	15,70
1855	34.115	3,90	38.973	46.554	5.009	90.535	3.638	302.940	306.578	397.113	11,64
Valores Medios	27.552	3,15	29.958	35.678	7.625	73.261	6.132	344.653	350.785	424.046	15,68

Tabla 17. Producción de agua y costes del desagüe del quinquenio 1851-1855.
Fuente: Bernáldez y Rúa Figueroa.

¹¹² En épocas de escasez de brazos, en vez de las bombas de mano se utilizaba el malacate para extraer el agua a través de unas cubas con una capacidad aproximada de 500 litros.

El elevado coste del bombeo a mano obligó a buscar alternativas y se planteó extender el desagüe con la máquina hasta el 9º piso, pero el mal estado en que se encontraba y las reformas que necesitaba eran más costosas que la adquisición de una nueva.

Con más de 50 años de utilización, la primera máquina de vapor seguía siendo más económica frente a los sistemas tradicionales de desagüe, pero comparada con otras máquinas similares, su coste era 10 veces superior.

TIPO	ALTURA (m)	COSTE (reales/m ³)	EQUIVALENCIA A 100 m (reales/m ³)
Bombas de Mano en Almadén	46,20	28,27	61,19
Máquina de Vapor Almadén	208	2,68	1,28
Máquina de Vapor Newcomen	320	0,45	0,14
Máquina de Vapor Watt	320	0,35	0,11

Tabla 18. Costes por m3 de varias máquinas de vapor. Fuente: (Fuentes Ferrera, 2012)

Analizando los factores que podían generar esta diferencia con relación a las otras máquinas, en función de los datos de la Tabla 17, se estima que el 50 % de los gastos eran generados por la mano de obra, el 40 % debido al combustible y el 10 % restante por las reparaciones y mantenimiento necesarios. Sorprendentemente el importe de la mano de obra (35.678 reales) es superior al del combustible consumido. El despilfarro ocasionado en el peonaje de la máquina, en las labores de deshilado de cineros, en la aproximación del monte bajo, alimentación de las calderas, limpieza de hogares, venía provocado por el desorden del Establecimiento (Bernáldez & Rúa Figueroa, 1861). Además del peonaje, durante el funcionamiento de la máquina era necesario un maestro de herrerías, que estaba a su cuidado, junto con una cuadrilla de operarios llamada “*boquete*” compuesta de un entibador y tres operarios. Los oficiales de mina ordenaban la “*tirada*”¹¹³ y el encargado de la máquina apuntaba en una nota el día y la hora de su inicio, la duración del fuego, reparaciones si es que las hubiese y cantidad de agua extraía.

¹¹³ Nombre que se le daba al tiempo de funcionamiento de la máquina, que variaba entre 24 y 30 horas.

El elevado coste del combustible (29.958 reales) tampoco es entendido por (Bernáldez & Rúa Figueroa, 1861), ya que según sus cálculos estimaban un ahorro de 160 rs por tirada con el combustible mineral de Belmez, frente a los 788 reales de coste por el empleo del monte bajo . Un estudio sobre el gasto de combustible habría supuesto un ahorro anual aproximado del 20 % (6.080 reales), y eso sin tener en cuenta que para el transporte podía haberse aprovechado el retorno de los carros que conducían el azogue a Sevilla.

El problema del combustible es algo que se mantuvo en las minas hasta el siglo XX, cuando el Consejo de Administración de Minas de Almadén acuerda la compra de carbón a los establecimientos de Puertollano y de Belmez-Peñarroya.

6.2.3.- Los últimos días de la primera máquina de vapor.

Con posterioridad a las Memorias de Bernáldez y Rúa Figueroa, se ha encontrado poca información referente a la primera máquina de vapor.

En 1867, la Dirección Facultativa emite un informe (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1867), donde manifiesta que la máquina después de 70 años de servicio no es capaz de hacer frente al desagüe con la profundización de la mina y que sus condiciones de seguridad son nulas y existe la posibilidad de que deje de funcionar en cualquier momento. Ante este panorama proponen su sustitución por una máquina nueva capaz de bombear el agua hasta la futura planta 10ª del Pozo de San Teodoro.

AÑO	COSTE (reales/año)	COSTE TOTAL DEL QUINQUENIO	COSTE MEDIO DEL QUINQUENIO
1863	118.060	590.300	118.060
1864	117.480		
1865	124.360		
1866	130.310		
1867	100.090		

Tabla 19. Coste del desagüe con la primera máquina de vapor en el quinquenio de 1863-1867. Fuente: (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1869)

Mientras tanto, la máquina siguió trabajando elevando agua a la superficie, y en el ejercicio de 1876 a 1877, elevo a la superficie la cantidad de 11.313.24 m³, de los que 5.561,562 m³ proceden del 5º piso y 5.751.678 m³ del 7º piso coste anual de 71.499 reales. En el año 1879 se suspendió el contrato de la producción del vapor para la máquina lo que hace entender que este fue el último año que estuvo en funcionamiento.

“El año económico que nos ocupa fue el primero en que el movimiento de las aguas que afluyen por bajo del séptimo piso, ha estado a cargo del contratista de extracciones e introducciones y conducciones interiores y también fue el primero en que se suprimió el contrato de la producción del vapor para la máquina de Watt, tan dado a barullos y fraudes, y con cuyo contrato tantos disgustos hemos pasado los ingenieros que hemos permanecido en Almadén algún tiempo.”.....

(Zuaznavar, 1880)

A lo largo de su vida útil, sus costes de desagüe han tenido una evolución irregular. A pesar de la imposibilidad de localizar datos exactos de todos los años, en el siguiente gráfico podemos ver su evolución. Inicialmente, desde sus comienzos hasta el final de la década de los 30, el coste aproximado era de unos 70.000 reales al año, en el que el estado de la máquina todavía se consideraba aceptable. A continuación, en la década de los 40, los costes ascienden hasta superar los 100.000 reales, época en la que su mal estado motiva la adquisición de una nueva máquina que les ofreciese mejores rendimientos. En la década de los 50, puede observarse como los costes del desagüe descienden a valores muy similares a los de su comienzo, debido más a que en esos años las zonas de explotación de la mina generaron menos cantidad de agua. A partir de los 60, aparece una nueva etapa donde se produce un crecimiento de los costes, por el bajo rendimiento de la máquina, alcanzando los 180.000 reales, lo que hacía necesario la sustitución de esta cuanto antes. A partir de los 70, disminuyen los costes como consecuencia del montaje en el Establecimiento de otras máquinas de vapor nuevas que provocan un descenso notable en el coste del desagüe, hasta que en 1879 deja de funcionar.

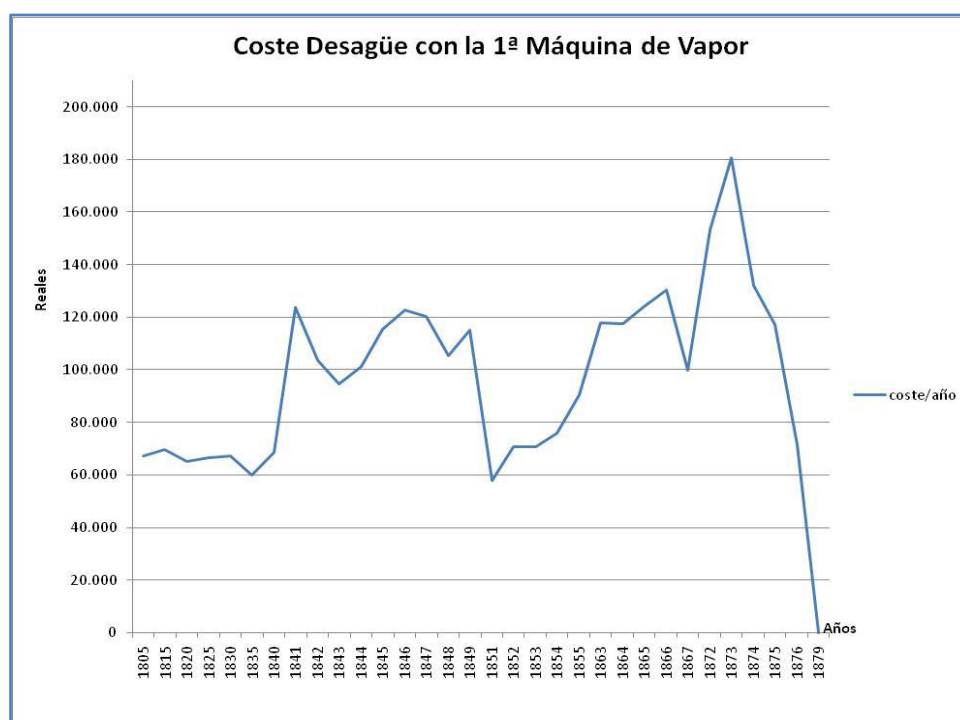


Gráfico 7. Evolución costes del desagüe con la primera máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: Elaboración propia.

A pesar de su tecnología obsoleta, sus deficiencias y su antigüedad la máquina merece una mención honorífica, pues al menos durante 80 años de los cuales 75 años estuvo sola, alivio el trabajo a “fuerza de sangre” de los mineros, por lo que puede afirmarse que su verdadero valor es incalculable, aunque por circunstancias de la vida fuese valorada como hierro viejo para su venta en el año 1919 durante las reformas llevadas a cabo con la introducción de la electricidad en las minas.

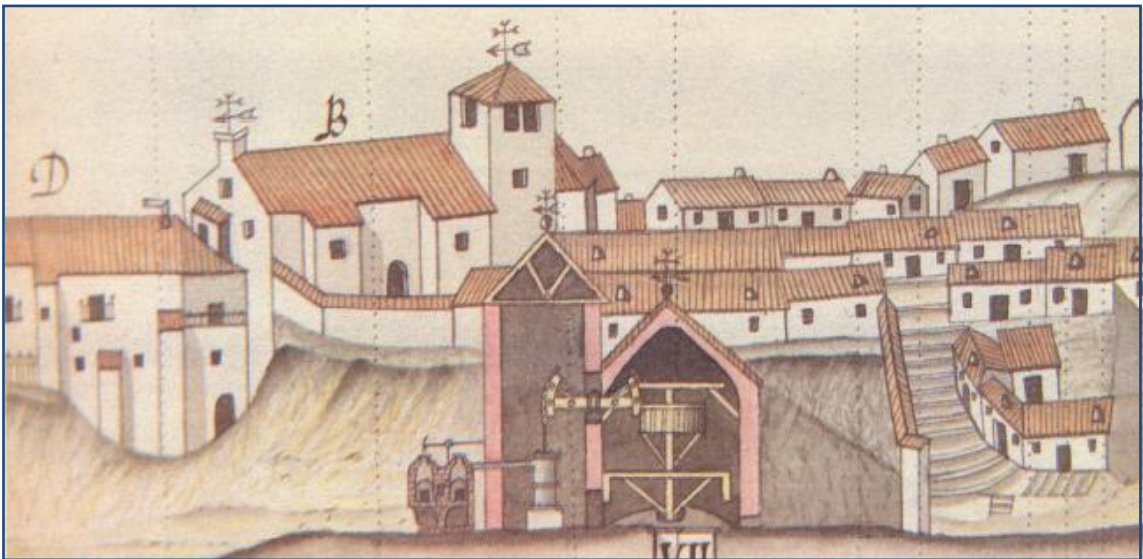


Figura 86. 1ª Máquina de Vapor durante su construcción. Fuente: Plano y perfil de las reales minas de azogue de la villa de Almadén. Diego Larrañaga y Braulio Correas 1792. Archivo Histórico Minas de Almadén.

6.3.-La era dorada del vapor en Minas de Almadén.

6.3.1.- La segunda máquina de vapor 1848-1870.

Después del montaje de la primera máquina de vapor, dentro del Establecimiento seguían soplando los vientos a favor de la implementación de nuevas tecnologías. Sin embargo, los problemas que se originaron en torno a ella, probablemente más que favorecer la llegada de otro de estos ingenios, los retrasó.

A partir de 1837, se hace cada vez más fuerte la necesidad de adquirir una nueva máquina de vapor con mayores capacidades.

En 1838, Rafael Cavanillas, Director de las Minas, realiza un estudio sobre las posibilidades del malacate del pozo de San Teodoro. Estimando que el malacate que era movido por 8 mulas cada tres horas, hacia preciso disponer de unas 35 o 40 mulas, lo que supone gastos en su compra y manutención, además de los mozos necesarios para cuidarlas y manejarlas, sin olvidarnos de los costes de la conservación del malacate. Sustituye esta idea por la de montar una máquina hidráulica, pero debido a la falta de agua necesaria para su movimiento, y la imposibilidad de obtenerla la desecha a favor de la instalación de una nueva máquina de vapor. A su favor justifica que la velocidad y la potencia que se le puede tener es mucho mayores que la del malacate, lo que permite ahorrar tiempo y extraer más cantidad de mineral en cada tirada, que en el caso del malacate sería de 50 arrobas.

A pesar de estas premisas, no será hasta el año 1847 cuando se aprobará la adquisición de una nueva máquina de vapor, procedente de Londres y con una fuerza de 40 CV, cilindro vertical, de doble efecto, de baja presión, con condensación y sin expansión. Su misión sería la de realizar las labores de extracción de minerales y el desagüe directamente desde el 9º piso para eliminar los crecidos gastos de las bombas de mano y sustituir a la antigua máquina del Pozo de San Teodoro.

Las obras de adecuación del terreno comenzaron en 1848, con la premisa de enlazar los edificios viejos con los nuevos de tal forma que todo pareciese una misma obra.

Rápida fue la respuesta del Cuerpo de Ingenieros de Mina, publicando un artículo en el Periódico Científico, Industrial y Mercantil, Guía del Minero, (Anónimo, 1848), sobre las mejoras que reclaman las minas de Almadén, y de lo desafortunado que estaba el Establecimiento con la elección de la nueva máquina de vapor.

Proponían sustituir la antigua máquina de vapor, por otra de simple efecto sin balancín de tracción directa, de mediana presión, de expansión y con condensación de fuerza de 7 CV, o en caso de *pecar en exceso* que fuese de 10 CV, aludiendo al buen resultado que había tenido este sistema sencillo en las minas de Cornualles. Además de esta propuesta, los autores del artículo se aventuran a proponer ciertas mejoras sobre el sistema de desagüe junto con sus ventajas e inconvenientes.

Todas estas advertencias no se tuvieron en cuenta por el Establecimiento, y en 1849, las calderas de esta máquina ya estaban colocadas y el volante de la máquina ya se había presentado en el lugar que debía colocarse tras el montaje del resto de la máquina. En 1850, el Superintendente de Almadén envió un escrito a la Dirección de Fincas del Estado con datos relativos a la instalación de la nueva máquina de vapor, (Escosura y Hevia, 1850). En este documento se recoge que el coste de las piezas de la máquina puestas a pie de fábrica, ascendió a 110.000 reales, si se utiliza para extracción y desagüe, sin incluir el coste del cañonaje del 9º al 7º piso para elevar las aguas. Siendo el coste de 56.000 reales si es exclusivamente para el desagüe desde el 7º piso.

Este documento se envió con dos objetivos, el primero proponer que la máquina sólo se utilizase para el desagüe hasta el 7º piso y mientras no se conozca bien su funcionamiento no emplearla en otras labores y en segundo lugar plantear unas cuestiones a responder por el Director de Fincas del Estado:

- 1º. *“Si el motor se ha de aplicar a los dos objetos de extracción y desagüe como su acción no ha de ser continua sino periódica, ¿de qué modo y por donde se han de sacar los heridos; que con frecuencia caen en las minas, si estas desgracias ocurren cuando la maquina no funcione, prescindiendo además de que la fuerza para extraerlos debe ser lenta y pausada?”*

- 2º. *¿Producen las minas la cantidad de agua necesaria ó será muy dispendioso reunir la suficiente así para alimentación de las calderas como para la condensación en el caso de aplicación de la máquina á ambos usos?*
- 3º. *¿Atendido el crecido costo de más de 7,000 duros que van á tener las piezas necesarias para que la maquina sirva á ambos objetos? ¿Será más ventajoso y económico, que la nueva máquina se aplique solo al desagüe, y que con el vapor de sus mismas calderas se alimente otra máquina diferente de la fuerza de siete á diez caballos ingleses para la extracción del mineral?*
- 4º. *¿Convendrá conservar la fuerza animal que ahora se emplea para la extracción de minerales y no sustituirla por la fuerza del vapor, que será quizá mucho más costosa, en razón al crecido precio del combustible, que debiendo ser carbón de piedra, no bajará de diez á doce reales quintal puesto en el establecimiento?*
- 5º. *¿Deberá aplazarse la adquisición del balancín y demás piezas necesarias para que el motor se aplique simultáneamente á, la extracción y al desagüe, hasta tanto que montada la maquina solo para este uso desde el 9º piso, puedan observarse los gastos que ocasiona, el combustible que consume, el precio á que sale, y reunir los datos convenientes, a fin de calcular qué medio de extracción es el más ventajoso y económico?*
- 6º. *¿Podrá verificarse así la extracción como el desagüe con un solo aparato por tiradas alternativas en uno y otro uso, empleándose para elevar el agua cubas ó toneles apropósito y de las dimensiones convenientes, con lo cual se evitarán los costos del cañonaje en el pozo de San Teodoro, pues se derribaría en aquel caso el tabique que lo divide? ”*

La respuesta a todas estas cuestiones se publican de forma anónima en la Revista Minera, en el mismo artículo que se publica el escrito del Superintendente Antonio de la Escosura, (Anónimo, 1850). Las preguntas no son más que el fruto de las dudas sobre el acierto del proyecto, y las respuestas que se dan confirman la escasez de agua para hacer funcionar la máquina y el sobrecoste adicional si se aprovecharan las aguas que se pierden por el socavón a la superficie del pozo. En cuanto a la extracción de minerales indican que las calderas están sobredimensionadas y el gasto de combustible será excesivo, por lo que recomiendan se desestime la utilización de la máquina a las dos operaciones y se proceda a su venta para sustituirla por otra de tracción directa para el desagüe y en caso de no ser posible utilizarla sólo para el desagüe y realizar la extracción con el malacate o baritel.

Finalmente la máquina terminó de montarse en el año 1854, aunque nunca llegaría a funcionar correctamente como ya vaticinaban los informes al respecto.

Tras la desacertada experiencia, la nueva máquina siguió siendo objeto de estudio en busca de encontrar una solución y poder utilizarse en las minas. El primero de ellos, fue un cálculo realizado por el ingeniero Santiago Rodríguez en 1854 y publicado en la Revista Minera de 1855.

En este estudio indica que la caldera trabaja a baja presión, en torno a las 2 atmósferas, que la fuerza que puede desempeñar la máquina es de 40,67 CV, y que la cantidad de agua que necesita para la condensación durante una tirada (43 h aproximadamente), es de 1542,12 m³, que frente a los 636,70 m³ que produce la mina durante los 10 días, da un defecto de 905,42 m³, sin tener en cuenta el agua necesaria para la evaporación. Debido a la escasez de agua y al elevado coste del combustible, llega a la conclusión:

“..., en mi humilde opinión, no hay medio conveniente de aplicar la nueva máquina de vapor al desagüe de estas minas hasta el noveno piso.”

(Rodríguez, 1855)

Dada la imposibilidad de ponerla en funcionamiento, los ingenieros de las minas reclaman su enajenación, junto con la de la máquina vieja y con lo que se obtuviera adquirir dos nuevas máquinas una para el desagüe y otra para la extracción, (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1856a).

A pesar de ser esta la opinión de la mayoría, la nueva máquina seguiría montada en las inmediaciones del Pozo de San Teodoro durante muchos años, ocasionando muchos gastos en las piezas adicionales que se adquirirían con el objeto de sacar de ellas algún partido.

Esta circunstancia motivó al ingeniero Pedro Fernández Soba a buscar una alternativa que permitiera poner en uso esta máquina en el desagüe de las minas. Y contra todo pronóstico y en contra de los diversos informes negativos, Fernández Soba llegó a las siguientes conclusiones:

- Al igual que sus antecesores, determino que se trataba de una máquina de doble efecto de Watt, mucho más práctica para su uso en la industria textil que en minería, solo siendo rentable en este último propósito en minas donde el agua era muy abundante y el coste del combustible muy bajo. A pesar de ello, realizo unos cálculos donde justificaba la posibilidad de utilizar esta máquina en las labores de desagüe y extracción, modificando el tirante maestro, sustituyendo el cañonaje actual por otros de diámetros mayores, y estableciendo nuevas bombas aspirantes e impelentes.

Con dichas modificaciones, no valoradas en este estudio, demuestra que si hay agua suficiente para que la máquina se emplee en el desagüe hasta el 9º piso de acuerdo con los siguientes datos:

- En primer lugar, determina que la presión de trabajo de la caldera es de 1,41 atmósferas, por lo que al ser inferior a 2 atmósferas, trabaja a baja presión.
- En segundo lugar, en cuanto al agua necesaria, propone realizar una tirada de unas 9 horas aproximadamente cada 2 días, para lo que sería necesario una cantidad de agua de 267,76 m³, para la condensación mientras que la máquina extrae en ese tiempo 225,45 m³, lo que produce un déficit de 42,31 m³.
- Y por último, en cuanto a la potencia de la máquina nos dice que es de 42 CV, de los cuales solo es necesario emplear 30 CV en el desagüe y los otros 12 CV en la extracción.

Estos cálculos, confirman que no hay agua suficiente para que la máquina realice las tareas de desagüe y extracción simultáneamente, pero para cubrir la demanda de agua propone canalizar el agua de los manantiales a la máquina. Concluyendo con las siguientes palabras:

“..., y con un pequeño gasto habremos conseguido obtener un gran partido de una máquina de que ya da rubor oír hablar”.

(Fernández Soba, 1865)

La máquina permaneció montada y sin uso alguno durante algunos años más, siendo objeto continuo de propuesta para poder retirarla junto con la antigua para adquirir nuevas máquinas, como sucede en los expedientes generados por la solicitud de varios contratistas para que se les contrate el servicio de desagüe y extracción de estas minas, (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1856b, 1867).

En uno de los informes del año 1867, comprobamos que se llegó a la concesión de un crédito extraordinario al Director General de Propiedades del Ministerio de Hacienda, D. Juan de la Concha Castañeda para hacer frente a las mejoras y reformas propuestas, incluyendo el desmontaje de las dos máquinas de vapor.

“desmante de las dos máquinas que existen en la actualidad por 6.000 Escudos”,

(Archivo Histórico Minas de Almadén, 1867b).

Pero la decisión de su enajenación no se toma hasta el 21 de Octubre de 1870, mediante la venta de esta nueva máquina en licitación pública, por una cantidad mínima de 26.259 pesetas, publicada en la Gaceta de Madrid de ese mismo año. (Subasta, 1870),

Aunque no se ha encontrado pruebas fidedignas que aseguren que la venta se llevara a cabo, si existe constancia de que en el año 1875 comenzaron los trabajos de la instalación de otra máquina de vapor en el pozo de San Teodoro, junto a la antigua máquina de vapor de principios del siglo XIX.

6.3.2.- Las nuevas máquinas de vapor.

Entre las diferentes propuestas para la contrata del desagüe y la extracción de minerales que se realizaron durante la década de los 60 destaca una por su particular interés, aunque no llegase a ser ejecutada. Nos referimos a presentada por D. Llana Richard para “establecer las máquinas de vapor necesarias para el *Fahrkunst*¹¹⁴, y para hacer durante 15 años los servicios de desagüe, extracción e introducción de materiales y operarios de estas minas”, (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1869), donde presenta una información más detallada de las propuestas de máquina de vapor y a su utilización. Las tres máquinas que propone son las siguientes:

1. Una máquina, sistema Cornwall, de 80 CV, de simple efecto, con balancín, condensación y expansión, de 50 pulgadas de diámetro y una carrera del pistón de nueve pies. Según el expediente, esta máquina sería capaz de extraer el agua de una profundidad de 380 metros y funcionaria cinco días al mes. Iría equipada con las bombas, calderas, edificios y todo lo necesario para su funcionamiento.
2. Una máquina de 24 CV de alta presión, sin condensación, para la extracción del mineral, las zafras, herramientas y para extraer el agua de la mina en cubas. La máquina trabajaría durante 16 horas diarias. Igual que la anterior iría equipada con todo lo necesario para su funcionamiento además de un regulador para el cambio de movimiento.
3. Una máquina de 40 CV de alta presión, sin condensación para la subida y bajada de los operarios y con posibilidad de regular su velocidad y equipada completamente como en los casos anteriores.

Aunque en la propuesta, Llana Richard, calculaba un ahorro de un 35%, frente a los costes del sistema que se utilizaba en aquel momento, y además de comprometerse a la entrega de un estudio completo que incluía planos de

¹¹⁴ Máquina utilizada para subir y bajar a los mineros al interior de la mina.

las máquinas, de edificios, detalles, estudio del terreno, la propuesta no fue aceptada y las máquinas no llegaron a instalarse.

Finalmente las reformas que tanto reclamaban las minas llegaron de la mano del Inspector General de Minas D. José Monasterio¹¹⁵. Realizó varios viajes a Inglaterra y Bélgica en 1871, con la intención de mejorar considerablemente la explotación de las minas y sobre todo las condiciones de salud de los trabajadores. En uno de sus viajes fue acompañado por el Director del Establecimiento D. Eusebio Oyarzabal, y aprovecharon para visitar las minas de Idria, estudiar la importancia del yacimiento y los sistemas de laboreo y beneficio del mineral.

A diferencia de los casos anteriores, el Sr. Monasterio selecciona los talleres de Bélgica que van a fabricar las máquinas de acuerdo a la especialidad de cada uno de ellos; así es que todas las máquinas obedecen a un sistema general, variando en su disposición y ciertos detalles, en cuanto a la distribución del vapor y la manera de verificarse la expansión. Con estas nuevas máquinas, el Sr. Monasterio pretendía poner las minas de Almadén al más alto nivel del progreso y transformarlas en un referente en el aprendizaje práctico de la mecánica, para los nuevos ingenieros de minas que terminasen su carrera.

Los talleres elegidos fueron la Sociedad de John Cockeril en Seraing, cerca de Lieja, el de M. Beer en Temeppe, el de M. Deneffe en Longdoz, el de M. Bede en Verviers, el de M. Libotte en Gilly, el de la Sociedad de Staine St. Pierre, dirigido por M. Melchior Golson, el de los Sres. Jowa y Delheid y el de M. Jaspas en Lieja, el de Sociedad de Sclessin cerca de Lieja y por último el de Obach hermanos, en Bruselas. (Gomez de Salazar, 1871)

Las características de las máquinas empleadas en las reformas se pueden encontrar en varios documentos, pero los más detallados son los informes realizados por los ingenieros (Oyarzabal, 1880; Zuaznavar, 1880).

¹¹⁵ Asesinado vilmente el 4 de Julio de 1874, por los propios obreros, a los que pretendía ayudar con sus reformas.

Las primeras reformas empezaron con la instalación de las máquinas compradas por el Sr Monasterio, comenzando en 1872 con la instalación de la máquina de vapor del pozo de San Miguel, junto con el taller de reparaciones con torno, máquina de cepillar y de taladrar y ventilador para las fraguas.

La máquina de vapor es de un cilindro horizontal, con freno de mano para los bobinas, freno de pie para el árbol motor, es de expansión tipo Mayer y con condensación, aunque casi siempre trabaja sin condensación a una presión de cuatro atmósferas y media, con transmisión por engranajes y ejerce una fuerza de 20 CV. Además tiene dos calderas de hogar interior de 20 CV cada una, con bomba de alimentación de la misma máquina.

Esta máquina, también daba movimiento a un ventilador Guibal de 3,00 x 0,80 m, que aspira el aire viciado de la mina, que funcionaba en verano durante dos o tres horas al día para facilitar la ventilación. La instalación del ventilador, según las cartas descriptivas escritas por Rodríguez Ferrer en una visita a las minas realizada en el año 1873 (Rodríguez Ferrer, 1881), escritas en una visita a las minas en 1873, fue una de las mejoras más importantes y necesarias, ya que la atmosfera viciada del interior de la mina hacia insostenible la salud de los trabajadores que a menudo enfermaban por respirar los vapores que allí se producían.



Figura 87. Máquina de Vapor de 20 CV del Pozo de San Miguel.
Fuente. Plano P-05430 Archivo Histórico de Minas de Almadén.

Hasta la fecha según narra el Sr. Monasterio la ventilación se realizaba de forma natural favorecida por el desnivel entre los pozos y los dos socavones de entrada, con hogueras encendidas y puertas establecidas en determinadas galerías. El movimiento del aire se producía por la diferencia de temperatura y de presión entre ambos puntos. Por lo que si la presión en el exterior de la mina es mayor, el aire entra por la boca más baja y sale por la más alta y viceversa, produciendo una corriente de aire que limpia la atmosfera viciosa del interior de la mina.

Las funciones de este pozo eran principalmente las de ventilación y desagüe a nivel del 10º piso, pero en ocasiones se utilizaba para la extracción de mineral y la introducción de materiales o herramientas.

Prácticamente de forma simultánea se comenzó el montaje del Castillete de hierro del pozo de San Aquilino, acabándose de montar su máquina de vapor en 1873. La máquina es de un cilindro vertical de expansión Guinotte con condensación, que como ocurría con la máquina de San Miguel, generalmente tampoco se utilizaba la condensación. La fuerza es de 30 CV y constaba de freno de mano y de pie. La máquina tenía tres calderas de sistema Cornualles, de 30 CV cada una.

Esta máquina de vapor se utilizaba para realizar la subida y bajada a la mina de los mineros, dejando atrás las angostas escalas de hierro por las que se descendía a trescientos metros de profundidad realizando un gran esfuerzo físico y sacrificio. Con esta novedad la subida y la bajada se realizaba con mucha más comodidad e higiene, a través de jaulas de hierro equipadas con paracaídas, sistema Libotte, con una capacidad de hasta 18 trabajadores, además de reducir el tiempo de esta tarea a tan solo unos minutos. Aunque si las necesidades de la explotación lo exigían también se utilizaba para la extracción de minerales e introducción de materiales o herramientas.

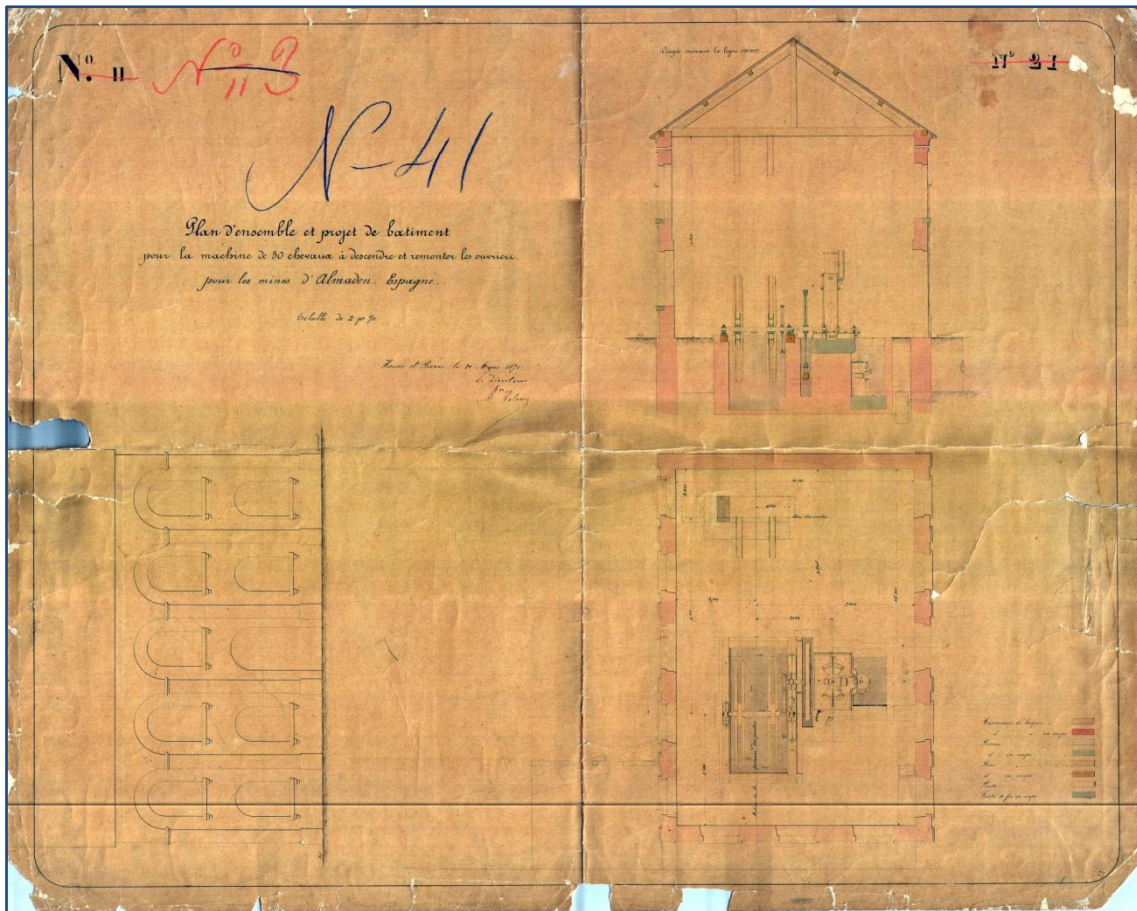


Figura 88. Máquina de Vapor de 30 CV del Pozo de San Aquilino.
Fuente: P-05454 Archivo Histórico Minas de Almadén.

Terminadas estas obras en el año 1874, se comenzaron las obras del taller de preparación mecánica y del montacargas de vapor usado principalmente para trasladar los vagoncitos de piedra estéril hasta las escombreras. Este taller además de tener un ventilador movido por una máquina de vapor de 12 CV, también disponía de una máquina de vapor de 15 CV, sistema Corliss, que mueve los aparatos de sacudimiento que constituyen la separación del mineral por tamaños. En función del tamaño de la criba se obtenían tres tipos: mineral grueso, china y baciscos (mineral menudo y polvos).

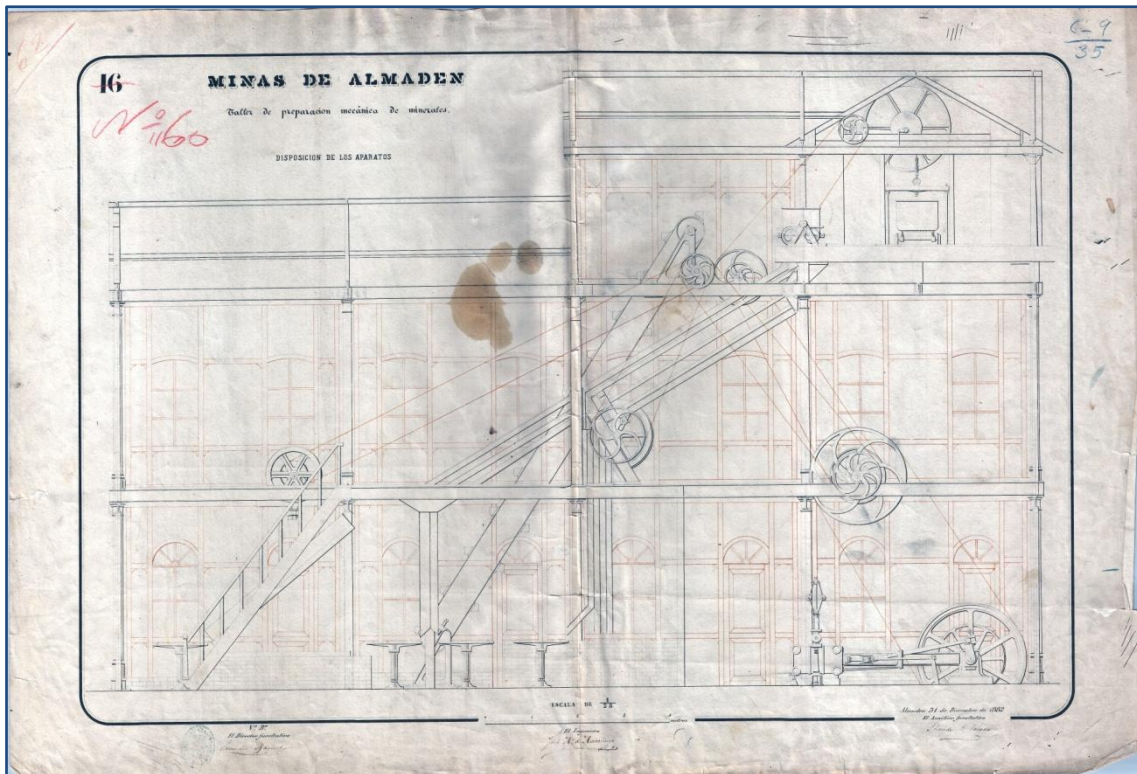


Figura 89. Taller de preparación mecánica de minerales de Minas de Almadén.
Fuente: Plano P-04705 Archivo Histórico de Minas de Almadén.

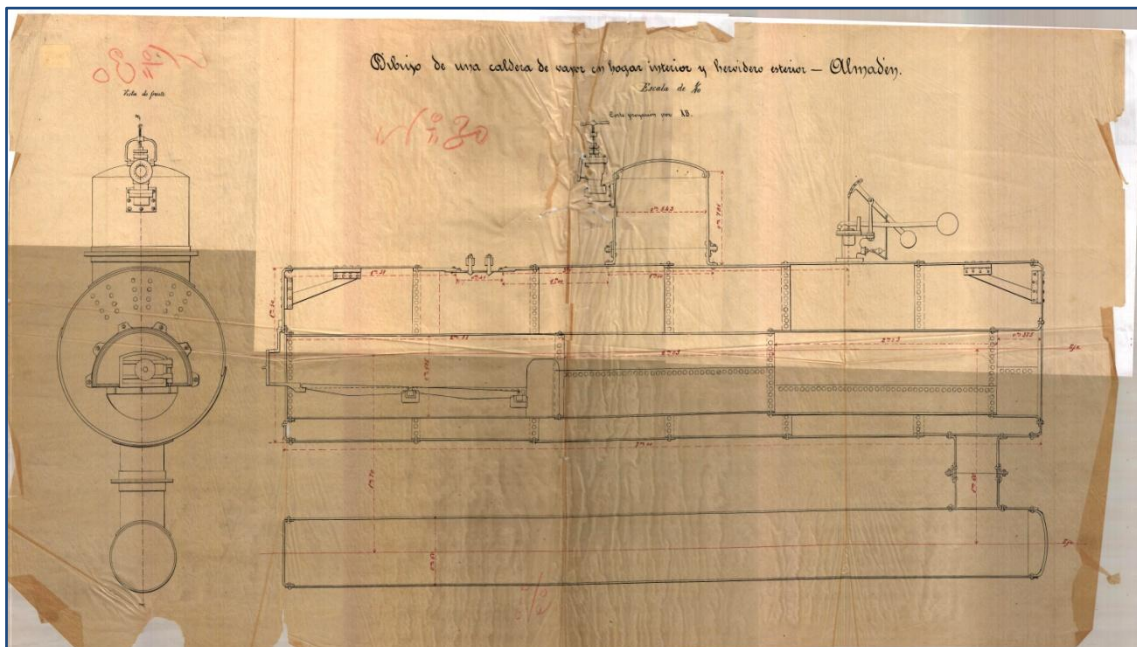


Figura 90. Caldera de vapor con hogar interior de las Minas de Almadén.
Fuente: Plano P-04665 Archivo Histórico de Minas de Almadén.

En 1875, se terminaron las obras del taller de preparación mecánica y se comenzó con la instalación en el pozo de San Teodoro, de una máquina de vapor de 40 CV con dos cilindros conjugados verticales, con expansión Audhemar, freno de vapor y máquina especial de 6 CV para la condensación. Para su alimentación tenía dos calderas sistema Cornualles con un hervidor inferior y cúpula sin indicadores especiales.

Esta máquina venía a sustituir al malacate, aquella máquina tan formidable y potente, sin duda uno de los mejores ingenios de la ingeniería minera de la época, que produjeron una importante transformación en los sistemas de extracción de la mina, con un gran aumento de la producción y una mayor seguridad en el trabajo. En su época la instalación de un malacate representaba un salto tecnológico, y llevó consigo la construcción de unos edificios singulares, auténticas joyas de la arquitectura industrial denominados bariteles.

Otra función de esta nueva máquina es la de atender al desagüe de la mina desde el 10º piso. Hasta la fecha la antigua máquina de vapor del pozo de San Teodoro solo extraía las aguas desde el 7º piso, y hasta este había que subirlas a través de la fuerza muscular de los mineros, sometidos a este duro trabajo agravado por las penosas condiciones del entorno. Gracias a esta nueva máquina se satisfaría este servicio redimiendo a los obreros de esa carga forzosa. A partir de entonces el sistema de desagüe fue rediseñado, de tal forma que las aguas en el 10º piso podían conducirse tanto a la caldera del pozo de San Teodoro como a la del pozo de San Miguel, según fuera necesario. No obstante las aguas del 5º, 7º y 9º piso se seguían elevando por el pozo de San Teodoro.

La puesta en marcha de estas nuevas máquinas, generó un gran cambio en el desagüe de las minas. Desde el montaje de la primera máquina de vapor, los costes del desagüe oscilaban entre los 400.000 reales a los 500.000 reales, de los cuales 100.000 reales aproximadamente pertenecían a la máquina y el resto al desagüe a mano. En la década de los 50 se observa un descenso progresivo, por encontrarse en aquella época con una zona de explotación que producía menos cantidad de agua. Pero el verdadero descenso comienza con la instalación de las máquinas del Sr Monasterio en la década de los 70, donde la reducción de los costes es cuantiosa, disminuyendo cada vez más hasta la utilización de la energía eléctrica en las minas a comienzos del siglo XX.

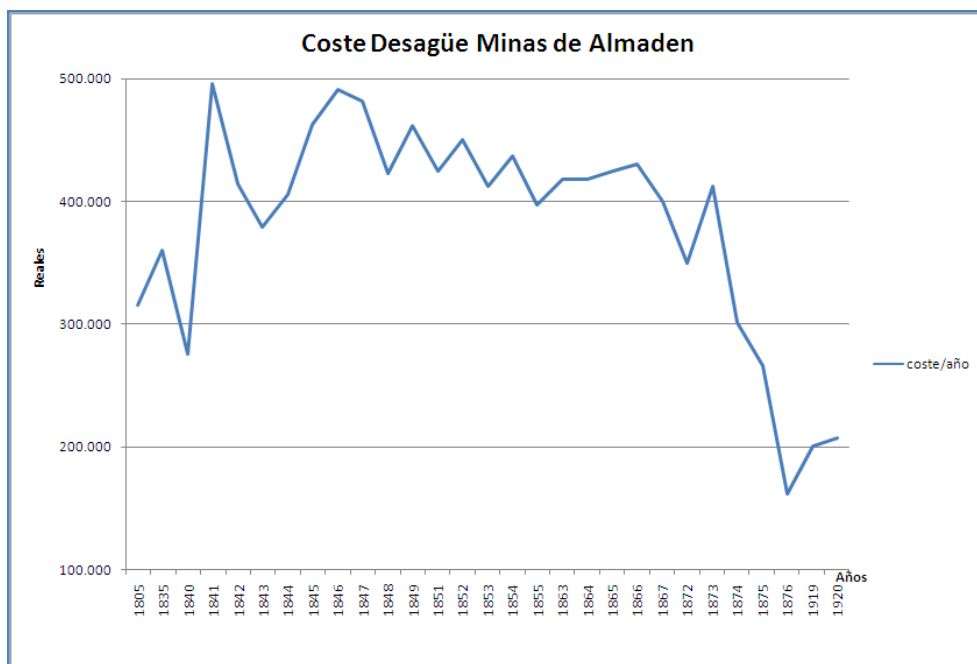


Gráfico 8. Evolución costes del desagüe de minas de Almadén en el siglo XIX.
Fuente: Elaboración propia.

Si analizamos la instalación de las máquinas desde el punto de vista de la producción podemos observar como la instalación de las nuevas máquinas coincide con épocas donde se produce un descenso notable de la producción. Por ejemplo en el siguiente gráfico, vemos como desde 1775 hasta 1785, año en el que se comienza la instalación de la primera máquina de vapor, la producción caía en picado y como a raíz de su puesta en marcha comienza a ascender. El funcionamiento de esta máquina permitió liberar mano de obra en las labores de desagüe para utilizarlas en otras actividades del ciclo productivo.

La instalación de la segunda máquina de vapor también coincide con un descenso de la producción en torno a 1850, aunque la repercusión de su instalación fue nula pues nunca llegó a funcionar. Y por último la llegada de las nuevas máquinas de vapor en la década de los 70, también coincide con una disminución de la producción en los inicios de la década, solucionado con la instalación de estas nuevas máquinas, pues como se observase en los siguientes gráficos al poco de su funcionamiento se consigue un notable incremento de la producción.

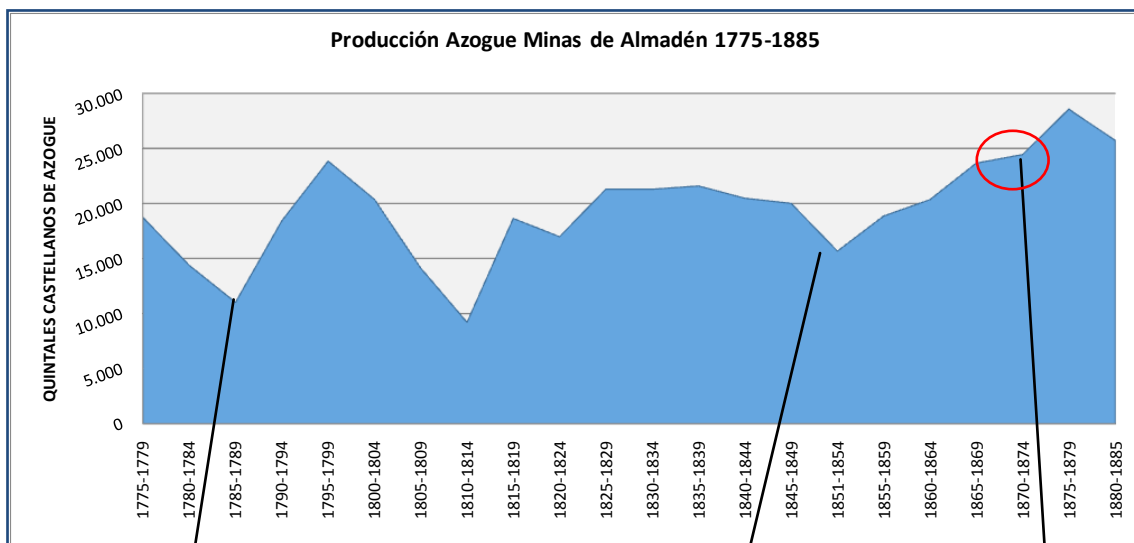


Gráfico 9. Producción de azogue Minas de Almadén 1775-1885 Vs Instalación Máquinas de Vapor

(INSTALACIÓN)
1ª Máquina Vapor
1785-1805

(INSTALACIÓN)
2ª Máquina Vapor
1845-1850

(INSTALACIÓN)
Máquinas Vapor
San Miguel 1872
San Aquilino 1873
San Teodoro 1875
(gráfico 10)

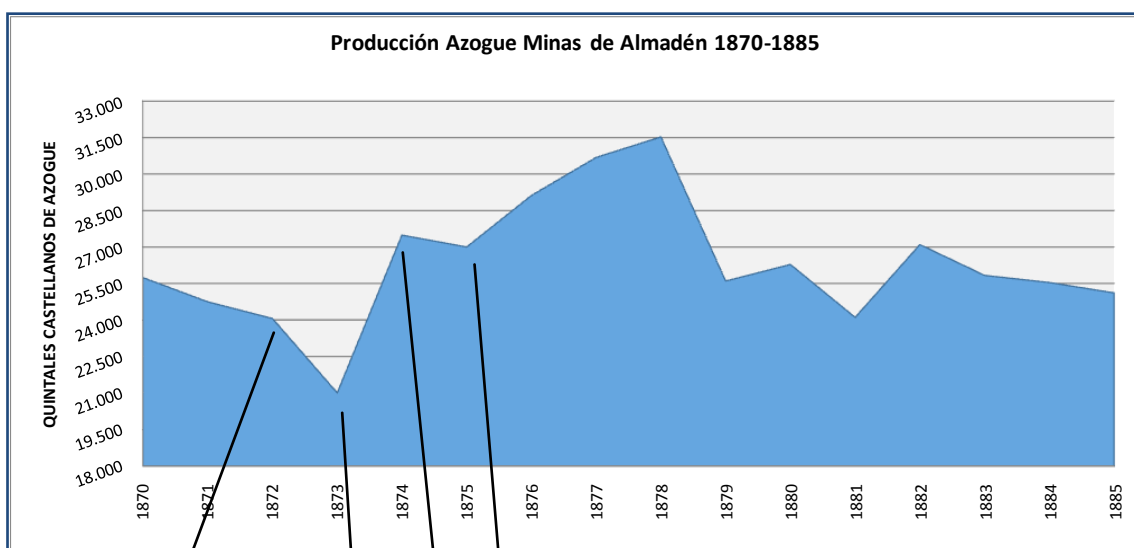


Gráfico 10. Producción de azogue Minas de Almadén 1870-1885 Vs Instalación Máquinas de Vapor

1872 Máquina de Vapor
San Miguel

1873 Máquina de Vapor
San Aquilino

1874 Máquinas de Vapor
Taller Preparación Mecánica

1875 Máquina de Vapor
San Teodoro

A lo largo del siglo XIX, las máquinas de vapor en minas de Almadén, habían conseguido asentarse igual que en el resto de España. Existían talleres especializados en la fabricación de máquinas de vapor como por ejemplo, Nuevo Vulcano en 1836, Alexander Hermanos en 1849, y La Maquinista Terrestre y Marítima en 1855.

6.4.-El fin de la era del vapor en Minas de Almadén.

6.4.1.- El informe de 1906.

A comienzos del siglo XX, las condiciones de las últimas máquinas de vapor a pesar de sus 30 años de funcionamiento, eran desastrosas, ya sea por un mal mantenimiento, por falta de modernización o una mala utilización de las mismas y así aparece escrito en la Memoria sobre el Estado de las Minas, realizada por el Inspector General de Minas Sr. Vidal y de los ingenieros de minas Sres. Adán de Garza y Rubio en 1906. (Archivo Histórico Nacional, 1906)

El mal estado de las máquinas, era el claro reflejo del estado del Establecimiento con dos de los tres pozos principales prácticamente inutilizados, y una casi paralización de las labores mineras. Como solución a este estado lamentable, proponen la sustitución de las máquinas de vapor por motores eléctricos, para cuya alimentación se construiría una central eléctrica, que funcionaría con gasógenos de hulla procedentes de Puertollano. Se recomendaba la reparación de las maltrechas máquinas de vapor para dejarlas de reserva como alternativa al uso de la electricidad. (Anónimo, 1907)

La problemática que presentaba la mina, en cuanto a la reforma de maquinaria que se proponía, era la falta de espacio en los pozos, lo que obligaba al derrumbamiento de todos los edificios existentes y construir otros nuevos donde se les diera cabida a las nuevas máquinas. Pero el principal problema seguía siendo la escasez de agua en la mina, insuficiente para la reforma.

El taller de preparación mecánica también demandaba una reforma urgente pues todas sus máquinas, incluyendo la de vapor que prestaba servicio allí, se encontraban en tal estado que veían imposible su reparación, proponiendo directamente construir un nuevo taller y mejorar el movimiento del plano inclinado que llega a él.

El estado de las máquinas, no solo perjudicaba la producción, sino también a la salud de los mineros. La máquina del pozo de San Miguel, era incapaz de realizar las funciones de desagüe y de ventilación de forma simultánea, produciéndose en verano una atmosfera viciada muy difícil de limpiar por los diversos cambios de corriente que impedían la ventilación

natural, incluso impidiendo la bajada a la mina durante largos periodos de tiempo. Como solución se propone emplear la ventilación forzada de forma continua.

Es fácil imaginarse la situación de las máquinas en 1906, no solo por las palabras que hay escritas en el propio informe, sino porque el 29 de Diciembre de ese mismo año se produjo un accidente en el Pozo de San Aquilino, dejando la máquina inutilizable, propiciado probablemente por el mal estado de esta. El accidente obligó a la intervención del Estado y a sustituir la máquina vieja por una nueva en 1909, más moderna y potente que la anterior.

Tan estrepitoso fue el accidente, que los trozos diseminados de la máquina salieron en todas direcciones. Uno de los trozos del volante de inercia, con un peso de 347 kilogramos, salió despedido atravesando la cubierta del edificio a una distancia de 16 metros, quedando hundido sobre el terreno más de 50 centímetros. En busca de las causas y responsabilidades que hubiera en el accidente se realizaron numerosas investigaciones, (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1907, 1909).

El informe de la investigación fue redactado por el Ingeniero Cascajosa, el que tomo declaraciones a todos los funcionarios y operarios que tenían relación más o menos directa con la máquina, determinando que todos habían cumplido con su deber. Como causa principal apunta los 30 años de uso constante, en los cuales se produjeron incontables vibraciones que provocaron cristalizaciones internas de los materiales, disminuyendo así la resistencia de los materiales hasta la aparición de las fracturas.

En dicho informe se cita un testigo muy curioso, que explica que el accidente pudo ser fruto de una causa meteorológica, aunque a nuestro parecer no tiene mucho sentido.

“(…), tal vez relacione el accidente a una causa general meteórica eléctrica, probablemente manifestada en cierta zona de las provincias cercanas, puesto que así puede hacerlo suponer la coincidencia observada de haberse producido roturas semejantes en máquinas análogas y de servicio parecido en el cercano distrito minero de Linares (Jaén). Esta causa explicaría el accidente (...).”

Afortunadamente en el accidente sólo se produjeron daños materiales, y los problemas derivados de la inutilización del pozo, utilizado principalmente para la subida y bajada de los mineros, obligándolos a utilizar nuevamente las escalas de mano.

En el anteproyecto de la adquisición de la maquinaria del pozo de San Aquilino (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1910), encontramos que la nueva máquina era de tipo horizontal y de acción directa, con dos cilindros conjugados y distribución por corredera Stephanson, tiene servomotor para el cambio de marcha. La potencia de esta máquina es de 200 CV si trabaja a alta presión y de unos 50 CV si trabaja a 4,5 atmosferas de presión. También consta de freno de pie y de mano que actúa sobre las bobinas, y freno de vapor sobre el volante.

6.4.2.- El informe de 1916.

Diez años después vuelve a encargarse un nuevo informe sobre el estado de las minas, realizado por el Ingeniero D. A. Marín Hervós y por el Ingeniero Director D. Rafael Souvirón. En él se pone de manifiesto el mal estado de las máquinas de vapor, salvo la instalada recientemente en el pozo de San Aquilino. Como consecuencia del estado de las máquinas, los pozos estaban prácticamente inutilizables, la ventilación artificial a través del ventilador movido por una de estas máquinas era insuficiente, y el taller mecánico demandaba una reforma urgente. (Archivo Histórico Nacional, 1916),

La máquina de vapor del pozo de San Miguel tenía estropeada la caja de distribución, las varillas, prensas, se movía el asiento de toda la máquina, y en general todas sus piezas junto con sus calderas se encontraban en un lamentable estado. A pesar de estar casi inutilizables, se ponía en funcionamiento para evitar paralizar las labores del pozo.

Lo mismo sucedía con la máquina de los talleres y la del pozo de San Teodoro, montadas en las mismas fechas que la de San Miguel y aunque todavía prestaban servicio, su estado no era el más óptimo, sin hablar de sus calderas que se encontraban igual que todas las del establecimiento atacadas por la gran cantidad de cal de las aguas de la mina.

La nueva máquina del pozo de San Aquilino, se encontraba en perfecto estado, exceptuando sus calderas que estaban llenas de incrustaciones provocadas por la mala calidad de las aguas. En el momento de la visita, estaba prestando servicio hasta el 11º piso, el cual era el último enganche habilitado para el pozo.

La novedad en este informe, es que se hace referencia a la existencia de dos nuevas máquinas de vapor instaladas recientemente. Una de ellas destinada a la central de alumbrado eléctrico ubicada en el mismo cerco de San Teodoro, por lo que en esta ocasión el vapor se estaba utilizando para producir la electricidad necesaria para alumbrar algunas zonas de la mina.

La máquina era una semifija de 8 CV, que trabaja a 7 atmósferas de presión y monocilíndrica lo que daba lugar a frecuentes oscilaciones de la luz. Esta máquina de vapor daba movimiento a dos dinamos: la que presta servicio con una intensidad de 104 A, 125 V y 1.100 rpm y una potencia de 13 KW; y la segunda con una potencia de 7 KW y una intensidad de 61 A, 115 V y 1.260 rpm. De esta forma aunque de manera deficiente se prestaba al establecimiento de un flujo eléctrico.

Del cuadro de distribución, salían cuatro líneas, la primera abastecía el pozo de San Aquilino, Casa del Interventor, Oficinas y Casa del Administrador; la segunda alumbraba el cerco de Buitrones; la tercera los pozos de San Teodoro y San Miguel, la Casa Academia, y la cuarta las oficinas y las dependencias de las mismas.

La otra máquina se utilizaba para mover un compresor que alimentaba de aire a los nuevos martillos neumáticos de perforación tipo Flottmann con aparato "Sanitas"¹¹⁶. En el momento de la visita, la perforación se encontraba en periodo de ensayo, por lo que se justificaba que el consumo de aire fuera mayor del debido. Podía dar servicio hasta a ocho martillos.

Esta máquina, de tipo horizontal y de dos cilindros conjugados trabajaba a 4 atmósferas de presión, con una potencia de 60 CV. Estaba alimentada por un grupo de dos calderas que se encontraban en mal estado por la mala calidad de las aguas. El aire era comprimido a 6 atmosferas de presión, y

¹¹⁶ Aparato para la absorción de polvo producido al perforar los barrenos.

trabajando la máquina a una marcha normal se obtenían unos 2 metros cúbicos por minuto, siendo la capacidad del recipiente de aire de 24 metros cúbicos.

En la Memoria se concluye que exceptuando la máquina de San Aquilino y la compresora de aire para la perforación mecánica, el resto, esto es la del pozo de San Miguel, la de San Teodoro (que aunque presta servicio se consideraba muy antigua y de un sistema no recomendable), la de la central de alumbrado y la de talleres, debían sustituirse.

Además de recomendar la sustitución de las máquinas, el informe también propone una serie de reformas necesarias para mejorar las instalaciones, como por ejemplo en el pozo de San Miguel. En éste era necesario dar mayor amplitud a sus instalaciones, así como construir un nuevo castillete y hacer independiente el movimiento de su ventilador, siendo necesario para ello colocar dos motores, uno para la extracción y otro para el ventilador.

También era necesario renovar las instalaciones del pozo de San Teodoro, por ser uno de los pozos que mayor servicio prestaba.

A pesar el buen estado de la máquina compresora de la perforación mecánica, se recomienda acercarla a los pozos para reducir las pérdidas provocadas por la distancia e incluso consideran conveniente instalar el propio compresor en el interior movido por un motor eléctrico.

En último lugar, también refieren en la memoria que la central de alumbrado debería ampliarse, desechando la actual máquina semifija y ampliar la potencia de los talleres para dar más fuerza a la instalación de algunas herramientas.

Las reformas propuestas llevaban asociada la necesidad de montar un importante número de motores, y caso de emplearse la fuerza del vapor sería necesario adquirir más calderas y sustituir las existentes por su mal estado y buscar cómo aumentar la cantidad de agua disponible para alimentar las calderas. Como solución apunta que se efectúe urgentemente la traída de las aguas al establecimiento desde la ribera de Gargantiel¹¹⁷.

¹¹⁷ Este proyecto ya se había propuesto en 1906, e incluso en años anteriores, pero no se había llevado a cabo.

La Tecnología del Vapor aplicada en las Minas de Almadén.
Desde su origen hasta el Consejo de Administración.

FECHA	UBICACION TIPO DE MÁQUINA	EMPLEO	OBSERVACIONES
1805	Pozo de San Teodoro	DESAGÜE	1ª Máquina de las Minas de Almadén. Estuvo funcionando hasta 1879 y permaneció en las minas hasta 1919.
	Máquina de Simple Efecto de Watt, y 40 CV, con algunas modificaciones introducidas por Tomás Pérez Estala.		
1848	Pozo de San Teodoro	DESAGÜE Y EXTRACCIÓN	Nunca llegó a funcionar, y fue vendida en 1870 por 26.259 pesetas en subasta pública.
	Máquina de 40 CV, un cilindro vertical y de doble efecto tipo Watt, trabajaba a baja presión, con condensación y sin expansión.		
1872	Pozo de San Miguel	DESAGÜE Y VENTILACIÓN (Extracción e Introducción)	Daba movimiento a un ventilador Guibal de 3,00 x 0,80 m
	Máquina de 20 CV de un cilindro horizontal con freno de mano para las bobinas, freno de pie para el árbol motor, de expansión tipo Mayer y con condensación.		
1873	Pozo de San Aquilino	SUBIDA Y BAJADA MINEROS (Extracción e Introducción)	La jaula tenía una capacidad para 18 trabajadores equipada con paracaídas sistema Libotte.
	Máquina de 30 CV de un cilindro vertical de expansión Guinotte con condensación. Y tres calderas sistemas Cornualles.		
1874	Taller de Preparación Mecánica	VENTILACIÓN	También disponía de un montacargas de vapor para trasladar vagones de estéril hasta las escombreras.
	Máquina de vapor de 12 CV.		
	Máquina de vapor de 15 CV sistema Corliss	SEPARACIÓN MINERAL	
1875	Pozo de San Teodoro	DESAGÜE Y EXTRACCIÓN	Sustituyo a la 1ª máquina de vapor para el desagüe y al malacate de caballerías para la extracción de minerales.
	Máquina de 40 CV con dos cilindros conjugados verticales con expansión Audhemar, freno de vapor y máquina especial de 6 CV para la condensación. Con dos calderas sistemas Cornualles.		
1909	Pozo de San Aquilino	SUBIDA Y BAJADA MINEROS (Extracción e Introducción de herramientas)	A partir de 1923 esta máquina sería sustituida por una máquina eléctrica
	Máquina horizontal y de acción directa, con dos cilindros conjugados y distribución por corredera Stephanson, con servomotor para el cambio de marcha. Potencia de 200 CV si trabaja á alta presión y de 50 CV si trabaja a baja presión. También consta de freno de pie y de mano que actúa sobre las bobinas, y freno de vapor sobre el volante.		
1916	Central Alumbrado Eléctrico	ALUMBRADO	Daba movimiento a dos dinamos: una con potencia de 13 Kw e intensidad de 104 A; y la segunda con potencia de 7 Kw e intensidad de 61 A.
	La máquina en cuestión, era una semifija de 8 CV, de media presión y monocilíndrica lo que daba lugar a frecuentes oscilaciones de la luz.		
1916	Compresor Perforación	PERFORACIÓN	Alimentaba 8 martillos neumáticos tipo Flottman con aparato para aspirar el polvo.
	Máquina de 60 CV, de tipo horizontal y de dos cilindros conjugados de baja presión		

Tabla 20. Máquinas de vapor instaladas en las minas de Almadén. Fuente: Elaboración propia.

Ante todos estos inconvenientes, en la memoria se propone la sustitución del vapor por energía eléctrica, que aportaba como ventajas que los motores ocupen un menor espacio, la posibilidad de mantener algunas instalaciones de vapor y reducir el consumo de carbón con su consiguiente ahorro económico. Además de esta forma podrían realizarse las reformas casi sin interrumpir los trabajos. Se proponían como solución para la alimentación eléctrica, adquirir la energía eléctrica de otra empresa aprovechando la relativa proximidad a Puertollano y las construcciones eléctricas entre esta cuenca carbonífera y las de Belmez, o construir una propia central eléctrica.

6.4.3.- El informe del Sr. Souvirón 1918.

En 1916 también se aprobó la creación del Consejo de Administración, el cual se haría cargo de la mina en el año 1917, lo que hace pensar que la realización de dicho informe, fue para dar a conocer el estado de la mina a este nuevo Consejo.

En 1918, para conocer el estado real en que encuentra el Establecimiento Minero, el Consejo de Administración encarga a su Ingeniero Director, Sr. Souvirón que realice una inspección y elabore un informe en el que a modo de acta quede constancia de la situación de la Mina de Almadén.

En este informe, en el inventario de máquinas aparecen relacionadas toda ellas como que están en funcionamiento (Archivo Histórico Nacional, 1918). Sin embargo añade que se encuentran en un estado lamentable exceptuando la máquina de San Aquilino que por ser la más nueva se encontraba en buen estado. En lo referente a los edificios aparece escrito:

“Manzana de edificios de dos plantas en que están instaladas la máquina del pozo de San Teodoro y la de desagüe antigua, con sus calderas y demás accesorios. (...) Marcando en las observaciones que los edificios se encontraban en buen estado”.

Se comprueba con este párrafo que a pesar de que la primera máquina de vapor dejó de utilizarse en 1879, está sigue en el mismo lugar que se montó.

Las reformas reclamadas en el informe no comenzaron hasta el 1 de Noviembre 1918, como detalla el Sr. Souvirón en la memoria que redactó a finales de 1919, (Archivo Histórico Nacional, 1919).

En la primera parte de este informe hace un resumen del estado de la mina, en el que recalca que debido al mal estado en el que estaba el establecimiento, tuvo que levantar acta para eludir responsabilidades.

“(...) a medida que se han ido estudiando servicios é instalaciones se han ido encontrando deficiencias de tal índole que solamente por la necesidad de sostener en actividad el personal obrero, (...) y de mantener el mercado cuyo primer proveedor es Almadén se pudo arriesgar el emprender la campaña como de ordinario;”

Nada más comenzar la campaña, la misión principal fue desaguar el piso 12 y para ello se utilizaron las máquinas de los tres pozos a pesar del pésimo estado en el que se encontraban éstas, cables, guionajes y calderas, consiguieron ponerlas en funcionamiento y comenzar la campaña.

“(...) se haría interminable el narrar todos los detalles de la lucha sostenida para rehabilitar en medida de lo posible el establecimiento, (...)”

El informe continúa describiendo algunos elementos del establecimiento y comienza por el pozo de San Teodoro.

Después de conseguir el desagüe del piso 12, este pozo siguió ayudando a mantener el desagüe y llevó el peso de la extracción de minerales a pesar de las averías sufridas en su máquina de vapor, procediendo a su desmontaje al final de la campaña, en Junio de 1919. Esta máquina había estado funcionando durante cerca de medio siglo dando muestra de la robustez de su construcción.

Además comenzaron las obras de renovación del pozo, empezando por derribar los edificios que lo rodeaban, incluyendo el edificio en el que se albergaba la primera máquina de vapor del establecimiento, dando así por concluida su estancia en las minas de Almadén. También renovaron el guionaje de madera del pozo por uno de hierro.

Por último se dejó encargada la máquina de extracción y su castillete. Aunque no dice de que tipo es la máquina de extracción, de la memoria del establecimiento de 1926, (Archivo Histórico Nacional, 1926), se puede deducir que era eléctrica, comenzando así el salto del vapor a la electricidad en 1919.

El pozo de San Aquilino, era el único que estaba en unas condiciones aceptables de trabajo hasta el piso 11º, teniendo que recurrir a él mientras se reformaba el de San Teodoro y sostener el servicio interior. A pesar de su buen estado, este pozo también sufrió reformas, se renovó su guionaje y se sustituyeron los cables de abacá por cables reforzados. También se montó una caldera nueva y se sustituyeron dos antiguas e inservibles, por dos de las retiradas de San Teodoro, se mejoraron algunos órganos de la máquina, se pusieron dos marcos nuevos de taqués, y se preparó la sustitución de las jaulas de un piso por otras de dos pisos para intensificar la extracción de minerales, para la siguiente campaña.

Las instalaciones del pozo de San Miguel eran las que en peor estado se encontraban, y solo pudo utilizarse de forma intermitente gracias a los numerosos arreglos que se realizaron. A pesar de ello, su máquina consumía excesivo vapor y para sostener su funcionamiento tuvo que ampliarse su batería con una caldera procedente de las retiradas de San Teodoro. También se renovaron sus cables de abacá por otros de acero y se dedicó a labores de desagüe y a una parte de la extracción del piso 12 al 11, dejando pendiente su completa renovación para cuando se terminase la de San Teodoro.

En la parte final del informe, además de continuar con la propuesta del proyecto de la traída de agua de la Ribera de Gargantiel, aparece la renovación de todas las máquinas y la instalación de una central eléctrica propia de la que se había hecho un estudio. Incluso ya se habían adquirido una parte de su equipamiento. En el almacén estaba esperando uno de los dos motores Diesel, de 300 CV necesarios para la central, Pero mientras que se construyese la central definitiva, se estaba construyendo una central de reserva que funcionaría en breve plazo y que se alimentaría con carbón traído desde Puertollano, por ferrocarril hasta la estación de Almadenejos.

Con la llegada de la electricidad, en sustitución de la energía del vapor, se produce un nuevo salto tecnológico, que permitiría evolucionar los sistemas de desagüe y extracción.

La confirmación de que la electricidad llegó entre 1918 y 1920 la encontramos en un expediente sobre la electrificación de algunas piezas de la máquina del pozo de San Teodoro, (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1919).

En 14 de Junio de 1919, minas de Almadén firma un contrato con Brown Boveri (Sociedad Española de Electricidad), para el suministro de un equipo eléctrico de un torno de extracción para el pozo de San Teodoro, efectuando el pago de la mitad del importe. El presupuesto asciende a 19.472 pesetas, con un plazo de entrega de 4 meses.

Junto al torno de extracción eléctrico se solicitaron más accesorios para la electrificación de la máquina, entre ellos un electroimán para el freno de seguridad, dos interruptores de seguridad para el mismo freno y un contactor para la puesta en cortocircuito de los interruptores, y otro interruptor para el fin de carrera para el indicador de profundidad. El coste de estos nuevos accesorios era de 1.500 pesetas, a sumar al presupuesto anterior.

A lo largo de los años se fueron pidiendo más accesorios, motores, transformadores, voltímetros, cable de cobre. Entre los años 1918 y 1923 se solicitaron más presupuestos para la colocación de máquinas de extracción eléctricas para San Teodoro y para San Aquilino. Algunas de las empresas que ofertaron estas máquinas fueron:

- *Siemens Schuckter- Industria Eléctrica- Sociedad Anónima*, que ofertaba una máquina de extracción de 109 CV de potencia por un coste de 20.320 pesetas.
- *Brown Boveri*, ofertaba una máquina de 60 CV por 40.050 pesetas.
- *Sociedad Española de Electricidad ASEA*, oferta una máquina que trabaja en continuo a una potencia de 110 CV, pero que en caso de necesidad puede llegar a una potencia de hasta 200 CV por 19.360 pesetas.
- *Axel Steenn*, ofertaba una máquina de 80 CV por 161.000 francos más un coste adicional de 9.000 pesetas.

A las diferentes ofertas para la instalación de las máquinas de extracción eléctricas, hay que sumar la multitud de presupuestos que existen en el Archivo Histórico de Minas de Almadén referentes a la instalación de una central eléctrica, que ofreciese electricidad a todos los servicios del establecimiento, en el menor tiempo posible, tal era la urgencia que pretendían que estuviese funcionando en 1920, (Archivo Histórico Minas de Almadén, 1919-1920).

La empresa a la que se le encargó el presupuesto fue Thomson Houston Ibérica S.A., y el total ascendía a 205.000 pesetas. El presupuesto incluía todo el material, turbinas de vapor, bombas, accesorios, pero a recoger en fábrica, y en caso de incluir el transporte a Almadén aumentaba en 23.500 pesetas. Para la generación de vapor necesario para las turbinas se utilizarían unas calderas acotubulares mucho más modernas que las calderas del Establecimiento.

A pesar de ello, esta nueva central eléctrica no llegó a montarse. Si que se montó en cambio la central de reserva y de ella aparecen más presupuestos en este mismo expediente.

Por parte de Brown Boveri, se presentaron varios presupuestos que se iban modificando en función de las peticiones de Minas de Almadén, encontrando el que parece ser el definitivo con fecha 11 de Abril de 1919 por un importe total de 68.090 pesetas y un plazo de entrega entre 4 y 5 meses. En el Archivo Histórico de Minas de Almadén, existen diversos informes que confirman su funcionamiento durante los años 1940-45.

Ya en el informe sobre el estado de las minas de 1926 se puede confirmar la utilización de la energía eléctrica (Archivo Histórico Nacional, 1926).

En la partida correspondiente a las máquinas de extracción, se indica la necesidad de sustituir las máquinas de los pozos de San Teodoro y San Aquilino, por otras máquinas eléctricas de extracción por estar los servicios ya electrificados. Se contrató su adquisición a la empresa A.E.G. Ibérica de Electricidad.

En lo que respecta al pozo de San Miguel, se habla de que se encontraba en estado de abandono y tuvieron que rehabilitarlo para la introducción de los rellenos, pues a pesar de los 1.200 metros cúbicos introducidos para las labores de los criaderos de San Francisco y San Nicolás estos no habían sido suficientes.

El pozo de San Miguel tampoco aparece en el inventario de la Memoria del Establecimiento del año 1933, lo que hace sospechar que no se estaba utilizando.

Esta misma memoria incluye las características de la nueva máquina de extracción eléctrica que se había instalado en el pozo de San Teodoro, (Archivo Histórico Nacional, 1933).

Máquina de accionamiento directo con motor trifásico de 110 KW, 3000 voltios y 955 r.p.m. La máquina está calculada para trabajar a una profundidad de 420 metros, para una extracción de 25 toneladas por hora a una velocidad media de 6 m/s, habiéndose considerado que la jaula con la vagoneta llena pesaba 2,25 toneladas. El sistema de enrollamiento de cables es el de bobinas, de las que una es loca, lo que permite hacer el reglaje de cables cuando se produce un cambio de piso de extracción.

La transmisión se realiza por medio de un engranaje doble que une el motor con el eje de las bobinas. Dispone de un freno de seguridad de cierre rápido, patentado por A.E.G., además de un freno de maniobra para la marcha normal de la máquina.

Dispone de indicador de profundidad y tacógrafo registrador sistema Earlick. El arrancador de líquido es de sistema A.E.G., y se encuentra dividido en dos compartimentos, el superior que cubre los electrodos y constituye el arrancador, y el inferior que sirve para refrigerar el electrolito.

La energía eléctrica se abría camino en las minas de Almadén, propiciando el adiós a la energía generada por la fuerza del vapor, que durante más de un siglo había sido el pulmón de las minas, aliviando el trabajo de los mineros y manteniendo a la cabeza de la producción nacional y mundial al establecimiento minero almadenense.

6.5.-Análisis de la primera máquina del pozo de San Teodoro a partir de planos de la época.

La reconstrucción virtual de la primera máquina de vapor del Cerco de San Teodoro solo es posible a partir de su perfecto conocimiento. Esto requiere comprender la tecnología del vapor de finales del siglo XVIII y principios del siglo XX y por otro lado analizar los planos y dibujos de la propia máquina. La primera parte ha sido objeto de revisión en los apartados anteriores; el estudio de los planos y dibujos va a ser objeto en los siguientes puntos.

El estudio se va a dividir en dos partes, aunque en algunos casos se puedan superponer en las explicaciones. En la primera de ellas se determinará la utilidad del plano y la finalidad de los elementos representados; en la segunda se estudia el sistema de representación empleado, la técnica utilizada, las líneas, los colores, las sombras, los efectos de iluminación, las cotas, las escalas y la presencia o no de algún lenguaje alfanumérico.

Con toda esta información, ya estamos en condiciones de elaborar la reconstrucción virtual de la máquina ajustada a su realidad de funcionamiento tanto en lo que se refiere a condiciones de diseño técnico como de sus materiales.

7.- RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL

Tipo Documento:	Dibujos, planos
Procedencia:	Archivo Histórico Nacional. Madrid
Referencia:	FCMA-1488
Título:	Plano en planta del edificio de la máquina de vapor y del baritel.
Autor:	Anónimo
Lugar y Fecha:	Almadén. 1787
Descripción Física:	Papel cartón de 375 mm de anchura por 375 mm de altura, en buen estado de conservación
Descripción:	Plano en planta del edificio de la máquina de vapor, anexo al baritel del pozo de San Teodoro, elaborado para la construcción del mismo.
Delineación:	Tinta negra Escala gráfica
Contenido Plano:	Leyenda Sección detallada

Tabla 21. Ficha del plano de planta del edificio del baritel y del edificio de la máquina de vapor.
Fuente: Elaboración Propia.

Visión general del plano:

El plano representa la 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.

En él queda perfectamente explicada la geometría de ambos edificios en vista en planta. No incluye otras vistas. Permite conocer la disposición de los dos edificios y sus dimensiones en el plano horizontal. No aporta información de dimensiones en altura.

El sistema de representación empleado es el de proyección ortogonal sobre el plano horizontal. Se trata de un corte resultado de la sección por un plano paralelo al plano horizontal de proyección. El corte permite visualizar las máquinas del interior aunque no en su totalidad, representadas en dos dimensiones, en una sola vista y sin secciones o cortes. El plano es de utilidad para conocer la posición de un edificio respecto al otro.

Todo apunta a que es un plano de obra, utilizado para replantear el terreno antes de la construcción del edificio de la máquina de vapor.

La delineación del plano se ha realizado en tinta negra, con rellenos en tinta más o menos suave sobre algunos elementos para su mejor definición.

Escala:

Incluye escala gráfica ubicada en la parte inferior derecha del plano y ocupa un espacio de 150 mm de anchura por 10 mm de altura.

Está graduada en pies franceses¹¹⁸ entre 0 a 20 lo que permite medir directamente sobre el plano. La graduación es de 1 en 1 unidad hasta el 10 y de 5 en 5 unidades hasta el 20. A la izquierda del 0 incluye una contraescala de pie francés dividida en cuatro partes de 0,25 pies franceses para medir los decimales.

A la derecha de la barra graduada aparece el texto “Dos Líneas Por pie Franceses”. La letra mayúscula dibujada con una altura de 4 mm y las minúsculas con 2 mm.

De acuerdo a la escala, 5 mm en el plano corresponden a 1 pie francés en la realidad. Teniendo en cuenta esta relación se deduce que 1 mm en el plano son 65 mm en la realidad, lo que permite deducir que está representado a escala 1:65 aproximadamente.

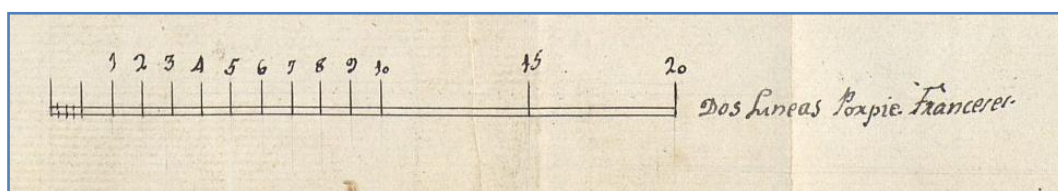


Figura 92. Escala gráfica. Plano FCMA-1488.

¹¹⁸ La medida de “pie francés” era también conocida como el “pie de París”, el “pie de Rey de París” o el “pie del Rey Francés”. Su equivalencia es 1 pie francés es 1,16 pies castellanos. A su vez, 1 pie castellano es equivalente a 278,635 mm, por tanto un 1 pie francés equivale a 325 mm.

Leyenda:

Para facilitar la comprensión se emplea una leyenda con una codificación alfabética ubicada en la parte superior izquierda del plano. El tipo de letra es letra romana de tamaño de 4 mm para las mayúsculas y de 2 milímetros para las minúsculas. También ha resaltado en negrita, las letras utilizadas para identificar los elementos.

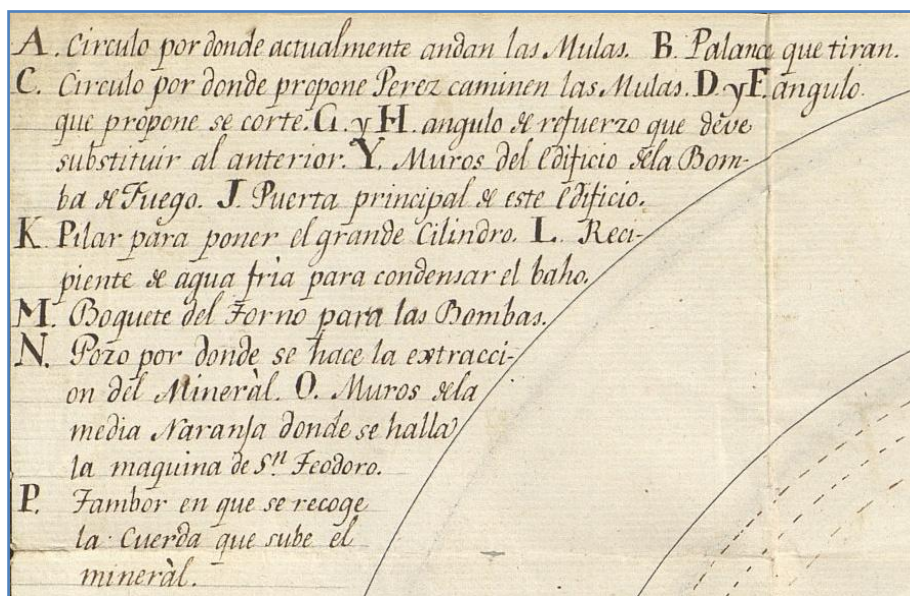


Figura 93. Leyenda. Plano FMCA-1488

LEYENDA PLANO FMCA-1488	
CODIGO	DESCRIPCIÓN
A	Circulo por donde actualmente andan las mulas.
B	Palanca que tiran.
C	Circulo por donde propone Pérez caminen las mulas.
D-F	Ángulo propone que se corte.
G-H	Ángulo de refuerzo que debe sustituir al anterior.
Y	Muros del edificio de la Bomba de Fuego.
J	Puerta principal edificio de la Bomba de Fuego.
K	Pilar para poner el grande cilindro.
L	Recipiente de agua fría para condensar el vaho.
M	Boquete del pozo para las bombas.
N	Pozo por donde se hace la extracción de mineral.
O	Muros de la media naranja donde se halla la máquina de San Teodoro.
P	Tambor en que se recoge la cuerda que sube el mineral.

Tabla 22. Leyenda. Plano FCMA-1488

Sección Baritel:

En esta sección podemos apreciar que la forma del baritel en planta es una circunferencia con diámetro exterior en plano de 320 mm equivalentes a 20,8 m en el terreno y con una pared (O) de 2,5 metros de espesor..

En su interior está dibujada parte de la estructura del malacate. Aparecen los brazos de madera o palancas (B) donde van enganchadas las mulas para mover el artilugio de extracción y el tambor (P) donde se enrolla la cuerda.

Otra información que podemos encontrar en el plano, es el recorrido que seguían las mulas (circunferencia A) antes de la instalación de la máquina de vapor, y el que deberían seguir (circunferencia C) una vez montada esta, de acuerdo a la propuesta formulada por Tomás Pérez.

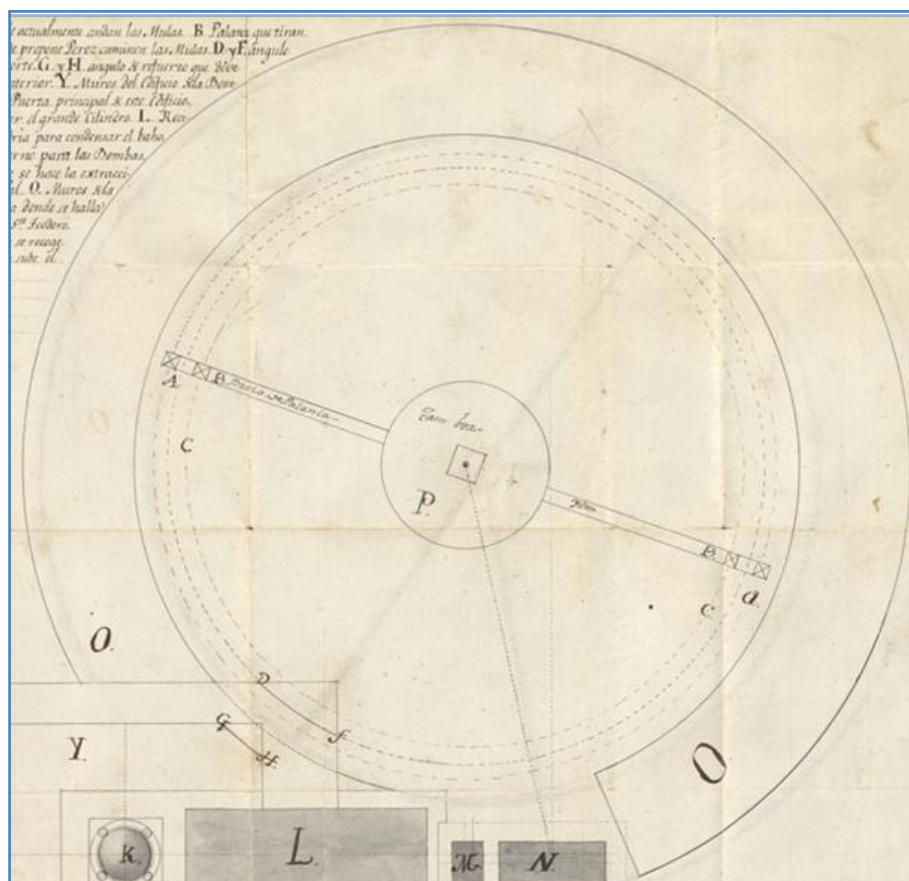


Figura 94. Detalle de la sección en planta del baritel. Plano FCMA-1488

Sección Edificio Máquina de Vapor:

Muestra una planta rectangular del edificio con unas dimensiones de 9,5 x 8 metros incluyendo varios accesos (J). Los espesores de las paredes (Y) varían entre 0,90 y 1,300 metros.

La superposición de este edificio con el baritel, muestra como una esquina de este edificio tiene que ser cortada (D-F), para permitir el recorrido de las mulas (circunferencia C), y posteriormente reforzado (G-H) por el lado opuesto para asegurar su fiabilidad estructural.

Aparecen representados en el interior del edificio la posición de varios elementos a montar de la máquina de vapor como son como el pilar para el cilindro (K), la balsa de agua del condensador (L) con unas dimensiones de 5 m de longitud y 2 m de anchura.

La maquinaria de ambos edificios tienen que hacer uso del Pozo de San Teodoro que aparece representado dividido en dos huecos, uno identificado con la letra (M) por donde se efectúa el desagüe mediante bombas que funcionarán con la máquina de vapor y el otro hueco identificado con la letra (N) por donde se extrae el mineral con ayuda del malacate o máquina de extracción.

En cuanto a los materiales de construcción empleados, el plano no aporta información. Tampoco sobre estilos y formas constructivas.

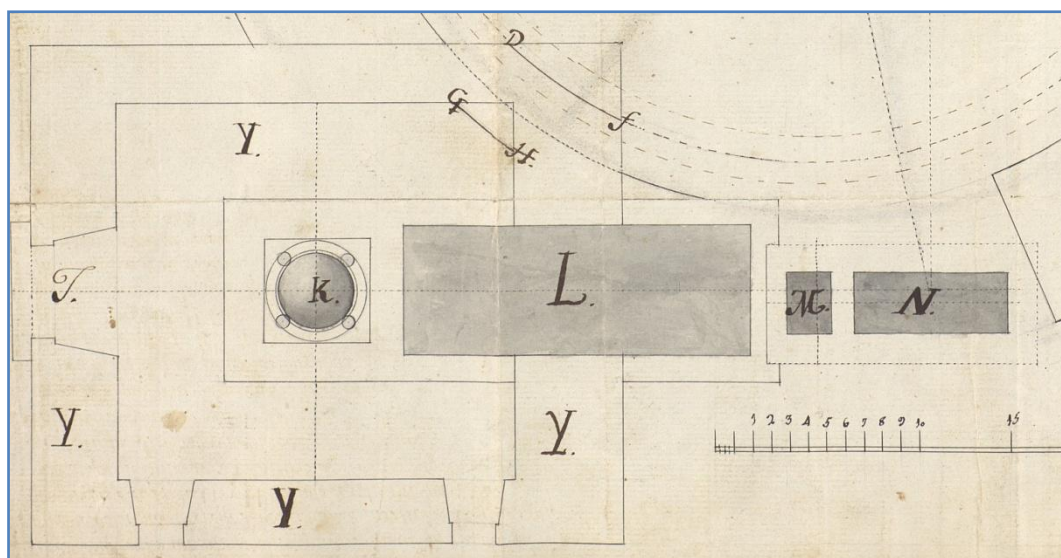


Figura 95. Detalle de la planta del edificio de la máquina de vapor. Plano FCMA-1488.

7.1.2.-Plano de la primera máquina de vapor, de la de cargar y descargar y del malacate del pozo de San Teodoro.

Tipo Documento:	Dibujos, planos
Procedencia:	Museo Nacional de Ciencia y Tecnología. Madrid
Referencia:	Nº 12
Título:	Perfiles o Vistas en que Se Reúnen las Tres Máquinas de Vapor, de Extracción o de Mulas y la de Cargar y Descargar, según Se Hallan Colocadas en La Superficie o Boca del Pozo de S ⁿ Teodoro
Autor:	José Morete de Valera
Lugar y Fecha:	Almadén. 1804
Descripción Física:	Papel cartón de 479,21 mm de anchura por 379,98 mm de altura, en buen estado de conservación
Descripción:	Plano de las tres máquinas del Pozo de San Teodoro, perteneciente a la colección de planos de las Reales Minas de Almadén, Almadenejos, Minetas y Registros Anexos. De José Morete de Valera.
Delineación:	Dibujo lavado al agua
Contenido Plano:	Titulo del plano Escala gráfica Sección detallada

Tabla 23. Ficha del plano de las tres máquinas del pozo de San Teodoro Nº12.
Fuente: Elaboración Propia.

Visión general del plano:

Aparecen representadas las tres máquinas que se utilizaban en el pozo de San Teodoro. Estas son la primera máquina de vapor, la máquina de extracción o de mulas (malacate) y la máquina de cargar y descargar.

A la vista de su representación se pueden obtener las dimensiones principales y el funcionamiento básico. También aparecen los edificios que las albergan (baritel y edificio de la máquina de vapor) y el pozo de San Teodoro hasta el nivel del primer piso aproximadamente.

Se trata de una proyección ortogonal sobre el plano de proyección del primer vertical (frontal) de un corte por otro plano frontal. No incluye más vistas o perspectivas. No todos los elementos en el dibujo aparecen cortados por el plano sección, lo que ayuda a la comprensión del conjunto.

En la sección se pueden apreciar perfectamente las características de los edificios, el pozo vertical y los elementos principales de la máquina de vapor. Se omite información relativa a la posición del plano de corte.

La lámina está dividida en dos zonas. La parte derecha contiene el dibujo sobre una imagen que simula un lienzo. La parte izquierda contiene el título del plano, en un recuadro en la zona superior; la escala gráfica también representada sobre una simulación de lienzo, en la parte inferior. La letra utilizada es del tipo bastarda moderna.

Se ha empleado la técnica de dibujo lavado al agua para cada material de forma similar a la realidad, lo que nos ayudará en el proceso posterior de reconstrucción. Junto con esta técnica se ha hecho uso también de los efectos de sombra e iluminación para dar sensación de tridimensionalidad, textura y volumen. La sombra es de izquierda a derecha con una inclinación de 45°.

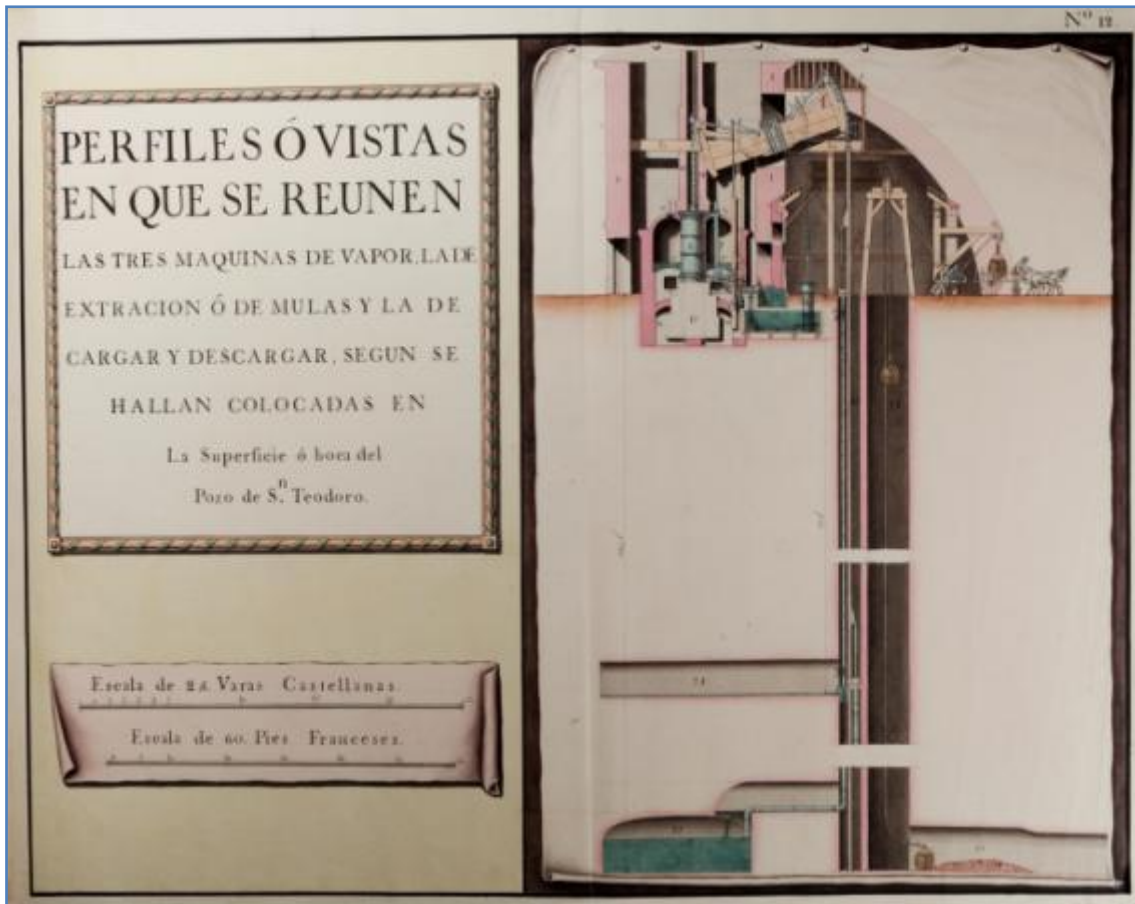


Figura 96. Plano de las tres máquinas del pozo de San Teodoro.
Fuente: Plano Nº 12, (Morete de Valera, 1803)

Marco:

Está compuesto por una sola línea de color negro de grosor 2 mm y separada del borde del papel a 14 mm en la parte superior y separada 5 mm en el resto de bordes.

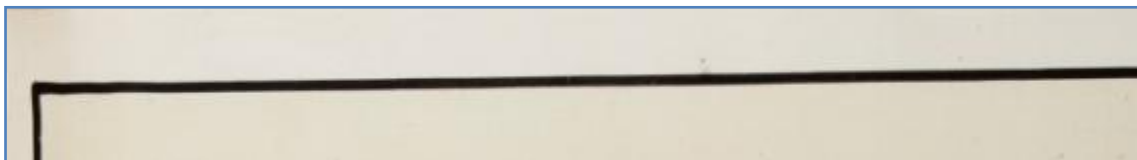


Figura 97. Detalle del marco del plano Nº 12.

Cajetín:

Es de forma rectangular de dimensiones 190 mm de anchura y 195 mm de altura.

El marco del cajetín tiene un espesor de 6 mm y está decorado con unas barras de color marrón claro rodeadas en forma de espiral con un adorno azulado. A su vez el marco esta rematado en las cuatro esquinas con lo que parece un remache. Y todo esto sobre un borde rectangular de un color más oscuro, consiguiendo así un efecto de tridimensionalidad, favorecido con la utilización de las sombras.

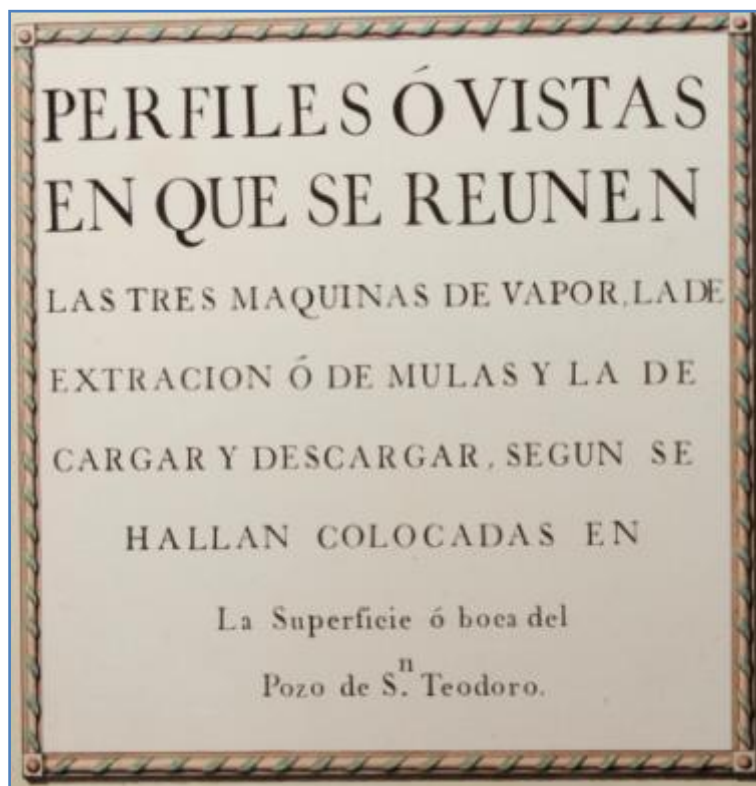


Figura 98. Cajetín del plano Nº 12.

En su interior aparece el título del plano escrito con un tamaño de letra decreciente de mayor a menor tipo en función de la importancia de lo que expresan. Las líneas finales están escritas en minúsculas.

Comienza con las palabras: “PERFILES Ó VISTAS EN QUE SE REUNEN”. Texto escrito en mayúsculas con una altura de 13 mm, ocupando dos líneas. Esta parte explica que lo que vamos a ver en el plano son los perfiles o las vistas de los objetos.

Continúa con el texto “LAS TRES MAQUINAS DE VAPOR, LA DE EXTRACCION Ó DE MULAS, Y LA DE CARGAR Y DESCARGAR, SEGÚN SE HALLAN COLOCADAS EN”. Texto escrito en mayúsculas con una altura de 6 mm, ocupando cuatro líneas. Aquí el autor hace una pequeña descripción de los objetos que se visualizan en las vistas o perfiles que indicaba al principio.

Por último el texto, “La Superficie ó boca del Pozo de S.ⁿ Teodoro”. Texto escrito en minúsculas con una altura de 3 mm, colocando en alguna de las palabras la primera letra en mayúscula con una altura de 6 mm. Finalmente el autor nos indica a donde pertenecen o donde se ubican las máquinas que se dibujan en el plano.

Escala:

Contiene dos escalas gráficas. Una de pies franceses graduada de 0 a 60 pies franceses, lo que nos permite medir directamente sobre el plano. La graduación es de 5 en 5 unidades hasta el 10 y de 10 en 10 unidades hasta el 60. Además entre el 0 y el 5 hay una división por unidad aunque no tienen número de referencia, y a la izquierda del 0 hay una contraescala de 1 unidad dividida en cuatro partes iguales de 0,25 pies franceses para poder medir los decimales.

Sobre la barra graduada aparece escrito “Escala de 60 Pies Franceses”, teniendo la letra mayúscula una altura de 6 mm y las minúsculas de 3 mm.

De la medición de la escala gráfica y la equivalencia de pie francés y milímetro, se deduce que 1 mm en el dibujo se corresponde con 140 mm reales, lo que da como valor numérico de escala 1:140.

La unidad de medida empleada en la segunda escala gráfica es la Vara Castellana¹¹⁹. La correspondencia medida en el plano es de una vara

¹¹⁹ Una vara castellana equivale a tres veces el pie castellano, o lo que es lo mismo a 0,836 m ó 836 mm.

castellana dibujada mide 6 mm lo que permite deducir que 1 mm de plano equivale a 140 mm de la realidad, es decir escala 1:140 como en la escala de pies franceses.

Sobre la barra graduada, aparece el texto Escala de 25 Varas Castellanas, teniendo la letra mayúscula una altura de 6 mm y las minúsculas de 3 mm. La graduación de la barra va del 0 al 5 de una en una unidad y del 5 al 25 de cinco en cinco unidades. Y por último a la izquierda del 0 existe una contraescala de longitud una vara dividida en tres partes iguales de 0,33 varas castellanas.

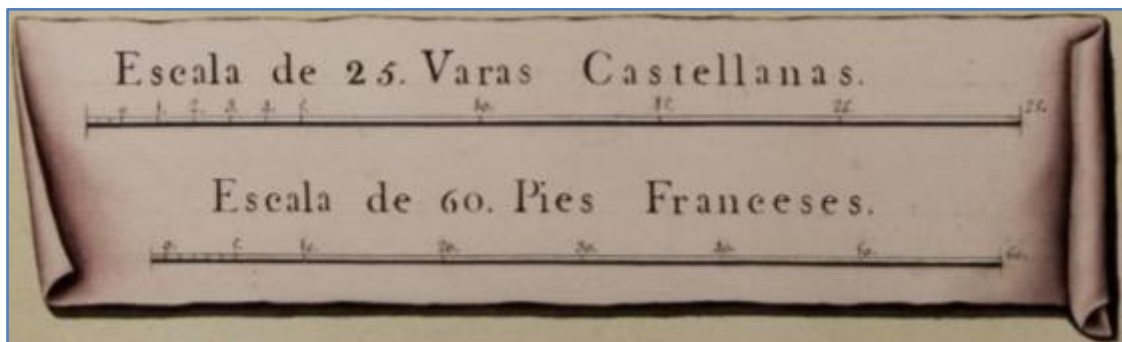


Figura 99. Escala gráfica del plano Nº 12.

Dibujo general:

Se representan las tres máquinas del pozo de San Teodoro y una sección de la vertical del pozo dando un mayor protagonismo a la máquina de vapor que se representa con un mayor detalle.

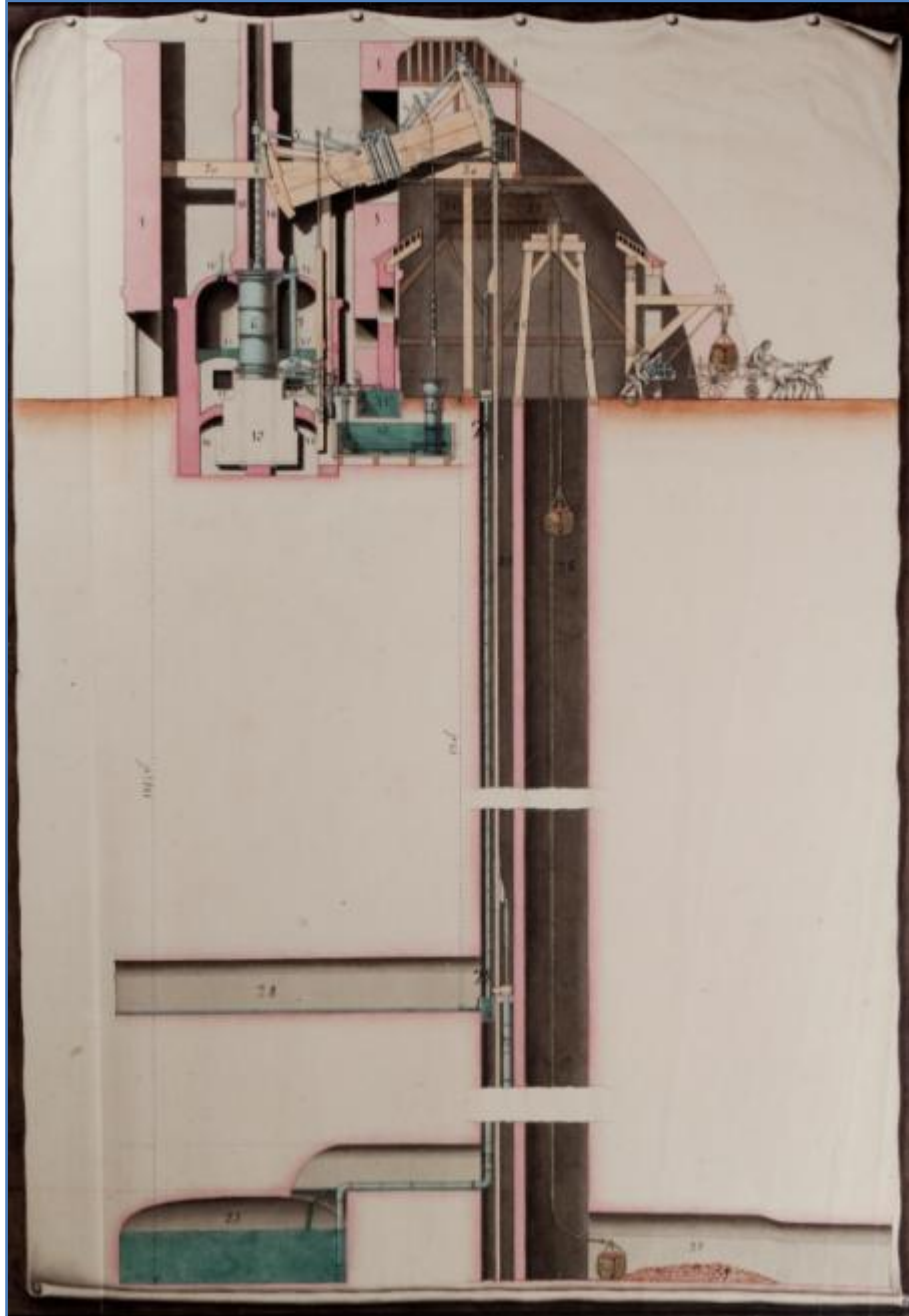


Figura 100. Vistas de las tres máquinas del Plano Nº 12.

Leyenda:

Mediante una relación numerada, que no se incluye en el plano, se identifican cada uno de los elementos representados. Esta leyenda está en un documento aparte, como un anexo del libro y donde podemos encontrar la explicación de cada uno.

LEYENDA PLANO Nº-12	
CODIGO	DESCRIPCIÓN
1	Edificio en que está colocada la máquina de vapor .
2	Balancín de esta máquina.
3	Barras de hierro horadadas en sus extremos en el que por medio de un tornillo o tuerca se hallan suspendidas las cadenas que por una parte esta asida la barra del émbolo del cilindro y por la otra los tirantes que bajan por el Pozo de San Teodoro a mover los émbolos de las bombas que se hallan colocadas en este.
4	Barra de hierro que sosteniendo como las anteriores las cadenas y viguetas sirve a dar movimiento al regulador .
5	Barra de hierro que sosteniendo como las anteriores una cadena y barras sirve a mover el émbolo de la bomba de aire , para extraer el agua que ha servido para la condensación y a formar el vacío para el efecto de la condensación .
6	Cilindro de 58 ^{1/3} pulgadas castellanas de diámetro y 8 ^{1/2} pies castellanos de corrida
7	Cañón o tubo perpendicular que sirve para dar paso al vapor después de haber hecho bajar el émbolo.
8	Caja en cuyo interior se halla colocada la válvula que sirve para detener y dar paso al vapor , según la alternativa del movimiento de la máquina.
9	Caja inferior en que se halla otra válvula y sirve para lo mismo que la anterior.
10	Piezas que sirven para cerrar y abrir alternativamente las válvulas del regulador y del condensador .
11	Cañón curvo unido a la caja inferior y sirve para dar paso al vapor después de haber empleado su potencia.
12	Cajón en el que se halla agua fría que la misma máquina sube y sirve a la condensación introduciéndose por la llave de fuente y pasa al condensador.
13	Cajón que se halla lleno de agua , y en éste los cañones de condensación.
14	Bomba de aire que sirve para extraer el agua que ha servido para la condensación y a formar el vacío para el efecto de la condensación .
15	Caldera donde se forma el vapor para dar movimiento a la máquina.
16	Válvula de seguridad que regula la fuerza de la máquina y da salida al vapor cuando éste es excesivo en las calderas .
17	Bocas por donde se da fuego a las calderas .
18	Ceniceros de los hornos y sus chimeneas .
19	Macizo de cantera que sirve de base al cilindro .
20	Solera o viga en la que se hallan colocadas las almohadillas sobre las que descansan el eje del balancín , el que se halla asegurado por medio de las

LEYENDA PLANO Nº-12	
CODIGO	DESCRIPCIÓN
	cuatro abrazaderas que se manifiestan en el centro del mismo balancín, las que están sujetas por otras barras y tornillos.
21	Bomba compuesta de varios cañones unidos de 4 pulgadas francesas de diámetro y que baja 53 varas castellanas o lo que es lo mismo hasta el socavón de la mina cuya bomba sirve solo para elevar el agua necesaria a la condensación y surtido de las calderas.
22	Bombas de 8 pulgadas de diámetro que bajan al recipiente para extraer el agua que producen ambas minas y verterlas por el socavón. La longitud de esta reunión de bombas es de 114 ½ varas castellanas hasta el recipiente del 4º piso , pero dentro de poco se colocarán las bombas que hay a este efecto hasta el recipiente del 5º piso 40 varas castellanas más abajo y que se esta habilitando en este momento. De manera que hoy extrae la máquina el agua desde una profundidad de 167 ½ varas castellanas y dentro de poco como queda indicado la extraerá desde 210, con lo que se evitara el gasto de las bombas de mano que en día se hallan colocadas desde el 5º al 4º piso que son 21.
23	Recipiente donde se reúne el agua de las dos minas.
24	Socavón de la Mina del Pozo por donde salen las aguas que extrae la máquina de fuego.
25	Máquina de mulas para la extracción.
26	Máquina de cargar y descargar.
27	Galería depósito del 5º piso de la Mina del Pozo, donde se reúnen los metales de ambas minas.
28	Pozo de San Teodoro.
29	Boquete del Pozo de San Teodoro.
30	Soleras o esportones donde se extrae el mineral.
31	Depósito de mineral al pie de San Teodoro.

Tabla 24. Leyenda del plano Nº 12. Fuente: (Morete de Valera, 1803)

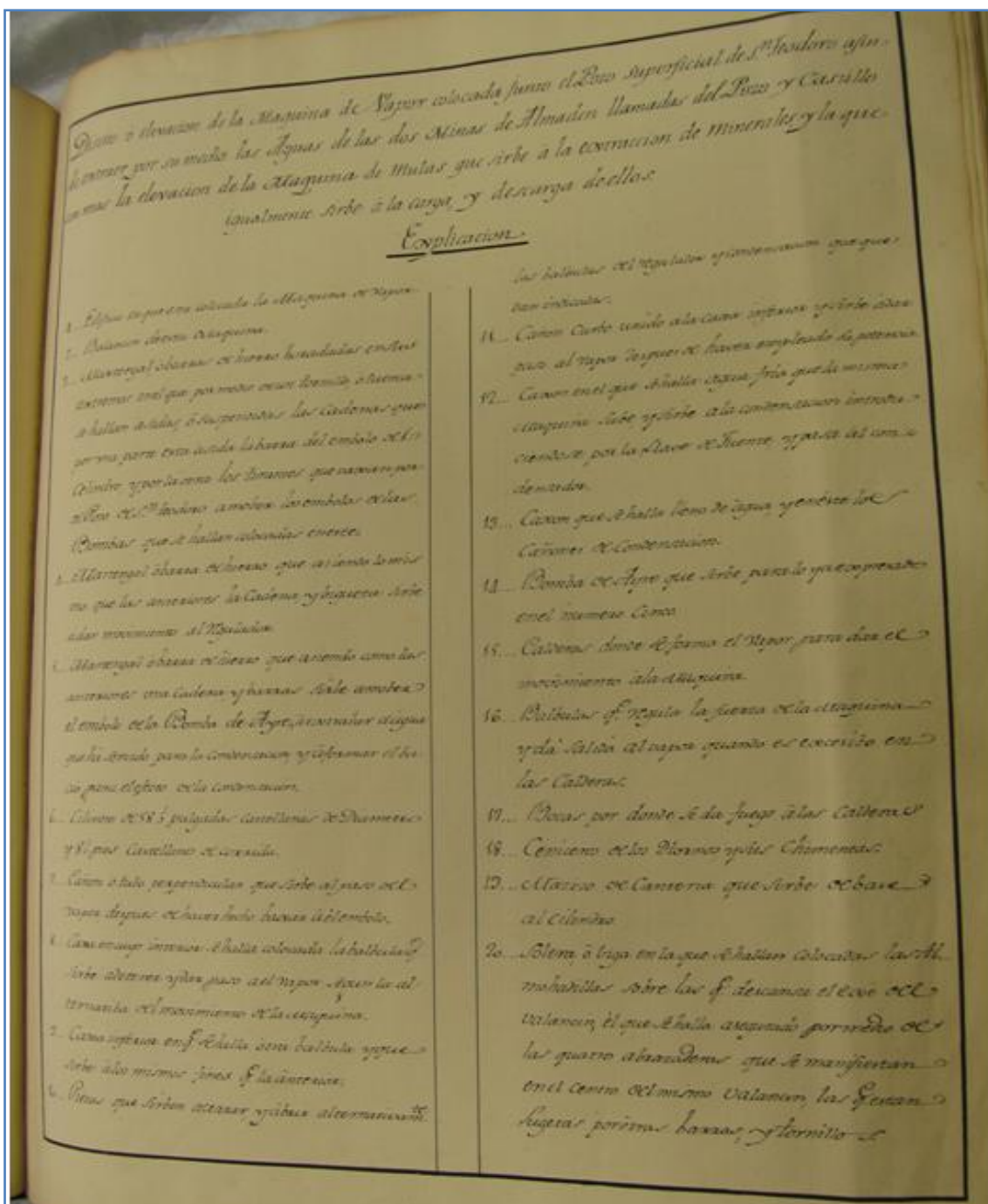


Figura 101. Página 1 de 2 del anexo leyenda del plano Nº 12.

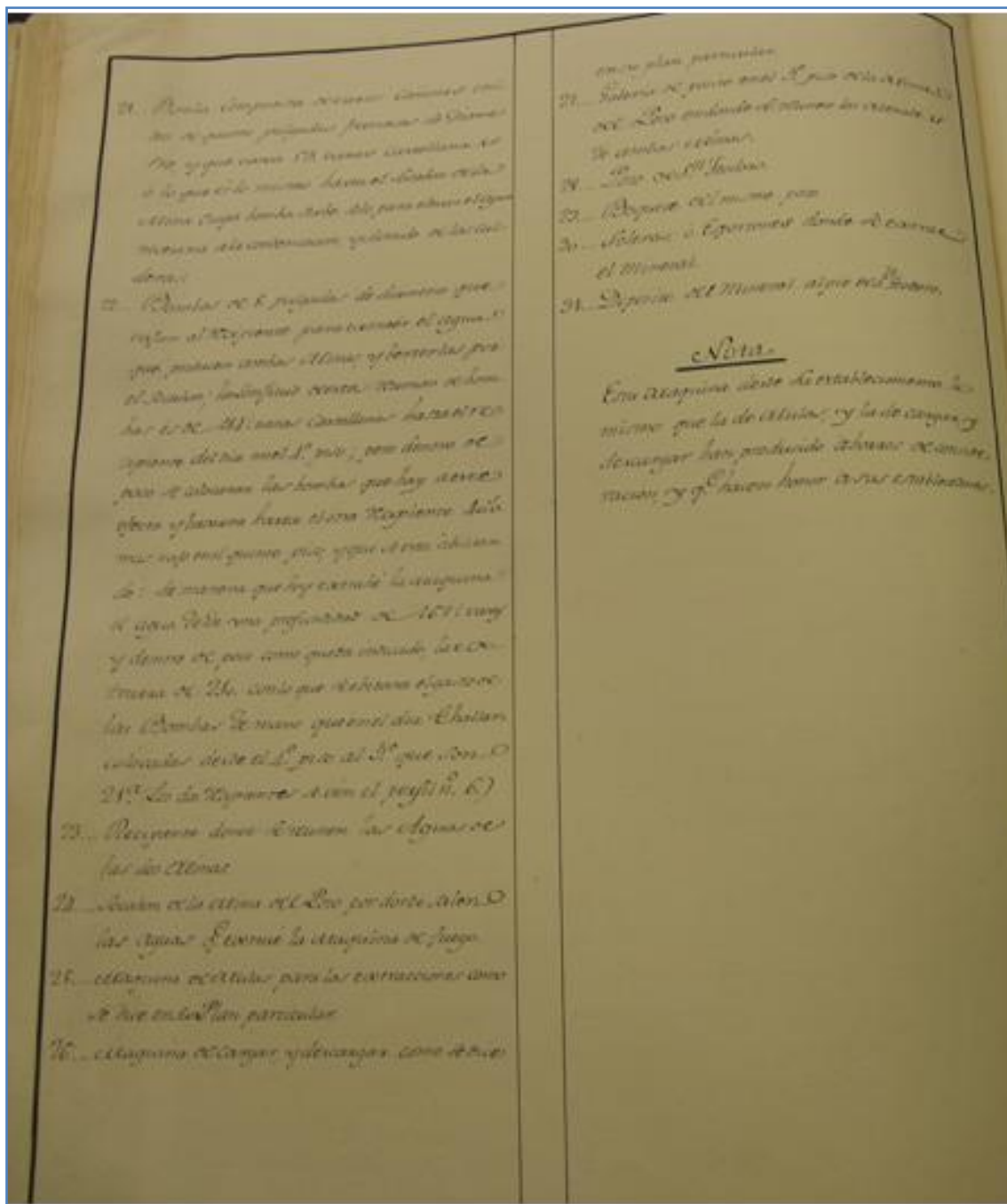


Figura 102. Página 2 de 2 del anexo leyenda del plano Nº 12.

La máquina de extracción o de mulas (Malacate):

Aparece identificada en el dibujo con el número 25. Se encuentra anexa al edificio del baritel, que aparece sin ningún número identificativo.



Figura 103. Detalle del malacate del plano N° 12.

La máquina está representada con tonos marrones, con la parte más lejana al observador más oscura y la parte más próxima más clara y con mayor iluminación. Así se dota de sensación de tridimensionalidad al conjunto del edificio y de la máquina. Para los muros del edificio se ha utilizado un tono carmín según el patrón de colores común al periodo de representación.

El malacate estaba arrastrado por mulas en una trayectoria circular entorno a su eje generando el giro del tambor (designada con el número 25 en el plano), y a mediante un juego de poleas y correas se conseguía bajar y subir las soleras o esportones donde se extraía el mineral¹²⁰. Estas soleras están marcadas en el plano con el número 30.

Para facilitar la comprensión del funcionamiento de la máquina, se representan las soleras bajando por el pozo principal (número 28), hasta una galería de la mina (número 27), donde se encuentra un depósito de mineral (número 31) que los mineros cargaban a los esportones.

¹²⁰ El malacate no solo se utilizaba para la extracción de mineral, sino que era utilizado para diversas tareas como podía ser ayudar en las labores de desagüe, la introducción de herramientas a la mina e incluso el accenso y descenso de mineros, labor bastante peligrosa.

La máquina de cargar y descargar:

La máquina de cargar y descargar esta codificada con el número 26. Se emplean tonos marrones para la madera, las cuerdas y las soleras, un tono rojizo para el mineral y tonos azulados para el mecanismo manual.

Se incluyen figuras humanas y de animales, para escenificar el funcionamiento de la máquina. A la izquierda del dibujo aparece la figura de un minero accionando una manivela para subir el esportón de mineral mediante un juego de poleas y así permitir que el carruaje tirado por mulas se coloque debajo del esportón y así ser cargado. Una vez cargado el carruaje, el mineral era transportado a otras etapas del proceso productivo de la mina.

Esta máquina se utilizaba tanto para la carga de los carruajes con las sacas de mineral como para la descarga cuando fuese preciso.

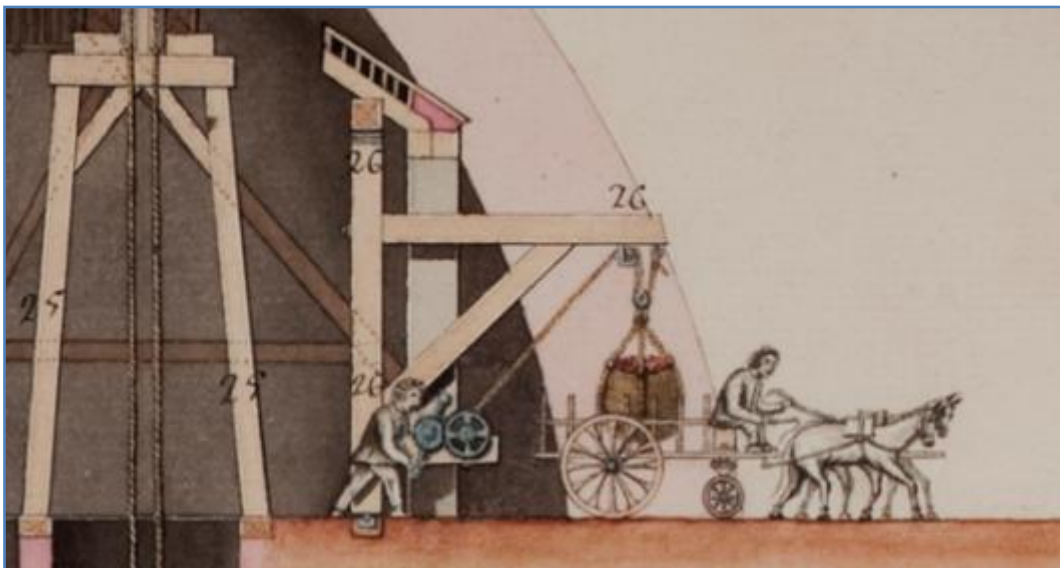


Figura 104. Detalle de la máquina de cargar y descargar del plano N° 12.

La máquina de vapor:

Se representa la máquina de vapor, un corte del edificio que la alberga, sus calderas y el cañonaje que descende por el pozo para la extracción del agua. El patrón de colores empleado se ajusta al del periodo de estudio con tonos marrones para la madera, azulados para las piezas metálicas, tonos azules verdosos para el agua, el carmín para los muros seccionados y la utilización de las sombras para dar la sensación de volumen.

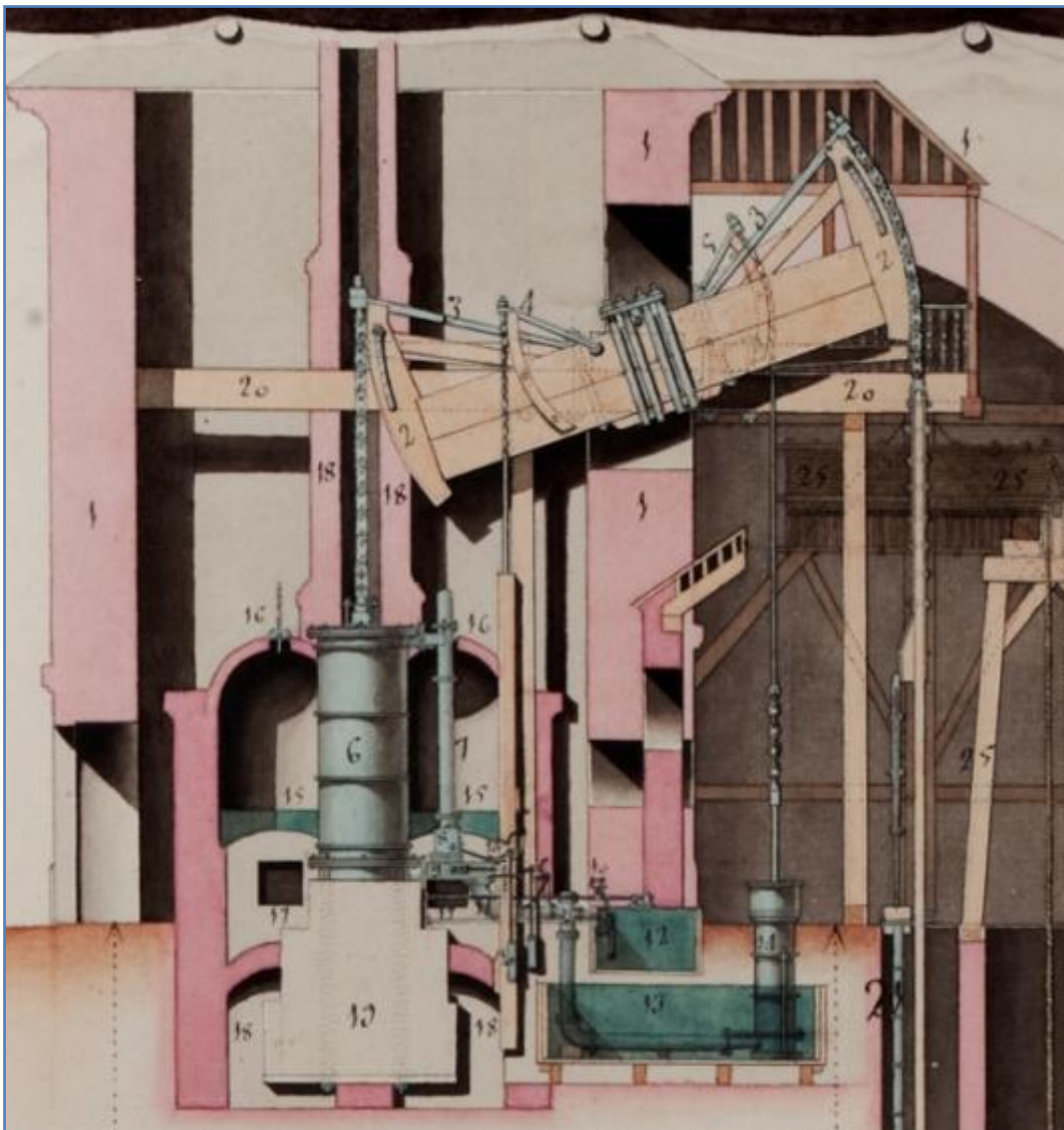


Figura 105. Detalle de la máquina de vapor del plano Nº 12.

Es la parte del dibujo donde mejor se aprecia que la iluminación utilizada va de izquierda a derecha con una inclinación de 45°.

Para destacar la separación de los edificios y el suelo utilizan una franja de color anaranjado intenso que progresivamente se va difuminando con el resto del dibujo y conseguir ese efecto de tridimensionalidad, tan típico de los dibujos lavados al agua. Este efecto también se ve en los bordes del pozo y de las galerías.

Se describen los elementos de acuerdo a su numeración de menor a mayor.

El número 1 identifica las paredes del edificio donde se alberga la máquina de vapor.

El número 2 se refiere al enorme balancín de la máquina, con un tamaño de unos 9 metros.

Los números 3, 4 y 5 representan el juego de barras y cadenas que unidos al balancín están enganchados al pistón de la máquina, a las bombas de desagüe y a la bomba del condensador. Todo este mecanismo comienza cuando el pistón por el empuje del vapor transmite el movimiento al balancín que a su vez por el sistema de barras y cadenas genera el movimiento continuo para el correcto funcionamiento de la máquina.

El número 6, es el cilindro con un diámetro de 1,50 metros y un recorrido de 3,20 metros.

El número 7 hace referencia a la tubería por la que se escapa el vapor después del descenso y que en su camino se encuentra con el juego de válvulas 8 y 9 que son las que abren o cierran el paso al vapor en función del movimiento del pistón. Estas válvulas son accionadas por el mecanismo marcado con el número 10 para que finalmente el vapor escape por la tubería número 11.

El número 12 es un depósito de agua fría que sirve para enfriar la tubería por la que escapa el vapor y facilita su condensación. El número 13 identifica a otra balsa de agua por la que circulan las tuberías con el vapor residual y favorecer la condensación. Después la condensación la bomba, 14, recoge el agua de las tuberías y se repite el ciclo.

Las calderas están identificadas con el número 15. Están dibujadas con detalle y se puede apreciar incluso como en su interior se ha representado una cierta cantidad de agua. El plano se pueden observar diferentes partes de la caldera, como son: la válvula de seguridad con el número 16, las puertas por donde se prenden las con el número 17; con el número 18 se ven los ceniceros justo debajo de las puertas (17) y las paredes de la chimenea de la caldera.

Con el número 19, se identifica la bancada donde está apoyado el cilindro de la máquina de vapor.

El número 20, identifica una viga de madera sobre la que se sujeta el balancín mediante un eje que le permita realizar su movimiento.

Con el número 21 aparece una bomba junto con su cañonaje que desciende hasta el socavón de la mina (número 24), con objeto recoger la cantidad de agua necesaria para la condensación y la alimentación de las calderas. La profundidad a la que desciende esta bomba está acotada con un valor de 53 varas castellanas, equivalente a unos 44 metros aproximadamente.

Otra bomba que se utiliza para extraer el agua de la mina hasta la altura del socavón, está numerada con el 22, y llega hasta el recipiente del 4º piso (número 23) a una profundidad de 114,5 varas castellanas, equivalente a 95 metros de profundidad. Se puede deducir de este dato que cuando se dibujó el plano, en el año 1804, estaba próxima la modificación a la máquina para que alcanzase a la extracción del agua del 5º piso a unas 205 varas castellanas. Por último, indicar que el cañonaje de las bombas de la máquina desciende por un boquete anexo al pozo principal señalado con el número 29.

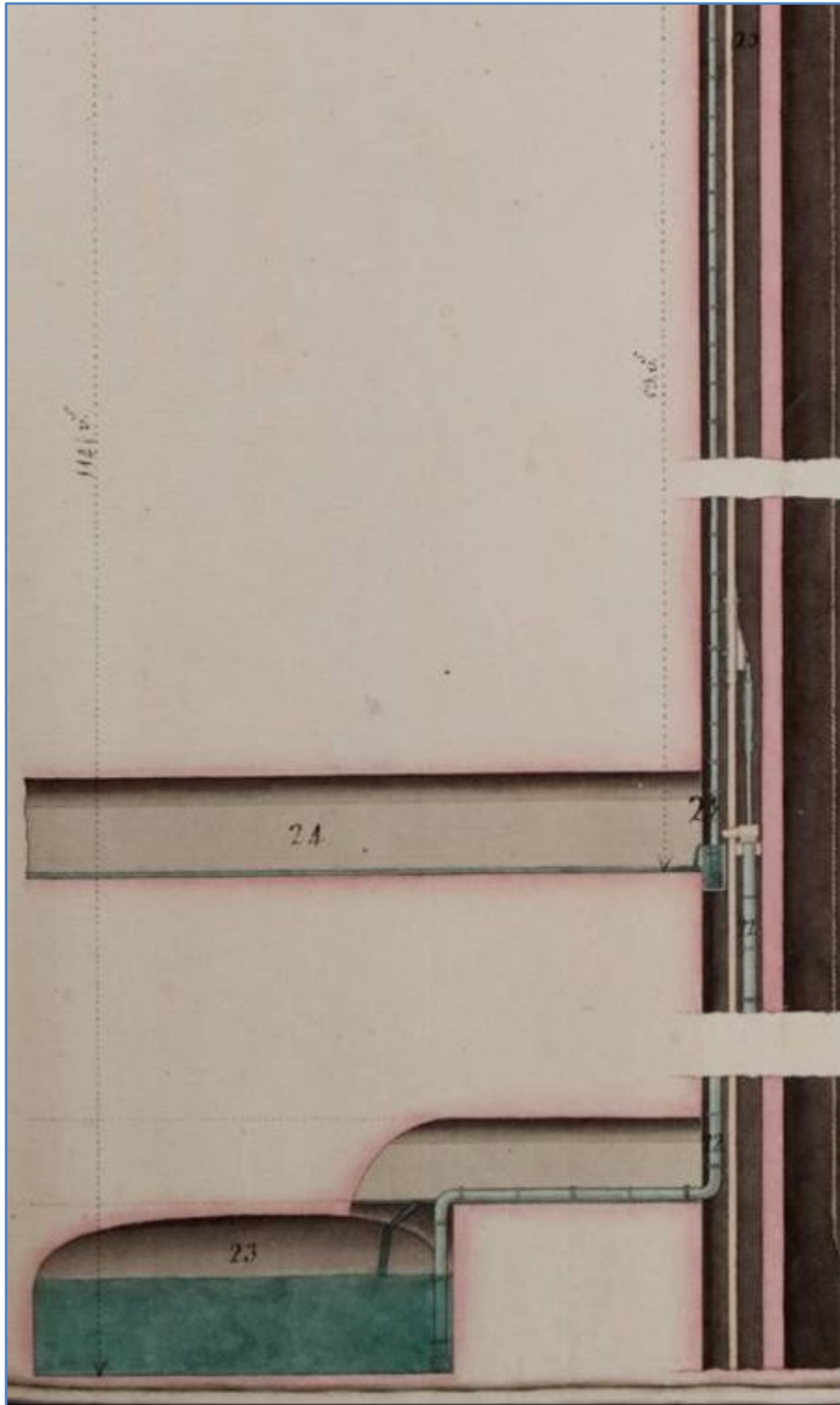


Figura 106. Detalle del cañonaje de las bombas de desagüe del plano N° 12.

Descripción de la máquina de vapor:

Descritos los diferentes elementos que componen el plano, y con la base del conocimiento tecnológico de las máquinas de principios del siglo XIX, podemos inferir el ciclo de funcionamiento de la primera máquina de vapor en la Mina de Almadén.

El ciclo se inicia con la generación de vapor en las calderas (15). El vapor fluye a través de las tuberías hasta el cilindro (6) por su parte superior. Una vez dentro del cilindro, el vapor empuja al pistón y produce su movimiento de vaivén ascendente – descendente alterno. Cuando llega al final de su recorrido, se abre una válvula (9) que lo deja escapar y circula por las tuberías (11) hasta el condensador (14) donde termina de enfriarse. El balancín (2) está conectado al pistón por un extremo y en su otro extremo tiene colgado un contrapeso para favorecer la ascensión del pistón, favoreciendo el movimiento de vaivén continuo del pistón.

El cilindro aparece cerrado por su parte superior, a diferencia de las máquinas atmosféricas de Newcomen. Dispone también de una tubería (11), a través de la que fluye el vapor al final del ciclo, hasta su condensación fuera del cilindro a diferencia de las máquinas de Newcomen en las que la condensación se producía en su interior. El vapor, una vez condensado, vuelve a la caldera para volver a iniciarse el ciclo de vapor.

Por estos detalles se puede asegurar que se trataba de una máquina de Watt, y por la ausencia de una rueda de inercia y un regulador de apertura de las válvulas, es del primer modelo desarrollado.

Si el balancín está conectado por un extremo al pistón y por el lado opuesto a un contrapeso, dispone además de un guionaje o cadenas (3), para accionar las bombas y extraer el agua del interior de la mina. En el momento del plano el agua se extraía desde el depósito del 4º piso hasta el socavón, y desde el socavón se subía la cantidad de agua necesaria para la condensación del vapor y para alimentar a las calderas.

En la zona media del balancín existían dos tiradores, uno de ellos encargado del accionamiento de apertura y cierre de las válvulas que dan paso al vapor (4), y el segundo que acciona la bomba encargada de transportar el vapor condensado nuevamente hacia las calderas (5).



Figura 108. 3D 1ª Máquina de Vapor de Minas de Almadén. (Leyenda en Tabla-24)
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

7.1.3.-Plano de las calderas de la primera máquina de vapor del pozo de San Teodoro.

Tipo Documento:	Dibujos, planos
Procedencia:	Fundación Francisco Javier Villegas. Almadén
Referencia:	P-05429, Cajón Nº 18
Título:	Plan, Perfil y Cortes de las Calderas de la Máquina de Vapor
Autor:	Vicente Romero
Lugar y Fecha:	Almadén. 1830
Descripción Física:	Papel cartón de 816,1 mm de anchura por 556,8 mm de altura, en mal estado de conservación
Descripción:	Plano de las calderas de la primera máquina de vapor, enviado por la Escuela de Ingenieros de Minas a una exposición científica celebrada en Londres en 1876 ¹²¹
Delineación:	Dibujo lavado al agua
Contenido Plano:	Título del plano
	Año de realización
	Escala gráfica
	Vistas y secciones detalladas

Tabla 25. Ficha del plano de las calderas de la máquina de vapor P-05439.
Fuente: Elaboración Propia.

Visión general del plano:

El plano muestra una batería de dos calderas dentro de un edificio, destinadas a la generación de vapor.

De la representación se deducen con claridad las dimensiones y la geometría de las calderas y del edificio. Dentro de él se distinguen de forma clara los diferentes componentes del conjunto, lo que facilita entender su funcionamiento.

¹²¹ Revista Minera. Número 27. Página 114. Año 1876

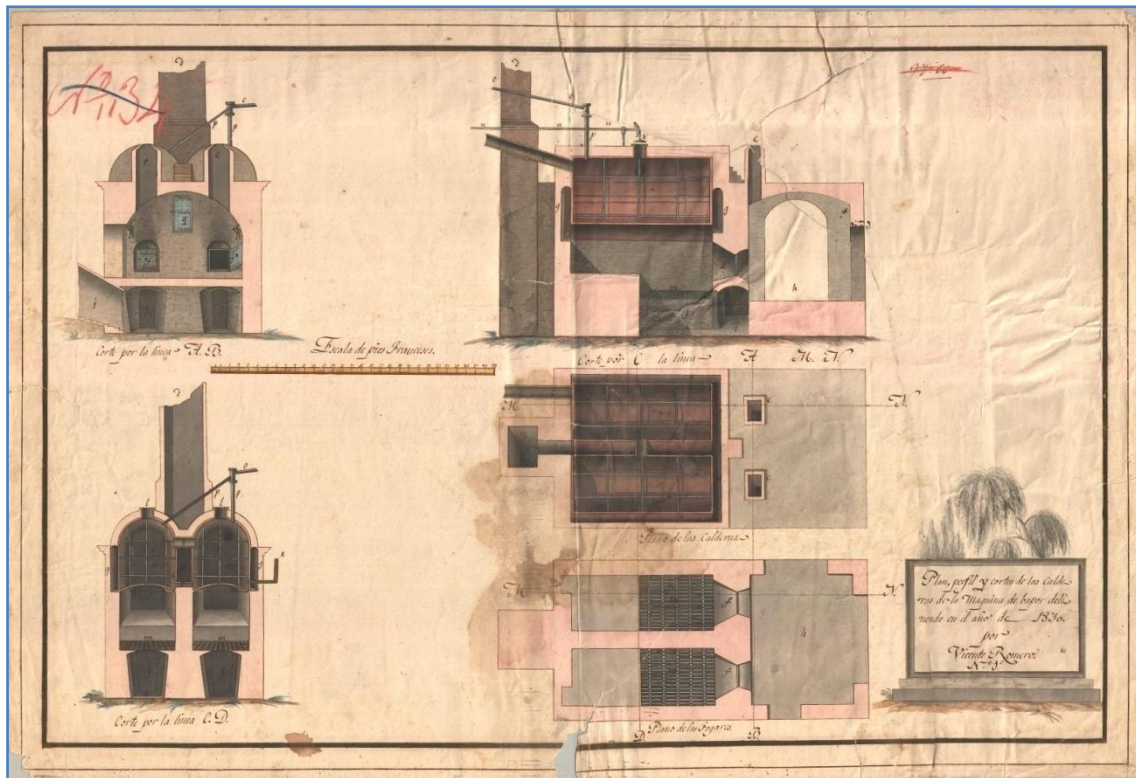


Figura 109. Plan, perfil y corte de las calderas de la máquina de vapor. Plano P-05429.
Fuente: (Romero, 1830)

El sistema de representación utilizado es el sistema diédrico. Las vistas que aparecen realmente no son vistas en el mismo sentido que se entienden ahora, son en realidad la representación de diferentes cortes del edificio. Estos son dos plantas, un alzado en sección y dos perfiles derechos en sección.

Si dividimos el plano para su estudio en cuatro zonas, en el cuadrante inferior derecha están dibujados los dos cortes en planta a diferentes alturas, donde están marcadas las líneas de corte del resto de las vistas representadas.

En el cuadrante superior derecho, sobre las plantas, aparece el corte por la línea MN en alzado.

En los cuadrantes de la izquierda se representan dos cortes en la vista de perfil por las líneas AB y CD que aparecen identificadas en las vistas en planta.

Se ha empleado como técnica de representación el dibujo lavado al agua. Estos planos se realizaban mediante la aplicación de sucesivas capas transparentes de tinta aguada aplicadas con pincel, las cuales se superponían construyendo formas, volúmenes y texturas. (Zulueta Pérez, 2007)

Marco:

El dibujo del marco está compuesto por una doble línea, una exterior de color negro con un grosor de 1 mm y separada del borde del papel 10 mm y otra línea interior a 15mm. La línea interior es de color negro y tiene un grosor de 3,5 mm.

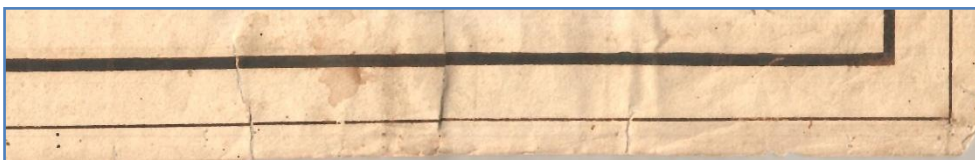


Figura 110. Detalle del marco del plano P-05429

Cajetín:

El cajetín pretende dar la sensación de encontrarse dentro de un pedestal de piedra apoyado en el suelo. Para conseguir este efecto dibuja el suelo de diferente color al pedestal. El borde del cajetín es de color gris oscuro con un grosor de 4 mm y por fuera tiene otro borde de color gris claro de grosor 1 mm que forma parte del pedestal.

Por la parte de encima del cajetín aparecen representado dos árboles, dibujados con escala de grises con motivo de decoración.

La dimensión del cajetín es de 130 mm de ancho y 86 mm de alto; y en su interior se ha escrito el título del plano, el autor del plano, la fecha y el número de plano.

Todo el conjunto del cajetín ocupa un espacio de 166 mm de anchura por 176 mm de altura.

El título que aparece escrito es “*Plan, perfil y cortes de las calderas de la máquina de vapor*”, y su tipografía tiene para las letras minúsculas una altura de 4 mm y para las mayúsculas una altura de 9 mm.

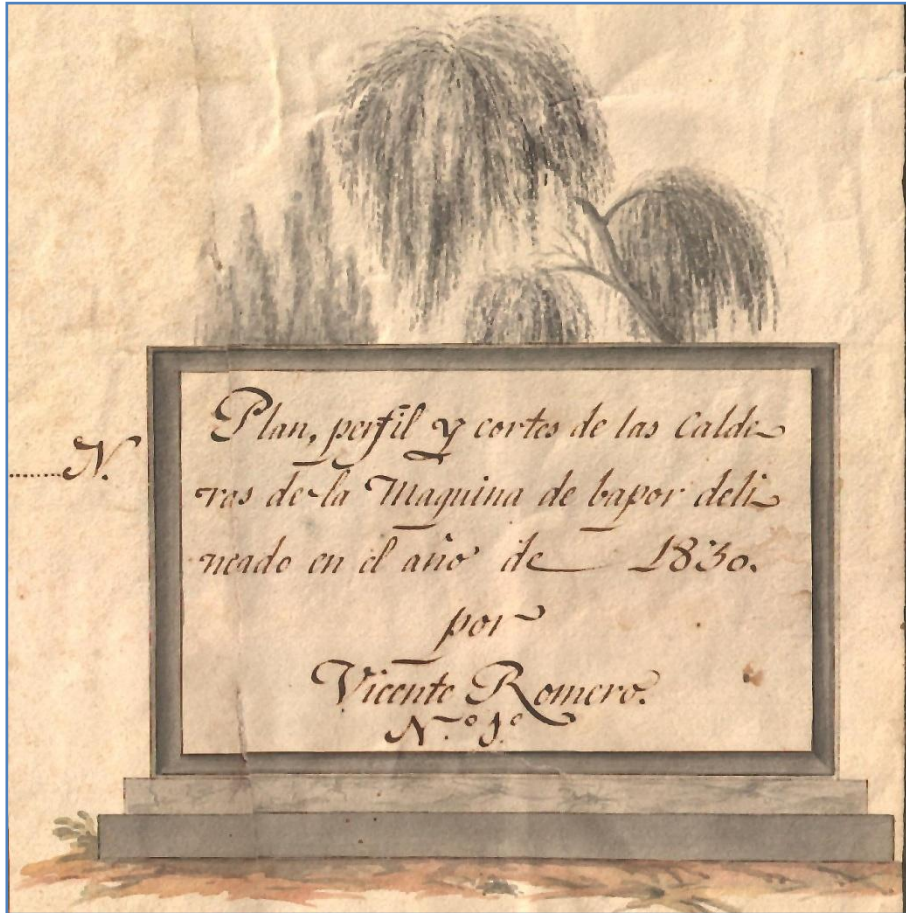


Figura 111. Cajetín del plano P-05429.

Para identificar la fecha y el autor dice lo siguiente: “(...) *delineado en el año de 1830 por Vicente Romero*”. Los números tienen una altura de 7 mm, salvo el 0 que tiene una altura de 3 mm. El nombre del autor sigue la misma regla de escritura que el título.

Por último, el número del plano es el N^o 1, texto escrito en mayúscula con una altura de carácter de 7mm.

Escala:

Incorpora una escala gráfica en pies franceses graduada de 0 a 29 pies lo que nos permite medir directamente sobre el plano. La graduación es de 1 en 1 unidad, y además a la izquierda del 0, hay una unidad de pie francés dividida en cuatro partes iguales de 0,25 pies franceses como contraescala para poder medir los decimales.

Sobre la barra graduada aparecen las palabras “*Escala de pies franceses*”, con una altura de letra de 12 mm para las mayúsculas y 4 mm para las minúsculas.

La escala está colocada prácticamente en el centro del plano, entre las representaciones de la caldera, y ocupa un espacio de 205 mm de anchura por 30 mm de altura.

Según esta escala 1 pie francés queda representado en el plano por un segmento de longitud 7 mm lo que permite calcular la escala numérica del plano, que es de 1:46.

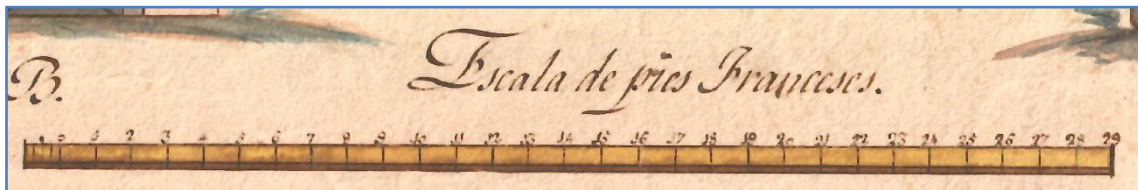


Figura 112. Escala gráfica del plano P-05429.

Leyenda:

No se puede decir que exista una leyenda explicativa, aunque el plano contiene texto escrito aclaratorio. Debajo de cada sección aparece un texto explicativo que informa sobre el plano empleado para la sección, así por ejemplo aparece: “*Corte por la línea AB*”; lo que hace referencia a las líneas de puntos por donde se ha realizado el corte para dibujar la sección.

Aparece una codificación alfabética identificando cada una de los componentes de las calderas, y aunque la leyenda no aparece se ha podido crear una propia que se incluye a continuación, fruto del análisis del plano y del conocimiento de las calderas de vapor.

LEYENDA PLANO P-05429	
CODIGO	DESCRIPCIÓN
a	Caldera
b	Conducto paso del vapor entre calderas
c	Conducto salida del vapor hacia el cilindro de la máquina de vapor
d	Chimenea principal
e	Chimeneas secundarias
f	Hogar (zona donde se produce el fuego)
g	Cámara de aire por la que circulan los humos para el recalentamiento de la caldera
h	Espacio de trabajo para los encargados de alimentar el fuego
i	Entrada a los ceniceros
j	Ceniceros
l	Válvula de seguridad
k, n	Sistema contrapeso de la válvula de seguridad
m	Emparrillado para colocar el combustible
o, p	Tuberías entrada de agua a las calderas
q	Puerta de acceso, para mantenimiento y limpieza
x	Rebosadero o indicador del nivel del agua
y	Conducto paso de agua entre calderas
z	Hueco en el hogar por el que escapan los humos hacia la cámara de recalentamiento

Tabla 26. Leyenda del plano P-05429. Fuente: Elaboración propia.

Sección en planta:

Incluye dos vistas que corresponden a dos cortes en planta a diferente altura, uno de ellos para representar la planta de las calderas y el otro para representar la planta de los hogares¹²² de la caldera.

Aparecen dibujadas las líneas por las que se efectúan los cortes que se representan en el resto de las vistas del edificio. Estas líneas están dibujadas con una línea discontinua de puntos, que empiezan y terminan con una letra mayúscula de 8 mm de altura que sirven como identificadores.

La representación de los hogares permite ver que el edificio es de planta rectangular con unas dimensiones de 10,54 metros de longitud por 5,39 metros de anchura y una superficie de 56,81 m², sin contar con la chimenea principal.

En la parte inferior de la sección aparece escrito un texto informativo sobre lo que se está representando, en este caso: "*Plano de los hogares*", escrito con una letra de altura 3 mm para las minúsculas y 7 mm para la mayúscula.

El leyenda de colores utilizada se adapta al siguiente esquema: los muros de mampostería que son cortados están representados en color rosáceo, y en gris la mampostería que no es cortada, variando de gris oscuro a gris claro en función de la proximidad con la línea de corte, siendo el oscuro el que está más próximo y el claro el más lejano. Emplea los colores azules para las partes metálicas.

En el plano aparecen unas letras identificadoras sin leyenda explicativa alguna, con una altura de trazado de 7 mm. Hemos deducido el significado de estas letras tras el estudio de la tipología de este modelo de calderas, siendo este el que se muestra a continuación:

h, corresponde a una antesala del edificio, que sirve para almacenar algo de combustible y por la que los operarios tienen acceso a los hogares para su carga (carbón, madera de pino o retama).

¹²² Zona donde se producía la combustión del combustible (fuego), para calentar la caldera y producir vapor.

f, señala las puertas de acceso de los hogares, coloreadas en azul (tinta china) nos dice que son metálicas.

m, es la rejilla o malla metálica que servía para permitir eliminar la ceniza del hogar, además de dar entrada al aire necesario para la combustión. El aire entraba desde abajo hacia arriba (efecto chimenea), favoreciendo la combustión y el recorrido de los humos hacia las cámaras de gases y posteriormente a la chimenea. Las dimensiones de esta rejilla son 2,46 metros de largo por 1,90 m de ancho, prácticamente la mitad de la dimensión del hogar.

La representación de las vistas de los cortes se ajusta al actual sistema europeo de representación. Para la sección en alzado, su levantamiento se construye trasladando los puntos desde la sección desde abajo hacia arriba, de ahí que este dibujada justo encima de la planta. Para las secciones en el perfil, se construyen mirando de derecha hacia izquierda, y trasladando los puntos de la sección a la izquierda, lo que explica que ambas estén dibujadas a la izquierda de la planta.

Como en el plano de los hogares, el plano de calderas también incluye un texto informativo: "*Plano de calderas*", siguiendo la misma regla de escritura.

La leyenda de colores utilizados es la misma que en el plano de los hogares, salvo que en este plano se utiliza una línea de color rojo, que sirve para delimitar el contorno de la caldera en el plano y un tono rojizo para el resto de la caldera.

La letra *e*, representa las chimeneas ubicadas justo encima de la antesala (*h*), para favorecer la ventilación de esta de los humos que escapan del hogar cuando se procede a alimentarlo. Las dimensiones de estas dos chimeneas son de 0,69 m de ancho por 0,93 m largo. Con la letra *d*, se representa la chimenea principal por donde salen los humos de los hogares. La dimensión de esta chimenea es de 0,93 m de ancho por 1,39 m de largo. En las tres chimeneas se utilizan la técnica del sombreado para dotarlas de profundidad y sensación tridimensional.

Las calderas aparecen identificadas con la letra *a*, con unas dimensiones de 4,65 m de longitud por 1,86 m de anchura. En el interior de la caldera aparece representada una cuadrícula en color azul, que se corresponde con los rigidizadores o refuerzos estructurales de la piel de la

caldera. En el dibujo se puede apreciar como el paso del vapor de una caldera a la otra se efectúa a través del tubo, *b*, y de esta segunda caldera el vapor llega a la máquina de vapor mediante la conducción, *c*.

Rodeando las calderas, se encuentra la cámara de gases, *g*, que además de servir para calentar la caldera con los humos de los hogares también conecta con la chimenea principal para dar salida al exterior a los mismos humos que sirven para producir el vapor de agua.

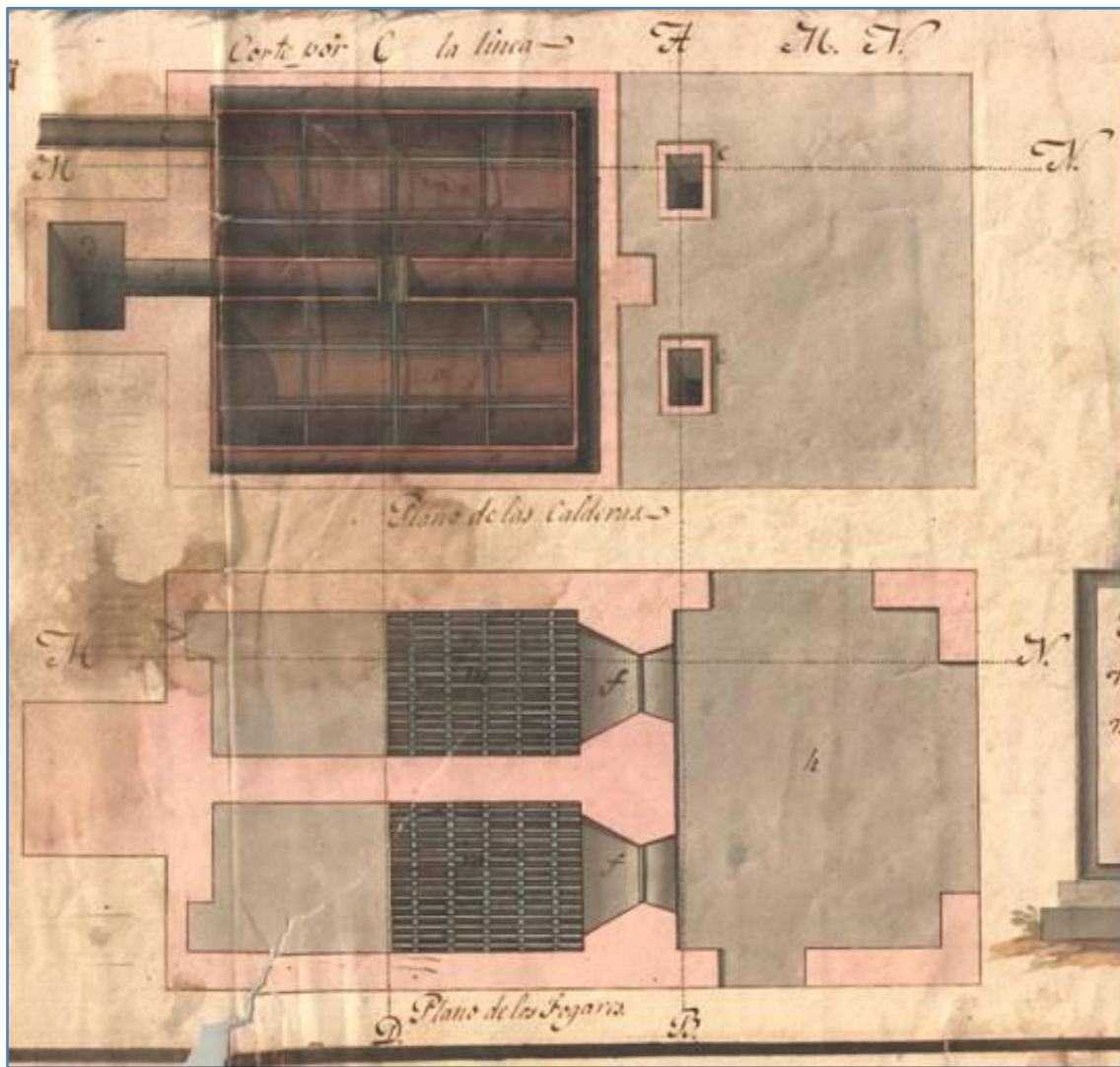


Figura 113. Sección en planta del plano P-05429

Sección M-N:

Se corresponde con la vista en alzado de la sección MN. En la parte inferior del alzado encontramos el texto explicativo: “*Corte por la línea → MN*”; En cuanto al tamaño del texto ha utilizado el mismo que para el título de los planos de planta, excepto para las letras MN que son de 8 mm. En este título se puede apreciar que se ha dejado unos espacios en blanco para la colocación de las letras de los ejes de corte de la representación en planta.

En este alzado podemos ver la altura del edificio y de sus componentes como del hogar, la caldera, la antesala, la chimenea, todos ellos identificados con una letra.

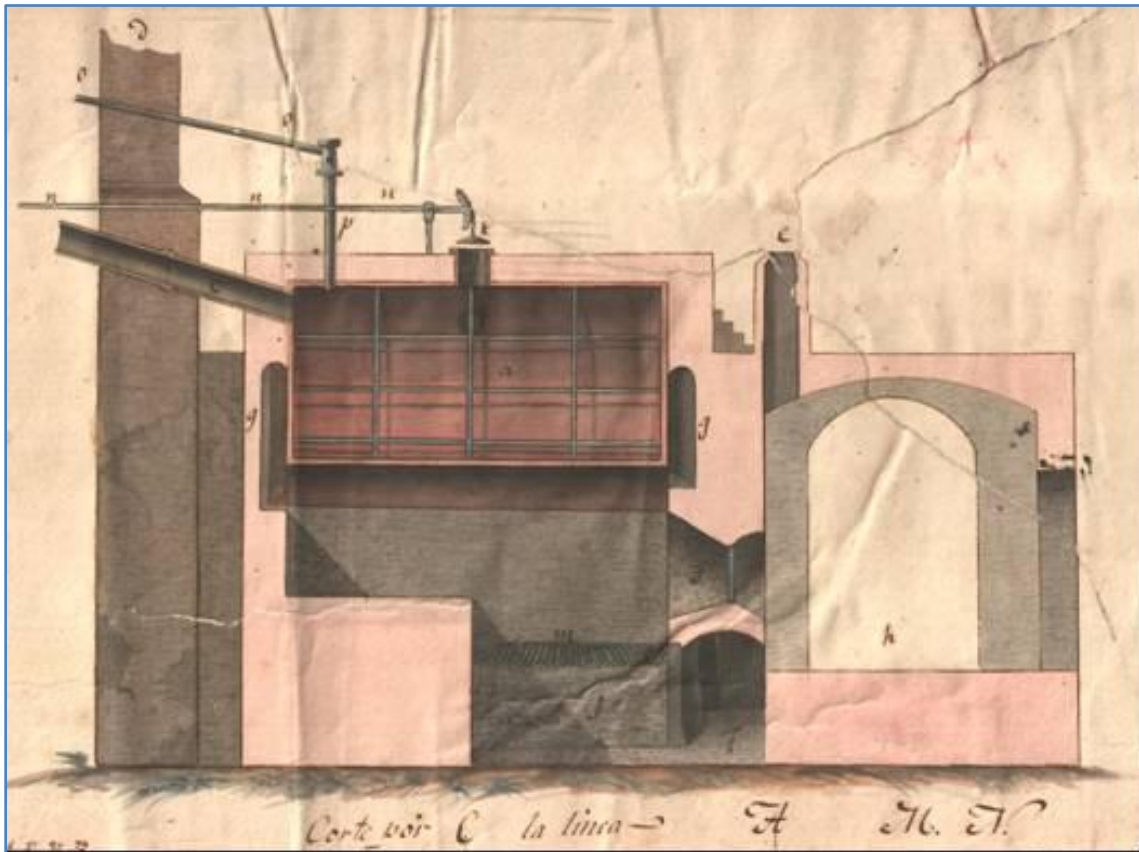


Figura 114. Sección M-N del plano P-05429.

La leyenda de colores sigue siendo la misma con la aparición de tonos nuevos para diferenciar la tubería de salida del vapor, *c*, y la válvula de seguridad, *l*. Aparece un color oscuro nuevo para diferenciar dos elementos que no debían haberse representado, pues quedan fuera de la línea de corte MN, pero que con ellos se facilita la compresión de las calderas. Estos elementos son la chimenea principal, a la izquierda del alzado y unas escaleras de acceso ubicada entre la cubierta de la antesala, *h* y la cubierta de las calderas.

La iluminación, vuelve a ser natural de izquierda a derecha con una inclinación de 45° como se aprecia con las sombras representadas, dotando al conjunto de una sensación de tridimensionalidad.

La información que nos aporta este alzado es la siguiente: la antesala, *h*, tiene una altura libre de 3,62 metros y su techo tiene forma de bóveda con una cubierta plana. Las puertas de acceso además de ser de diferentes alturas rematan su parte superior en forma de arco. Las chimeneas, *e*, tienen una altura libre de 1,25 metros.

La altura total del edificio desde el suelo hasta la cubierta plana, sin contar la parte alta de las calderas, es de 5,10 metros y si contamos las calderas es de 6,35 metros.

Otro elemento son las salas, *j*, en la que caen las cenizas del hogar por acción de la gravedad a través de la rejilla, *m*, y para acceder a su limpieza se hace por la entrada, *i*, que nos lleva hasta un pasillo donde se encuentran las puertas de acceso a las salas, *j*. Estas salas están a un nivel inferior que el suelo de la antesala, *h*, conformando lo que sería el sótano del edificio.

La cámara de gases, *g*, utilizada para calentar el agua, recorre toda la parte inferior de la caldera y alcanza la mitad de altura de sus paredes lo que nos hace pensar que la caldera se llenaba de agua hasta esa altura y el resto del espacio estaba reservado para el vapor.

En lo que respecta a la caldera, *a*, tiene una altura de 2,32 m, lo que permite calcular su cubicación junto con las medidas obtenidas del plano de planta, su volumen es de 20 metros cúbicos.

En su parte superior existen unas válvulas de seguridad o de escape, *l*, sobre la cual se colocaba un peso determinado para definir la presión de trabajo de la caldera. Sobre la válvula de seguridad existe una tapadera *k*, sobre la que se coloca el peso de trabajo, la cual se conecta mediante un balancín *m*, que a su vez realiza la función de contrapeso para asegurar la apertura de la válvula en caso de sobrepasar la presión establecida.

También a esta parte superior llegan el conjunto de tuberías *o*, *p*, que son las encargadas de introducir agua en las calderas.

Sección A-B:

En la parte inferior del alzado encontramos el texto identificativo: “Corte por la línea → *AB*”; empleando el mismo tamaño para el texto que el empleado en los alzados y planta.

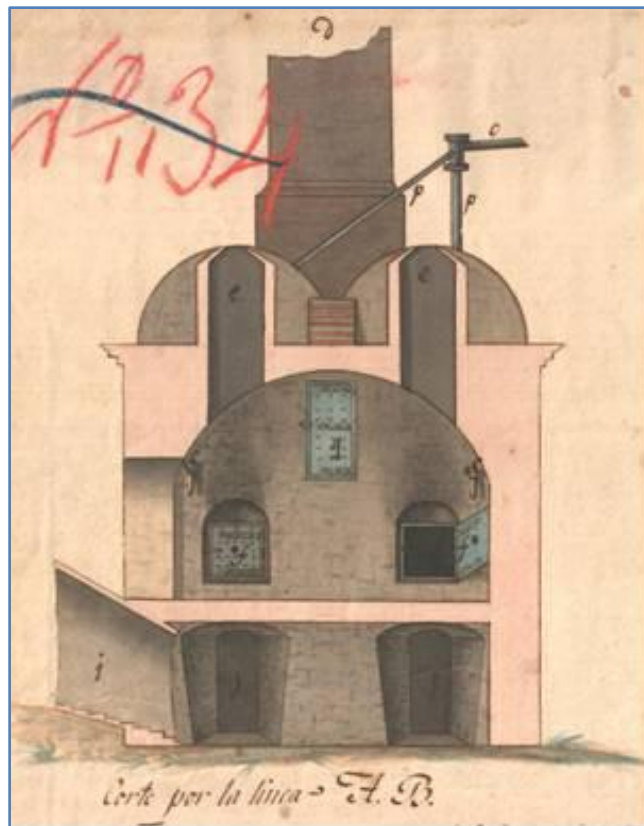


Figura 115. Sección A-B del plano P-05429

La leyenda de colores e iluminación empleados son los mismos que en el resto de las vistas.

La información que aporta esta vista permite ver que las calderas tienen una forma circular en su parte superior y no rectangular. Por otra parte se puede comprobar que tienen un recubrimiento de mampostería y entre las dos está ubicada la escalera de acceso a su parte superior, desde el techo de la antesala. El edificio cuenta con una cornisa en forma de escalones a modo de decoración.

En este corte, además de las dos puertas f de los hogares, aparece dibujada una tercera puerta, q , que da acceso a los conductos de humos, g . Se aprecia la entrada i bajo los hogares a las salas, j , donde se recoge las cenizas de la combustión. Este acceso tiene una pendiente de unos 20° formada por unos escalones.

Sección C-D:

En esta vista se representa una sección de las calderas con el texto identificativo "*Corte por la línea $\rightarrow CD$* ", con el mismo tamaño y tipo de letra que en el resto de las vistas. Se mantienen las leyendas de colores e iluminación.

En este corte la sección es aproximadamente por la mitad del hogar y perpendicular a su eje longitudinal. Los nuevos datos que nos aporta son que las calderas además de estar conectadas entre sí por el conducto b , que sirve para conducir el vapor, hay otra conexión en la parte inferior de ambas que sirve para que el agua circule por ella, y .

Al igual que en las otras secciones también están representadas las tuberías que se utilizan para el llenado de agua de la caldera, o , p . A diferencia del resto en esta sección está representado el sistema de rebosadero, x , que utilizaban para marcar el nivel máximo de llenado. Además este rebosadero servía para avisar cuando la caldera se estaba quedando sin agua, pues con un nivel mínimo de agua comenzaba a escaparse el vapor por dicha tubería, indicando así que era necesario rellenar la caldera de agua.

Descripción del funcionamiento de las calderas:

Interpretados e identificados los diferentes componentes de la caldera de Watt, se va a explicar su funcionamiento.

El ciclo comenzaba con el llenado de las calderas con agua hasta el nivel suficiente que permitiese generar el volumen de vapor necesario sin que se produjesen pérdidas y un mal funcionamiento de la máquina. La alimentación del agua se realizaba por dos vías, la primera procedente de la porción recuperada de la mina por el propio desagüe de la máquina y la segunda directamente de los depósitos anexos.

Se cargaba a continuación el hogar con el combustible. El carbón, el menos de las veces, madera o retama se colocaba sobre unas parrillas situadas en la sala inferior bajo las calderas. En esta misma sala se depositaban las cenizas y a la vez se producía la entrada del aire para la combustión en sentido de abajo hacia arriba.

El calor de la combustión y de los gases calientes generados se transmitía a la caldera calentando el agua de su interior hasta alcanzar la temperatura de ebullición y su cambio de estado líquido a vapor.

El calentamiento en este tipo de caldera se producía bien mediante el contacto directo del fuego por la parte inferior, o bien mediante los gases y humos que se producían durante la combustión que recorrían unas cámaras adosadas a la propia caldera cediendo parte de su calor latente, ayudando a mantener la temperatura en su interior antes de escapar por la chimenea.

El vapor generado se enviaba a través de unas tuberías, de mayor sección que las de alimentación de la caldera, hasta llegar al cilindro de la máquina y mover el pistón ubicado en su interior, transmitiendo este movimiento al balancín y resto de los componentes de la máquina.

Las calderas estaban equipadas con unas válvulas de seguridad en su parte superior que permitían la salida al vapor en caso de un aumento excesivo de la presión en el interior de la caldera y que permitían su regulación.



Figura 117. Esquema caldera de la máquina de vapor en 3D. (Leyenda Tabla-26)
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

7.2.-Reconstrucción virtual de la primera máquina de vapor del pozo de San Teodoro.

7.2.1.-Introducción y metodología de trabajo.

En los últimos años la recuperación y puesta en valor de los elementos que conforman el pasado histórico industrial ha experimentado un gran auge y está ayudando a preservar éste del olvido y destrucción. Lamentablemente, a pesar de estas iniciativas, en algunos casos se ha llegado tarde y de algunos elementos patrimoniales queda solo el recuerdo. En épocas pasadas la falta de conciencia sobre la historia de la ciencia y la tecnología ha llevado a que se hayan destruido verdaderas obras de arte y conjuntos patrimoniales de elevado valor, bien por la necesidad de espacios o por el ruinoso estado en que se encontraban que ha obligado a su demolición por condiciones de seguridad, y en muchos de ellos sin que hayan quedado documentos. En otros casos un poco más afortunados, aunque se haya perdido físicamente el elemento patrimonial, existe suficiente información como para poder realizar una recuperación virtual de estos.

La primera máquina de vapor de Minas de Almadén podría decirse que se encuentra dentro de este último caso, aunque la información que se ha conseguido recuperar no es directamente su plano de construcción, con la documentación recabada se considera suficiente como para efectuar la recuperación virtual de este conjunto mecánico.

Como herramientas de trabajo se van a emplear los programas de diseño gráfico y realidad virtual, en los que iremos construyendo nuestro modelo e implementando toda la información técnica e histórica.

La metodología de trabajo que se va a emplear va a seguir los siguientes pasos:

1. Recopilación de datos. Análisis, valoración y selección de la información.
2. Análisis constructivo. Estudio de materiales, texturas.
3. Selección de software.
4. Modelado. En primer lugar en 2D y después en 3D.
5. Aplicación de materiales y texturas.
6. Estudio de iluminación y sombras.
7. Renderizado.
8. Retoque fotográfico.
9. Estudio de resultados.

7.2.2.-Datos de partida.

En la fase de recopilación se han estudiado diversos planos y fuentes documentales que se relacionan en la bibliografía de esta tesis. Resultado del análisis de estos planos se ha realizado una selección de planos a partir de los que se ha considerado que aportan la suficiente información para construir el modelo tridimensional de la primera máquina de vapor. Estos planos son:

- a. Plano en planta del edificio de la máquina de vapor y del baritel. (Plano FCMA-1488. Fuente: (Archivo Histórico Nacional, 1798))
- b. Plano de la primera máquina de vapor, de la de cargar y descargar y del malacate del pozo de San Teodoro. (Plano N° 12, (Morete de Valera, 1803))
- c. Plano de las calderas de la primera máquina de vapor del pozo de San Teodoro. (Plano P-05429. Fuente: (Romero, 1830))

De ellos se ha obtenido la información sobre la máquina, el edificio que la alberga y el entorno que la rodea; sus dimensiones, materiales empleados, disposición en el terreno y funcionamiento.

A esta relación, que ya fue estudiada en profundidad en el apartado 6.5 de este trabajo de investigación le hemos añadido el plano del Cerco de San Teodoro de Morete de Valera, que no se ha incluido en el análisis porque va a ser utilizado más como comprobación y comparación que como dato de partida.

Tipo Documento:	Dibujos, planos
Procedencia:	Museo Nacional de Ciencia y Tecnología. Madrid
Referencia:	Nº 3
Título:	Plan del Cerco de San Teodoro
Autor:	José Morete de Valera
Lugar y Fecha:	Almadén. 1804
Descripción Física:	Papel cartón de 500 mm de anchura por 380 mm de altura, en buen estado de conservación
Descripción:	Plano en planta y alzado del Cerco de San Teodoro
Delineación:	Dibujo lavado al agua
Contenido Plano:	Titulo del plano Escala gráfica Sección de planta y alzado.

Tabla 27. Ficha del plano del Cerco de San Teodoro Nº3. Fuente: Elaboración Propia.

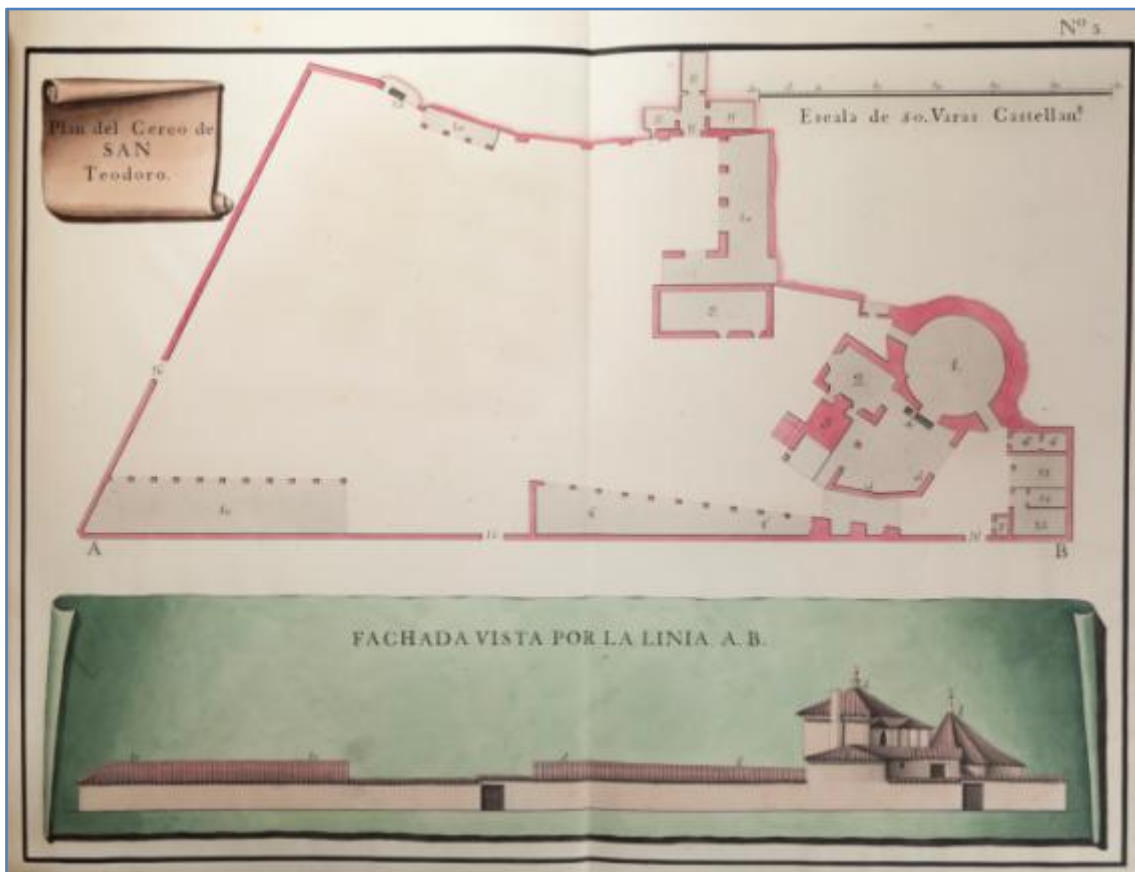


Figura 118. Plan del Cerco de San Teodoro. Plano Nº 3. Fuente: (Morete de Valera, 1803)

En la vista del alzado, podemos comparar las alturas de los diferentes elementos entre sí, a fin de mantener la misma perspectiva y escala entre los elementos representados. También se pueden apreciar la forma de las diferentes cubiertas, como la formada a ocho aguas del baritel, o la cubierta a cuatro aguas del edificio de la máquina.

Otro detalle a tener en cuenta, es el balcón con el que cuenta el edificio de la máquina, utilizado para la revisión y mantenimiento de la propia máquina de vapor. Se aprecia que tiene una cubierta a tres aguas sujeta por varios pilares, y la presencia de una barandilla alrededor del balcón para evitar la caída de los operadores.

Las texturas y colores utilizados en el alzado nos indican que la cubierta estaba formada por teja árabe, y las paredes por ladrillo encalado en blanco.

A la información que nos van a aportar los planos, hay que añadir el conocimiento que se ha adquirido a través de la investigación realizada en los campos de la tecnología minera, las técnicas de representación gráfica y la construcción de la máquina de vapor.

Para completar este apartado también se han visitado y estudiado algunos de los edificios del siglo XVIII que están todavía en pie y que presentan tipologías contractivas, materiales y acabados similares a los que se emplearían en el conjunto a representar, como son la Plaza de Toros y el Real Hospital de Mineros de San Rafael, ambos edificios en Almadén, o el baritel de San Carlos en Almadenejos.



Figura 120. Alzado del plano Nº 3.

7.2.3.-Análisis constructivo.

Para este punto, se ha empleado como referencia, además de los edificios que aún están en pie (Real Hospital de los Mineros de San Rafael y la Plaza de Toros Hexagonal de Almadén), fotografías de otros edificios y máquinas del periodo de estudio.

Para el estudio de los edificios hemos comenzado por la cimentación de estos, observándose que no se empleaban apenas las zapatas aisladas unidas con zunchos y en su lugar se utilizaban zunchos continuos sobre los que se cargaban directamente las murallas y los pilares.



Figura 121. Casa Cornish. Fuente: (Cano Sanchiz, 2010)

Los muros de los edificios que albergaban a las máquinas (tanto de la de vapor como el malacate) estaban sometidos a grandes esfuerzos ya que estos también eran elementos de anclaje. Por este motivo sus espesores eran superiores a 1,00 metro y estaban contruidos principalmente de piedra y ladrillo. Como elementos de refuerzo en algunos casos se utilizaban

contrafuertes, pero en nuestro caso no se ha observado la presencia de ellos en ninguno de los edificios.

Las cubiertas estaban construidas con teja árabe, colocadas sobre cañizo o astillas de brezo y recibidos con mortero de barro. Todo ello colocado sobre un tablado de madera apoyado sobre una estructura también de madera.

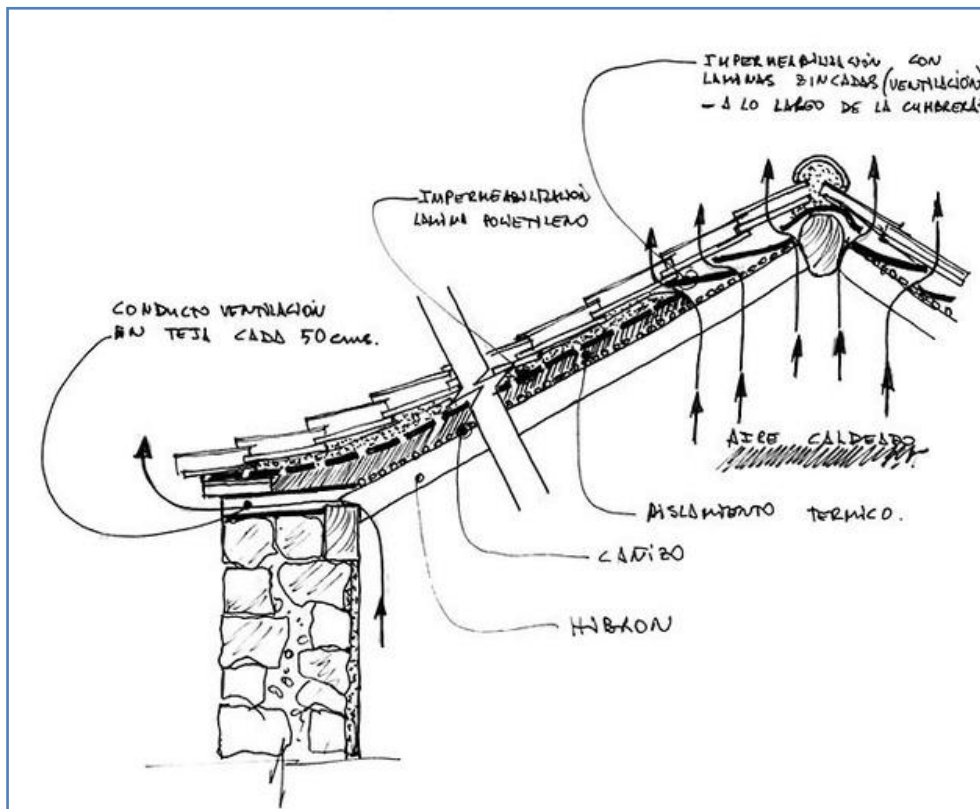


Figura 122. Esquema cubierta teja árabe sobre cañizo.
Fuente: <http://www.rinconesdelatlantico.es> 19/11/2016

En el caso de la máquina de vapor, no ha sido posible visitar ninguna similar, por lo que como única fuente de información se ha tenido la aportada por los planos y dibujos estudiados.

Los materiales empleados en su construcción eran la madera, el hierro y el cobre, y como elementos de unión se empleaban normalmente la tornillería, abrazaderas, cadenas y remaches.

Así por ejemplo podemos comprobar que en el caso del cilindro las uniones entre sus partes estaban realizadas con tornillería. Éste tenía en su parte superior una guía para el pistón y en la parte inferior iba fijado a una bancada reforzada para soportar su peso y nivelada para afianzar la posición.



Figura 123. Cilindro máquina de vapor de James Watt.
Fuente: <http://technology.niagarac.on.ca> 20/01/2017

El balancín, de un gran tamaño, estaba formado por varias piezas de madera, probablemente unidas mediante la técnica de machihembrado encolado, ayudado de tornillería, y abrazaderas de hierro para asegurar las uniones.

Los diferentes elementos que también van fijados al balancín, como las guías del cilindro o de las bombas, o el contrapeso, se unen mediante cadenas fijadas a ambas partes. Como eje de balanceo, se utiliza un redondo de hierro colocado en la mitad del balancín y en su parte superior, asegurado mediante varias abrazaderas de hierro.



Figura 124. Balancín de madera de la máquina de vapor de Watt en el museo de Londres.
Fuente: <http://advrider.com> 20/01/2017

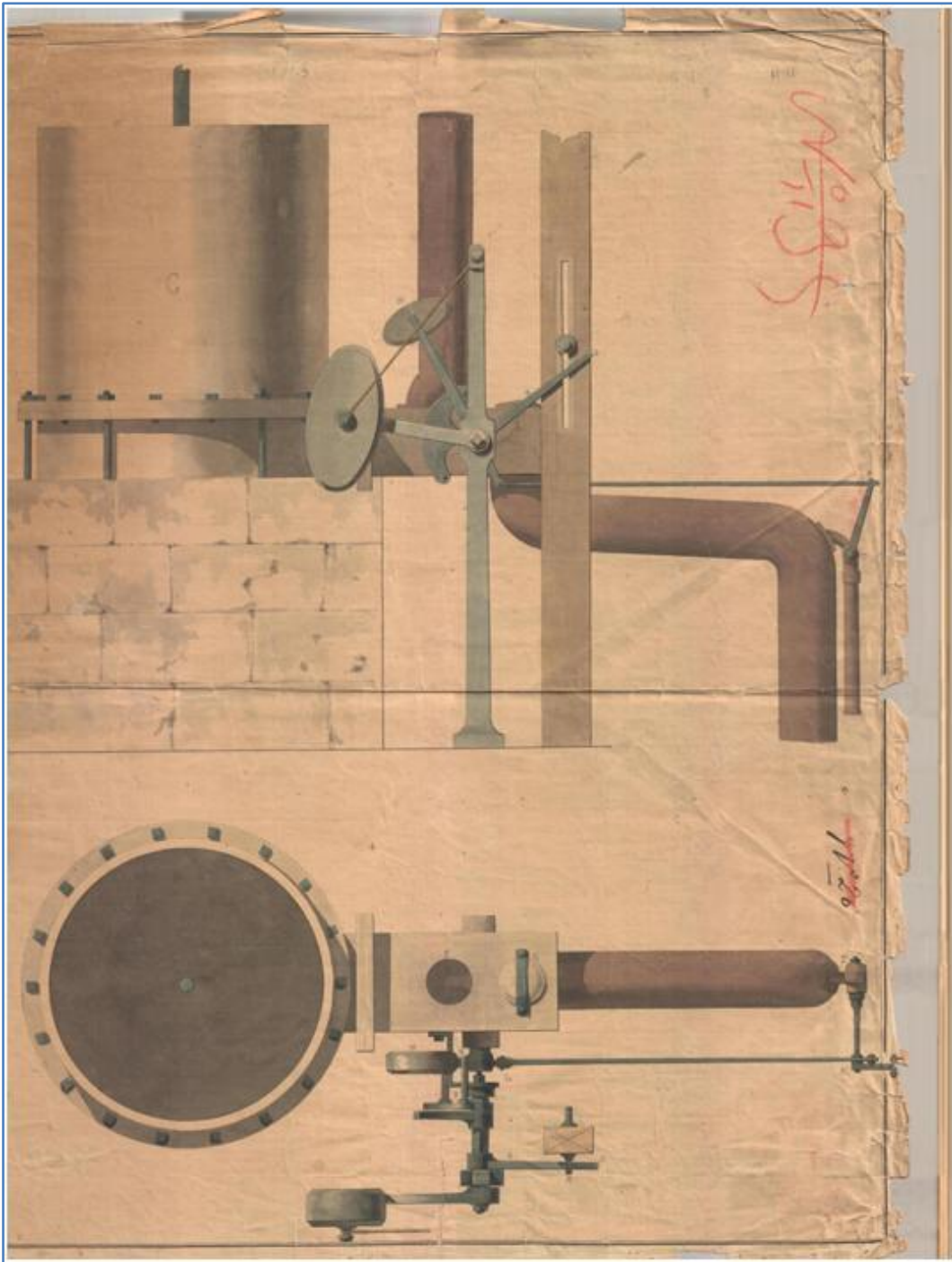


Figura 125. Cilindro máquina de vapor del pozo de San Aquilino de Minas de Almadén.
Fuente: P-05406. Archivo Histórico Minas de Almadén.

7.2.4.-Software.

En la actualidad, existen en el mercado diferentes programas que permiten la representación tridimensional de objetos e incluso su manipulación dotándolos de movimiento, texturas, sombras, iluminaciones hasta crear un modelo virtual del objeto que puede ser visionado e interactuar con el usuario,

SOFTWARE DE DISEÑO GRÁFICO				
Aplicación	Desarrollador	Plataformas	Uso principal	Licencia ¹²³
3ds Max	Autodesk	Microsoft Windows	Modelado, Animaciones (video juegos) Iluminación, Renderizado	Propietario
AC3D	Inivis	Linux, Mac OS X, Microsoft Windows	Modelado	Propietario
Art of Illusion	Peter Eastman	Java Virtual Machine	Modelado, Animaciones, Iluminación, Renderizado	GNU GPLv2
Blender	Blender Foundation	Microsoft Windows, Mac OS X, Linux, BSD, Solaris, AmigaOS 4, MorphOS	Modelado, Animaciones (películas y videojuegos), Iluminación, Creación de Materiales, Renderizado (Interno, Externo, 3D Anáglifo y VR), Efectos Visuales, Simulación de Fluidos.	GNU GPLv2+ Apache 2.0
Bryce	DAZ 3D	Microsoft Windows, Mac OS X	Modelado, Animaciones, Geometría Fractal	Propietario
Carrara	DAZ 3D	Microsoft Windows, Mac OS X	Modelado, Animaciones	Propietario
Cheetah 3D	Dr. Martin Wengenmayer	Mac OS X	Modelado, Animaciones	Propietario
Cinema 4D	MAXON	Mac OS X, Microsoft Windows, Amiga OS	Modelado, Animaciones, Iluminación Efectos Visuales 3D, Renderizado, Simulación	Propietario
CityEngine	Procedural	Mac OS X, Microsoft Windows, Linux	Modelado Procedural de Ciudades 3D	Propietario
Clara.io	Exocortex (http://exocortex)	Mozilla FireFox, Google Chrome, Microsoft Internet Explorer	Modelado, Animaciones, Renderizado	Propietario
Cobalt	Ashlar-Vellum	Mac OS X, Microsoft Windows	Modelado, Animaciones Diseño Asistido por Ordenador	Propietario
DesignSpark Mechanical	SpaceClaim, RS Components	Microsoft Windows	Modelado, Diseño Asistido por Ordenador, Prototipo Rápido, Impresión en 3D	Freemium

¹²³ Tipos de licencia: Software de pago (Propietario); Software Libre (GNU, GPLv2, Apache 2.0, AGPLv3); Software Medio Libre (Freemium)

SOFTWARE DE DISEÑO GRÁFICO				
Aplicación	Desarrollador	Plataformas	Uso principal	Licencia ¹²³
Electric Image Animation System	EIAS3D	Mac OS X, Microsoft Windows	Animaciones, Iluminación, Renderizado, Televisión, Efectos Visuales 3D	Propietario
form-Z / form-Z Renderzone Plus	autodesk, Inc.	Mac OS X, Microsoft Windows	Modelado, Animaciones, Iluminación, Renderizado, Fabricación	Propietario
Hexagon	DAZ 3D	Microsoft Windows, Mac OS X	Modelado	Propietario
HiCAD	ISD Software und Systeme	Microsoft Windows	Modelado, Animaciones, Diseño Asistido por Ordenador, Sistema HELIOS PDM Integrado	Propietario
Houdini	Side Effects Software	Microsoft Windows, Mac OS X, Linux	Modelado, Animaciones, Iluminación, Efectos Visuales 3D	Propietario
IClone	Reallusion	Microsoft Windows	Animaciones (Películas y Videojuegos), Iluminación, Efectos Visuales 3D	Propietario
LightWave 3D	NewTek	Mac OS X, Microsoft Windows, Amiga OS	Modelado, Animaciones (Películas y Videojuegos), Iluminación, Renderizado	Propietario
MASSIVE	Massive Software	Microsoft Windows, Linux	Inteligencia Artificial, Modelado	Propietario
Maya	Autodesk	Microsoft Windows, Mac OS X, Linux	Modelado, Animaciones, Iluminación, Efectos Visuales 3D	Propietario
Metasequoia	O. Mizno	Microsoft Windows	Modelado	Propietario
MOD0	The Foundry	Mac OS X, Microsoft Windows, Linux	Modelado, Animación, Renderizado	Propietario
Mudbox	Autodesk	Mac OS X, Microsoft Windows, Linux	Iluminación, Escultura (la deformación del modelado)	Propietario
POV-Ray	The POV-Team	Mac OS X, Microsoft Windows, Linux, AmigaOS	Iluminación, Efectos Visuales 3D	GNU AGPLv3
Pro/Engineer	Parametric Technology Corporation	Microsoft Windows, HP-UX, Unix	Modelado, Diseño Asistido por Ordenador	Propietario
Remo 3D	Remograph	Microsoft Windows, Linux	Modelado, Diseño Asistido por Ordenador, Realidad Virtual, Videojuegos,	Propietario
Rhinoceros 3D	McNeel	Microsoft Windows, Mac OS X in beta	Modelado, Diseño Asistido por Ordenador	Propietario
Sculptris	Pixologic	Mac OS X, Microsoft Windows	Escultura, Texturizado	Propietario
Shade 3D	Shade3D	Mac OS X, Microsoft Windows	Modelado, Animaciones, Renderizado	Propietario
Silo	Nevercenter	Mac OS X, Microsoft Windows	Modelado	Propietario

Del amplio listado anterior, para la reconstrucción se han seleccionado los tres que se han considerado más aptos por el trabajo a desarrollar. Se han analizado CATIA V5; SolidWorks; AutoCAD Inventor, que bajo mi punto de vista tienen un equilibrio entre la dificultad de aprendizaje y manejo frente a los objetivos que se pretenden alcanzar, además de ser los más extendidos en ingeniería.

CATIA V5:

Es uno de los programas que mayor nivel ofrece de CAD, CAM, y CAE. Actualmente es el más avanzado en modelaje y lo utilizan grandes empresas automovilísticas como Citroën, Renault, Mercedes, BMW. También es el más utilizado en la industria aeronáutica. Es el más caro del mercado y su precio no está al alcance de cualquier usuario.

SolidWorks:

Esta empresa creada en 1993 ha conseguido convertirse en el mayor proveedor de tecnología CAD en el mundo con más de 700.000 usuarios en 200 países de todo el mundo y está situada entre una de la mayores empresas del mundo. Cuenta con un gestor de diseño que facilita la modificación de operaciones. Existe la posibilidad de descargar una versión estudiante con un precio de 135 euros.

AutoCAD Inventor:

Es un programa en continuo desarrollo industrial para el modelado 2D Y 3D, ya que cumple con las especificaciones de muchos consumidores y su precio es menor que el de sus competidores. Autodesk invierte en los futuros estudiantes de tal manera que ofrece sus productos de manera gratuita a estudiantes de miles de universidades.

En los tres programas, encontramos características similares, aunque como se muestra en la siguiente tabla, la utilidad o finalidad de cada uno de ellos puede variar en función del campo industrial para el que se utilice:

	SOLIDWORKS	AUTOCAD INVENTOR	CATIA V5
CARACTERISTICAS			
Modelado 2D	SI	SI	SI
Modelado 3D	SI	SI	SI
Modelado Paramétrico	SI	SI	SI
Renderizado	SI	SI	SI
UTILIDAD-FINALIDAD-			
Diseño Industrial	SI	SI	SI
Arquitectura	SI	NO	NO
Mecánica	SI	SI	SI
Electricidad	SI	SI	SI
Aeroespacial	SI	NO	SI
Automotor	SI	SI	SI
Ingeniería	SI	SI	SI
Construcción	SI	SI	SI
Medicina	SI	NO	NO

Tabla 28. Comparativa Software Diseño 3D. Fuente: Elaboración propia.

A simple vista, el programa más completo parece ser SolidWorks, pero a lo que nuestro trabajo se refiere, los tres cumplen con las expectativas necesarias sin ningún problema. Sin embargo hemos elegido el modelo AutoCAD Inventor 2015 por las siguientes razones:

- Presenta un Interfaz gráfico que facilita su manejo y rapidez en el aprendizaje de sus funciones y la posibilidad de adaptarlo a los gustos o necesidades del usuario.
- Dispone de multitud de herramientas y funciones que nos permiten construir infinidad de piezas y elementos en 2D y convertirlos a 3D fácilmente. Otra de las ventajas que ofrece, es la creación de mecanismos tridimensionales mediante la unión de diferentes piezas, incorporando movimientos, restricciones y ensamblajes, funciones que con otros programas serían mucho más difíciles de llevar a cabo.
- Permite crear nuevos objetos y seleccionar tanto el aspecto como el material de las piezas, bien aplicando texturas que incluye el programa o creadas por el usuario, consiguiendo así una mayor sensación de realismo.
- Otro factor importante de Inventor, es la conversión de archivos a distintos formatos, entre ellos el STL, que permite la impresión de nuestro diseño en impresoras 3D, ampliando así las posibilidades o

utilidades que se le pueden dar hoy en día a una reconstrucción virtual. También contiene simulación de CAD, para el análisis de elementos finitos y simulación de movimientos.



Figura 126. Logotipo corporativo de Autodesk Inventor 2015.

A modo de resumen, se van a indicar las características o funciones principales del programa.

Compatibilidad y conversión de archivos CAD:

- Compatibilidad con archivos DWG
- Compatibilidad con BIM
- Conversión de archivos CAD e intercambio de datos

Simulación de CAD integrada:

- Simulación de movimiento integrada
- Análisis de elementos finitos integrado

Productividad de diseño de ingeniería:

- Diseño de chapa:
- Estilo de chapa, planos de fabricación
- Piezas laminadas.
- Biblioteca de punzado
- Modificación del desarrollo
- Creación de formas libres de modelado
- Diseño de tubos y tuberías, realizando enrutamientos normalizados

La característica del programa más utilizada en el proceso de reconstrucción es el modelado de piezas a través de sus bocetos y posteriormente generando extrusiones, barridos, creación de esferas y formas que se han necesitado, pudiendo así diseñar el objeto deseado.

Diseño de ensamblajes y facilidad de ensamblaje:

Una vez que se han diseñado las diferentes piezas se debe proceder a la creación de cada conjunto. Esto se realiza con la herramienta ensamblaje que permite unir las diferentes partes sujeto a las restricciones de posición que se definan para generar un conjunto compacto o limitar los movimientos que deseamos que hagan nuestras piezas unas sobre otras. Las opciones con presentan estas herramientas son:

Restricciones:

- De coincidencia
- De simetría
- De movimiento
- Angulares
- De Insertar

Uniones:

- Rígida
- De rotación
- Corredera
- Cilíndrica
- Plana

Renderización de CAD

El proceso de renderizado se efectúa con el fin de generar en un espacio 3D formado por estructuras poligonales Una simulación realista del comportamiento tanto de luces, texturas y materiales (agua, madera, metal, plástico, tejidos, etcétera) como también de los comportamientos físicos y animación en el caso de que se creen.

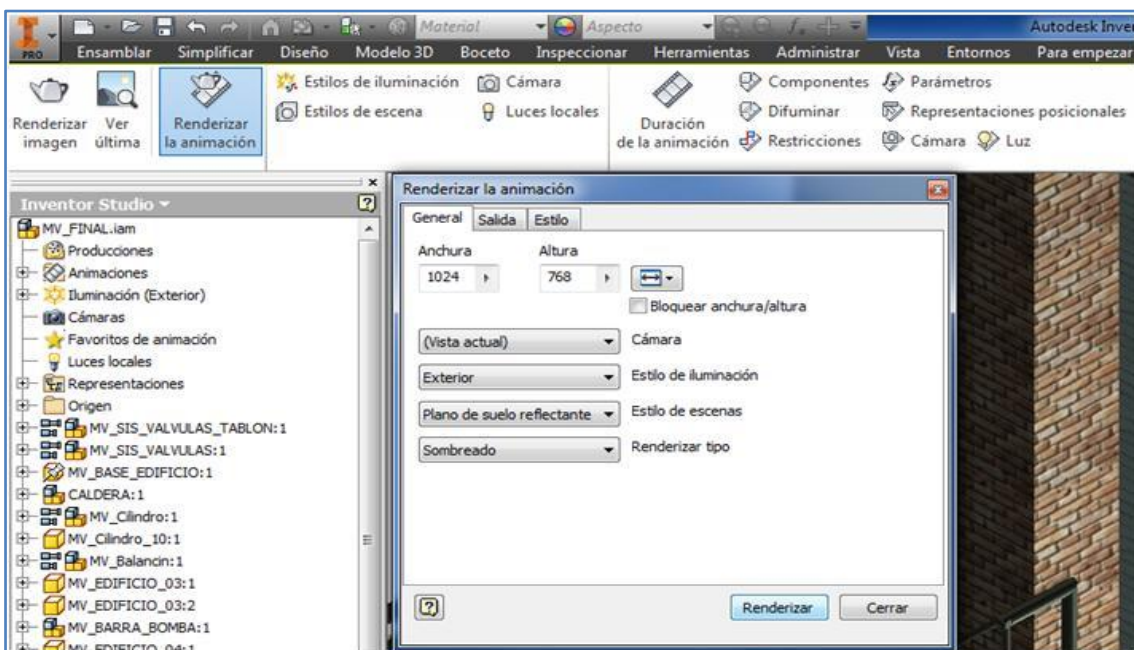


Figura 127. Captura de pantalla de Autodesk Inventor opciones renderizado.

7.2.5.-Modelado.

El proceso de modelado se puede dividir en dos fases: Modelado en 2D y modelado en 3D. El primero de ellos, consiste en dibujar los bocetos iniciales y las interpretaciones de las medidas correspondientes, con la ayuda de un programa de dibujo asistido por ordenador.

Los dibujos se realizan en 2D, para agilizar la reconstrucción virtual, creando elementos que serían difíciles de hacer directamente en 3D. Posteriormente son transformados en 3D con operaciones del programa.

Por ejemplo con las secciones en planta de los edificios es mucho más sencillo construirlos y posicionarlos entre ellos, en 2D que si se hiciera en 3D. Una vez creada la planta, pueden comenzar a levantarse y definir cada uno de los alzados de forma individual, para finalmente convertirlo todo en un edificio en 3D.

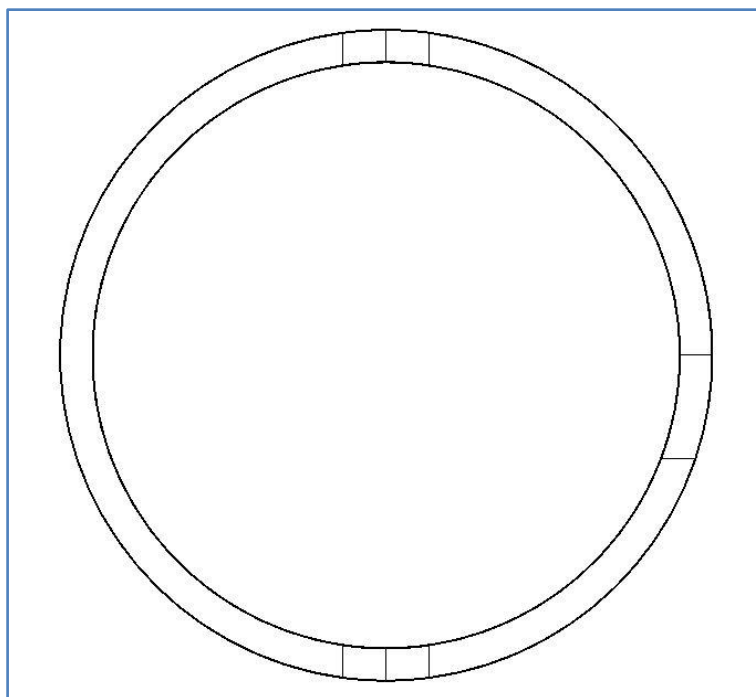


Figura 128. Plano en 2D del Baritel del pozo de San Teodoro.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

El modelado en 3D, puede realizarse de dos formas diferentes, la primera consiste en dar volumen a las superficies ya creadas en 2D, simplemente dándoles altura. La otra forma es partir de bloques o piezas ya creadas en 3D y editarlas hasta conseguir la forma necesaria.

Desde AutoCad Inventor, el modelado 3D puede hacerse mediante tres formas: sólidos, mallas o ambos.

Para la reconstrucción virtual se ha empleado la construcción de sólidos y su manipulación por ser más fáciles de manejar, sumar, restar, y unir como queramos hasta conseguir la forma deseada. El inconveniente que presenta el trabajar con sólidos es consumo de recursos del ordenador, por lo que es necesario que el equipo disponga de suficiente memoria, una tarjeta gráfica de calidad y un procesador potente.

En nuestro caso no se han utilizado mallas. Estas consumen menos recursos que los sólidos, pero son más complicadas de editar. A modo de ejemplo las mallas son muchos más útiles en la representación de terrenos, como podría ser el suelo del cerco de San Teodoro.

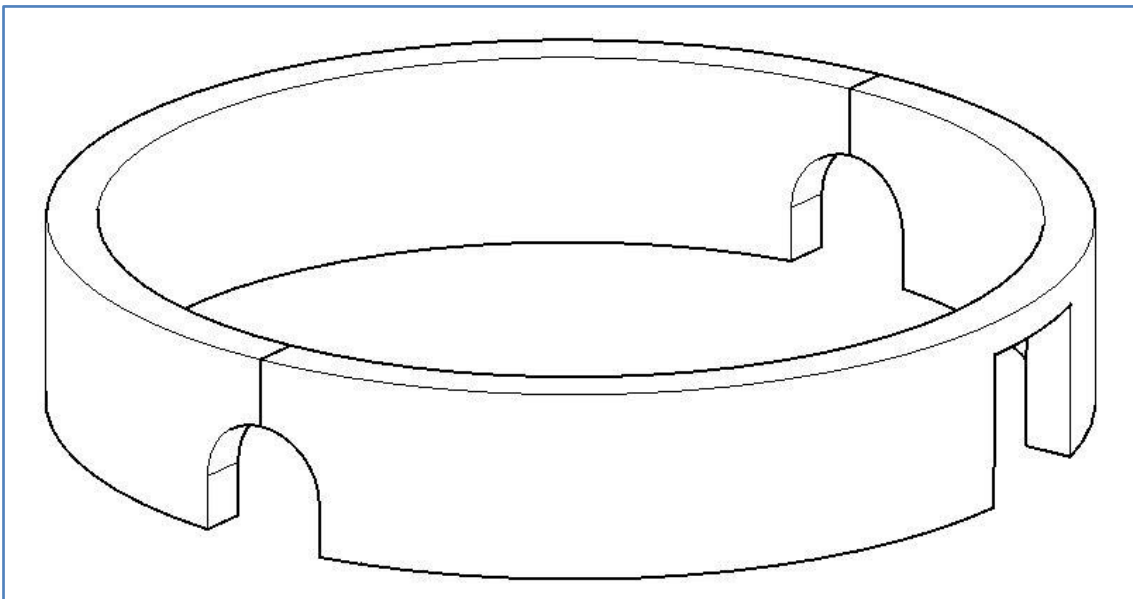


Figura 129. Plano en 3D del Baritel del pozo de San Teodoro.

El proceso a seguir para realizar el modelado es algo complejo. No obstante trataremos de explicar dicho proceso del modo más sencillo posible para hacerlo más entendible. Los pasos que se han seguido han sido los siguientes:

Edificios

Se ha partido del plano de planta en 2D y a continuación se ha procedido a levantar en altura con la herramienta de extrusión. Levantadas las paredes, se efectúan los huecos necesarios en cada uno de los alzados mediante las operaciones booleanas de unión, diferencia e intersección.

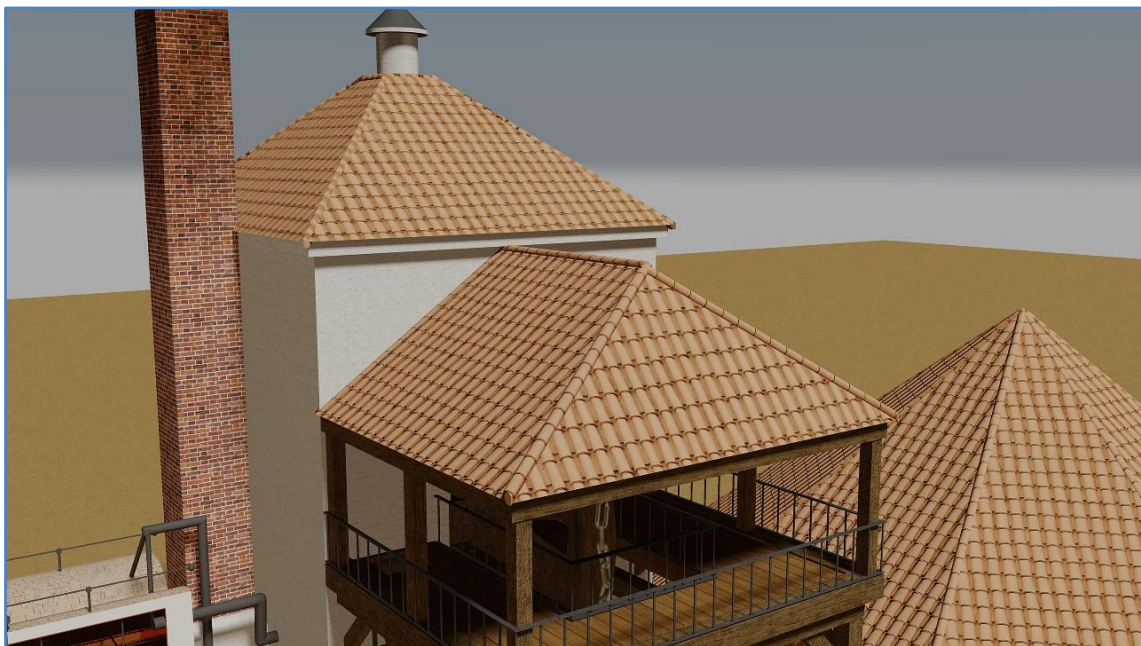


Figura 130. Detalle edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

La generación de las cubiertas, se ha realizado mediante la operación chafalán, creando en primer lugar un sólido, y aplicando después la herramienta de chafalán creando así las diferentes aguas. Para darle la forma por el interior se vuelve a recurrir a las operaciones de unión y diferencia.

El resto de elementos que completan los edificios, como son la veleta de las cubiertas, cornisas, estructura de madera, barandillas, chimeneas, se han dibujado de forma independiente como objetos separados en dibujos individuales y una vez terminados se ha procedido al ensamblado. Con este procedimiento se ahorra espacio y uso de recursos del ordenador, consiguiendo un trabajo más fluido y un montaje más rápido.



Figura 131. Balcón del edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Otro de los conjuntos que se ha construido es el depósito o la balsa de agua donde se almacenaban las aguas de lluvia, el agua recuperada de la condensación y la extraída de la mina.

Maquinaria

La representación de la maquinaria presenta mayor complejidad que los edificios. Se ha comenzado con las calderas porque son necesarias para la construcción del edificio que las alberga. En el resto de edificios tan solo fue necesario crear los huecos e incluir sus elementos interiores

Se realiza el boceto de la caldera en 2D, seguidamente se emplea una extrusión generando así lo que es la piel de la caldera. Completamos la caldera creando los refuerzos estructurales internos, que consisten en una malla de acero que la recubre.

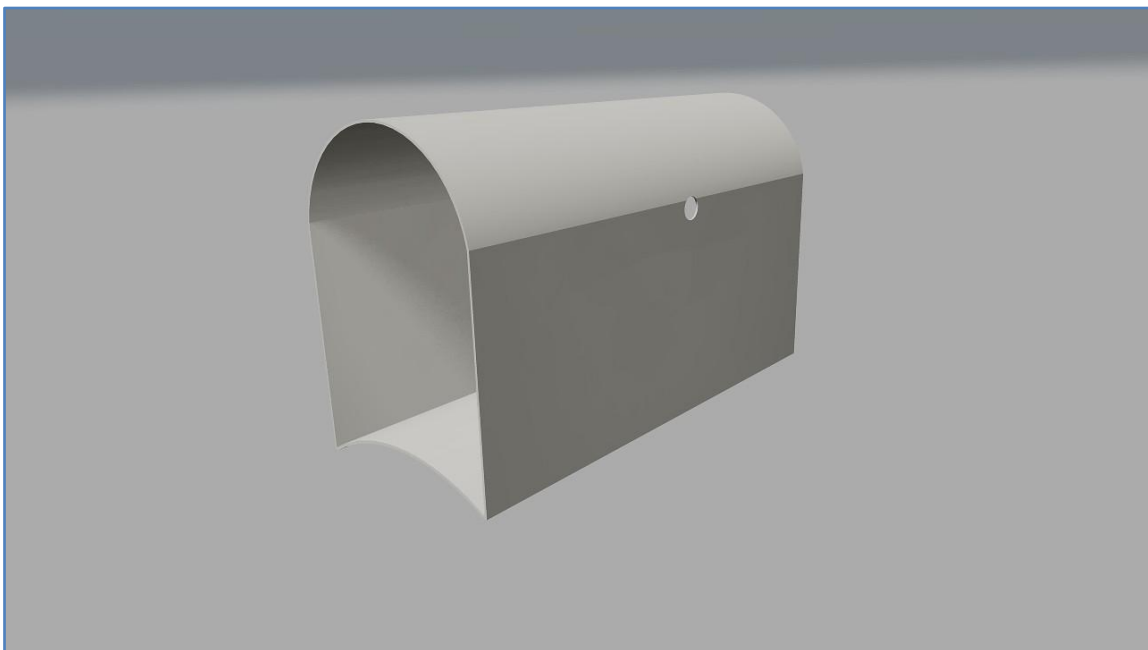


Figura 132. Extrusión de la caldera de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Creadas las calderas, se colocan en el interior del edificio y se continúa con la terminación de este. Sólo de este modo se pueden construir las tuberías por donde circula el agua, el vapor, y los humos, especialmente estos últimos que eran los empleados para sobrecalentar el vapor antes de salir por la chimenea.

El resto de elementos de las calderas, como el hogar o zona del fuego, el cenicero, la válvula de seguridad o los conductos de salida del vapor, se crearon de forma independiente y posteriormente se ensamblaron para formar el conjunto.

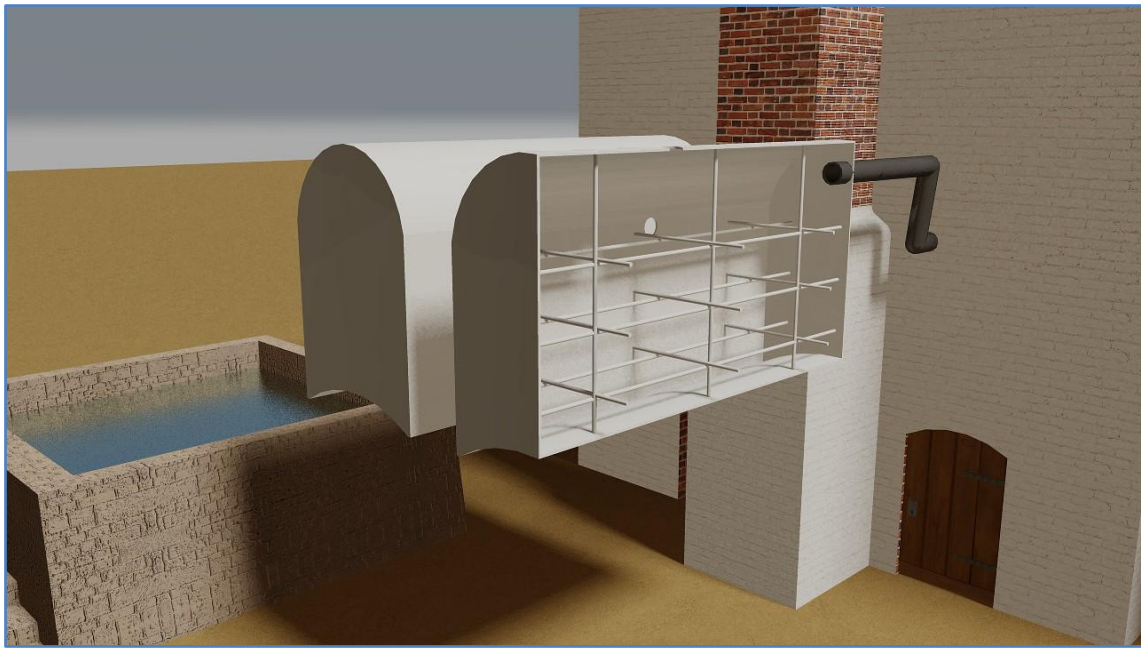


Figura 133. Ensamblaje 01 de elementos de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)



Figura 134. Ensamblaje 02 de elementos de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

El siguiente conjunto a representar ha sido la máquina de vapor. Por su complejidad, se ha construido a partir de sus componentes por separado, como el cilindro, el condensador y el balancín. De igual modo se construyen el resto de componentes como las cadenas, contrapesos y conducciones y válvulas, ensamblando finalmente todas las piezas.

El primer elemento que se ha representado ha sido el cilindro. Se ha creado el boceto en 2D de su sección y con la herramienta revolución con un ángulo de 360° se genera el cilindro hueco sin necesidad de tener que crear el hueco. A continuación se ha construido tanto la parte superior como la inferior, y se han fijado con tornillos y tuercas. Se construye seguidamente el pistón mediante las operaciones de extrusión, unión, redondeo.

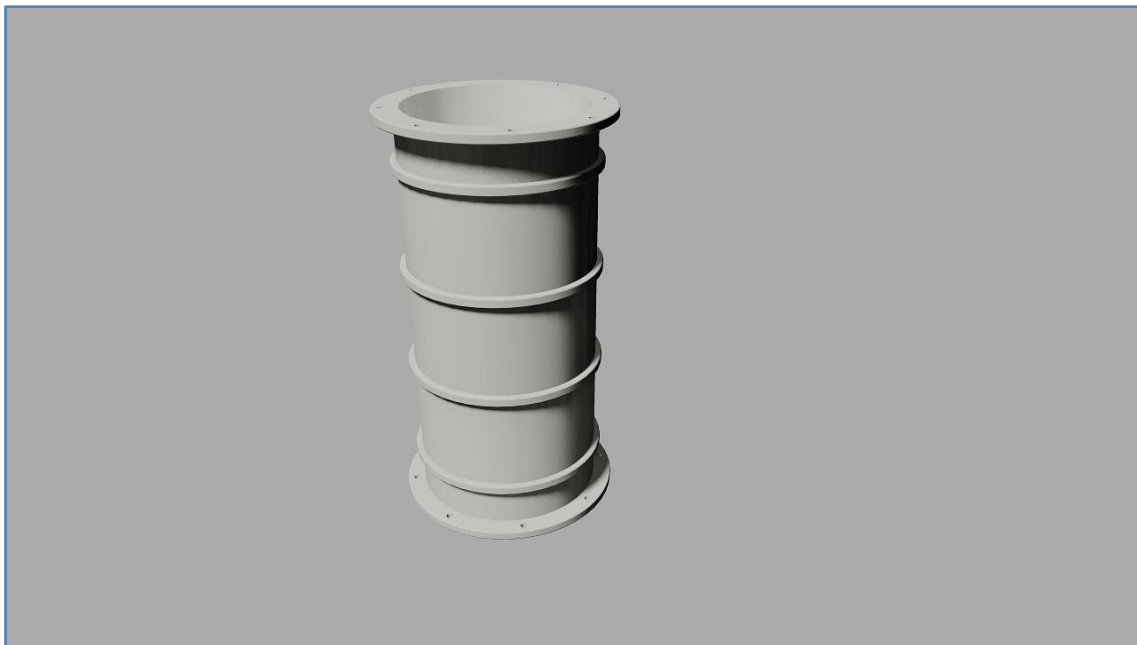


Figura 135. Cilindro de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Uno de los problemas que presentaba esta máquina de vapor, es que el cilindro no disponía de una válvula que impidiese la entrada de forma continua de vapor en su interior y solo disponía de una válvula para regular la salida del vapor desde el cilindro hacia el condensador. La válvula se ha creado mediante operaciones simples de modelado al igual que el contrapeso de madera que la accionaba. La dificultad aquí ha radicado en poder aplicar las restricciones de movimiento de ajuste de la apertura y cierre con el movimiento del balancín.

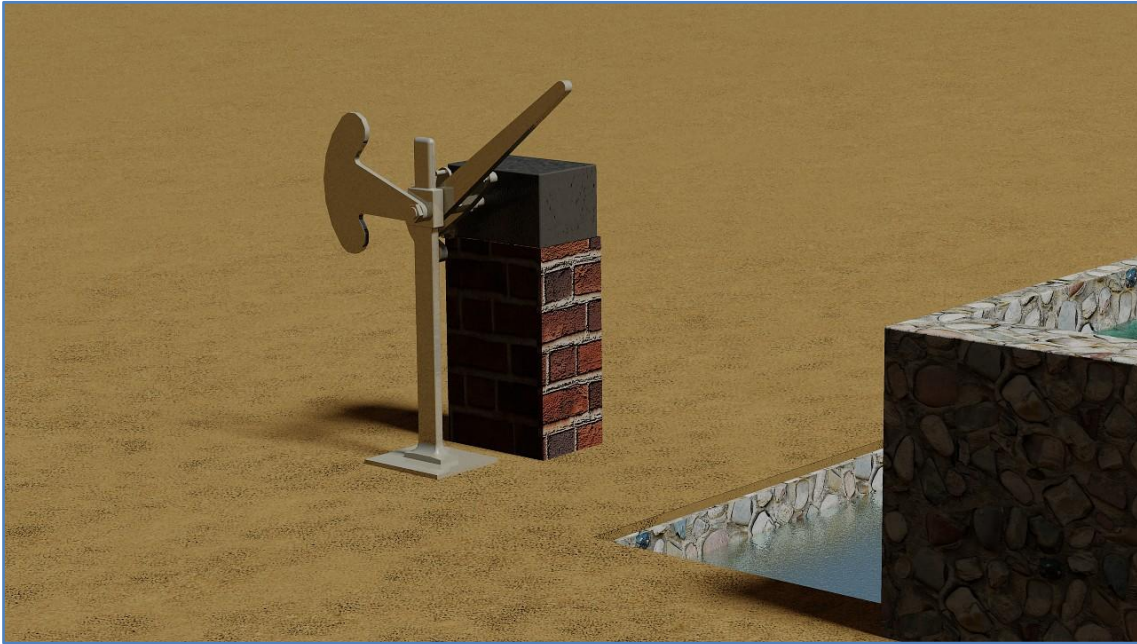


Figura 136. Válvula regulación del cilindro de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)



Figura 137. Detalle conexión válvula de regulación al cilindro y al condensador de la 1ª máquina de minas de Almadén. Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

De la misma forma que con el cilindro el modelado del condensador se ha realizado con las operaciones de extrusión, unión, revolución. En primer lugar se construye el cuerpo de la bomba, después el pistón, que a diferencia del anterior tiene que ir perforado para la operación de bombeo, y por último el sistema de conducciones y llaves necesario. Se construyen también los diferentes depósitos de agua que forman parte del propio sistema del condensador. Al igual que en el caso anterior, la labor más complicada es conseguir dotar al conjunto de movimientos y restricciones coordinados con el movimiento del balancín para que todo fluya con normalidad.



Figura 138. Condensador de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

En cuanto al balancín, se ha construido en primer lugar sus vigas principales, junto con las piezas arqueadas de los extremos, formando así el cuerpo principal de este conjunto.

A partir de él se crean las diferentes palancas metálicas que van fijadas mediante tornillos y tuercas al propio balancín y sirven para la sujeción de las cadenas que unen sus extremos con el cilindro, el contrapeso o el juego de bombas que extrae el agua del interior de la mina.

El diseño de las cadenas, ha obligado a utilizar herramientas nuevas como el barrido, que consiste en crear una sección e indicarle una trayectoria sobre la que extrusionar dicha sección, utilizando como eje la propia trayectoria marcada. Y otras herramientas como la unión esférica entre los diferentes eslabones.



Figura 139. Cadenas de unión de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

El siguiente paso, ha sido la creación del eje metálico que permite el movimiento de vaivén del balancín y el sistema de los cuatro abarcones roscados que aseguran su fijación.

Además de todo esto, para soportar los esfuerzos que actúan sobre el balancín, es necesaria una estructura compuesta por dos enormes vigas de madera fijadas a lo largo del edificio y que sirven tanto de apoyo como de guía al movimiento del balancín.



Figura 140. Detalle fijación eje balancín de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Para terminar con la modelación, se han colocado todos los elementos en sus posiciones. En primer lugar colocamos los edificios, después la maquinaria y así podemos fijar la trayectoria que debía seguir la red de tuberías. Estas tuberías unen el depósito principal con las calderas, las calderas con el cilindro, el cilindro con el condensador y el condensador con las calderas, lo que permite cerrar el circuito. Otra red de tuberías es la que une el agua que se extrae de la mina, con la balsa de agua fría del condensador, y el condensador con el depósito principal y las calderas.

De esta forma se ha conseguido el montaje final de lo que es la reconstrucción tridimensional de la máquina de vapor.

Para completar el trabajo es necesaria la aplicación de texturas, iluminación y sombras para conseguir la sensación de realidad.

Básicamente el modelado de los diferentes elementos que componen el conjunto se ha realizado por la utilización de órdenes similares al dibujo lineal en 2D, creación de superficies, extrusión, creación de sólidos, unión, corte, diferencia, vaciado, barrido, empalmes, chaflanes, simetrías, cortes.

7.2.6.-Materiales y texturizado.

Creado el modelo tridimensional, se deben aplicar a sus componentes los materiales y texturas convenientes para reflejar de la forma más realística el objeto virtual. En la selección de estas texturas se ha tenido en cuenta cuales eran los materiales que se emplearon en la construcción real.

La aplicación de materiales como la madera, el vidrio o el metal, además de la textura, permite definir otras características como la densidad, el color, el brillo, transparencia, que además de dar un mayor aspecto de realismo al elemento representado permite efectuar cálculos y simulaciones.

Asignado un material, hay que revisar la textura que aplica el programa. Las que incluye el programa en este caso no obedecen fielmente a la realidad a representar.

El texturizado es el proceso dentro del modelado que asigna a cada pixel un color en función de un patrón deseado para formar una composición real.

Para obtener texturas lo más reales posibles, se ha recurrido al empleo de fotografías e imágenes que han servido para crear el patrón. El programa dispone de una biblioteca bastante amplia de texturas, además de las que pueden encontrar en internet. Para un mejor ajuste a la realidad, se pueden crear las texturas a partir de fotografías de los materiales, elementos y componentes reales que encontramos en la calle o en edificios.

Por lo general, la aplicación de una textura a un sólido se realiza mediante cuatro formas diferentes:

1. **Plano:** El mapa de bits se ajusta a la superficie del objeto mediante un plano.
2. **Cúbico:** La textura se amolda al objeto respecto a un cubo de referencia.
3. **Cilíndrico:** La imagen realista de la superficie se acomoda al objeto mediante un cilindro de referencia.
4. **Esférico:** El mapa de bits se ajusta a la superficie del objeto en función de una esfera de referencia.

Los materiales y texturas que se ha seleccionado para los elementos principales del modelo se refieren a continuación.

En las paredes de los edificios los materiales más utilizados eran la piedra y el ladrillo combinados, pero basándonos en la época de construcción, y la fácil disposición de ladrillos en las numerosas tejas de la zona, nos hemos decantado por paredes de ladrillo.



Figura 141. Sala de máquinas del pozo de San Aquilino de minas de Almadén.
Fuente: <http://www.mayasa.es> Consultado 05/02/2016

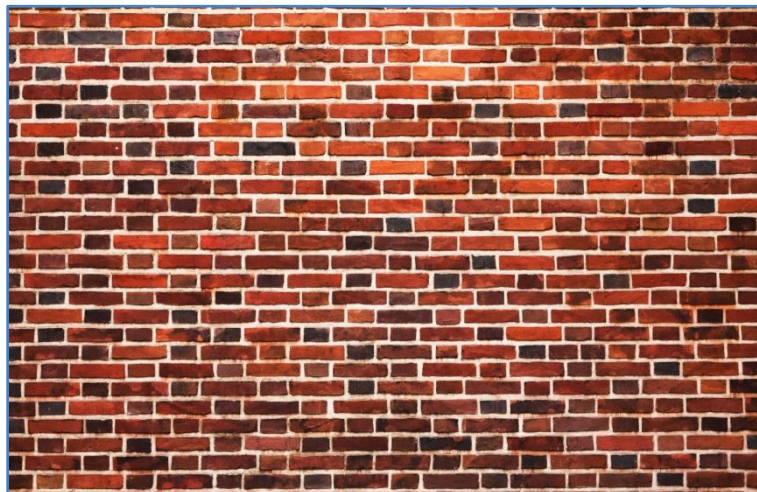


Figura 142. Textura ladrillo visto.
Fuente: <http://www.wildtextures.com>

Las paredes estaban blanqueadas con cal, y como ejemplo de ello tenemos edificios de la época totalmente restaurados y funcionales como la Plaza de Toros o el Real Hospital de los Mineros, por lo que finalmente la textura utilizada para las paredes ha sido el ladrillo encalado blanco.



Figura 143. Fachada ladrillo encalado Hospital de los Mineros de Almadén.
Fuente: <http://www.viajeuniversal.com> Consultado 05/02/2016



Figura 144. Textura ladrillo encalado blanco.
Fuente: <https://es.pinterest.com>

Para el suelo se utiliza una textura de adoquines de terrazo, similares a los utilizados en la solería de la Plaza de Toros.

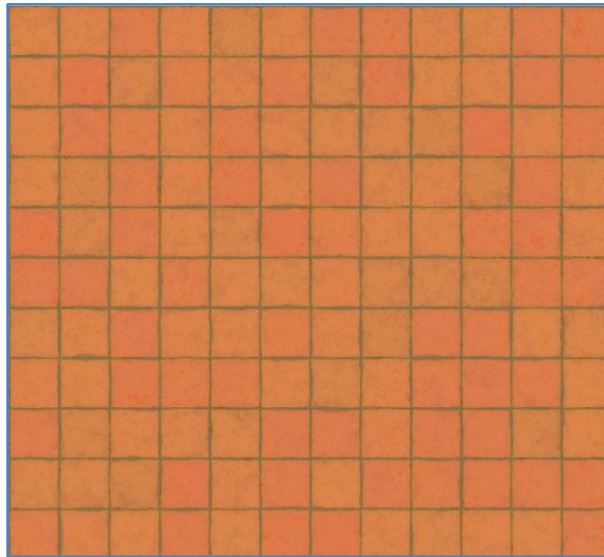


Figura 145. Textura adoquines de terrazo.
Fuente: <http://www.archicadbimcenter.com>

Para las cubiertas, debido a la diversidad que encontramos se ha tenido que elegir diferentes terminaciones en función del tipo. Para la cubierta plana del edificio de las calderas se ha utilizado una teja plana de terracota, y mampostería recubierta con mortero de cemento y tierra para las calderas¹²⁴.



Figura 146. Textura terracota, techo de las calderas.
Fuente: <http://www.perpaint.es>

¹²⁴ Información aportada por el maquetista D. José Carlos Molina.



Figura 147. Textura revestimiento calderas.
Fuente: <http://previews.123rf.com>



Figura 148. Edificio de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Para el resto de cubiertas, se ha utilizado la teja árabe tradicional, todavía utilizada en la actualidad.

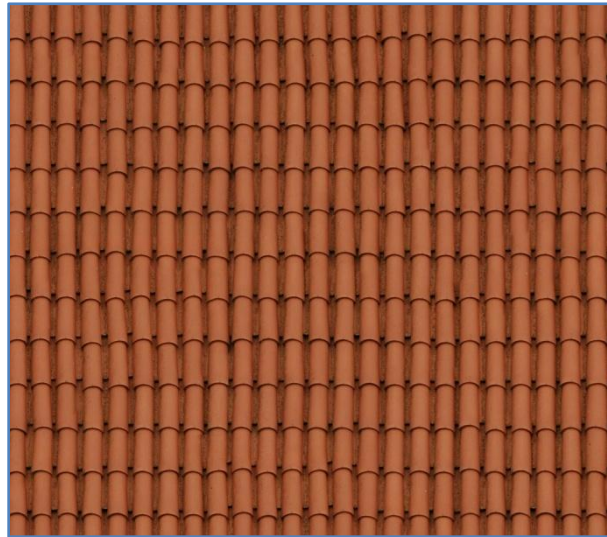


Figura 149. Textura teja árabe.
Fuente: <http://www.freetexturesdownload.com>



Figura 150. Detalle cubierta del edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

La madera es otro de los elementos presente en los edificios representados, como por ejemplo los pilares y las vigas del edificio de la máquina de vapor, e incluso algunas partes de la máquina en sí como el balancín o los contrapesos. Las maderas más usuales en la época eran la encina, el alcornoque y los quejigos. Se ha elegido la encina, pues este tipo de madera presenta una densidad de $0.95 - 1.20\text{Kg/dm}^3$ y tiene una buena resistencia ante los esfuerzos y las condiciones ambientales de trabajo.



Figura 151. Textura de madera de encina.
Fuente: <http://andifurniture.com>



Figura 152. Balancín de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

En las balsas de agua se han empleado dos texturas, para la principal una pared de piedra y para la del condensador una terminación en cemento y china, además para identificar que en ellas se almacenaba agua también se ha utilizado una textura para el agua.



Figura 153. Textura depósito principal de agua.
Fuente: <http://www.lughertexture.com>

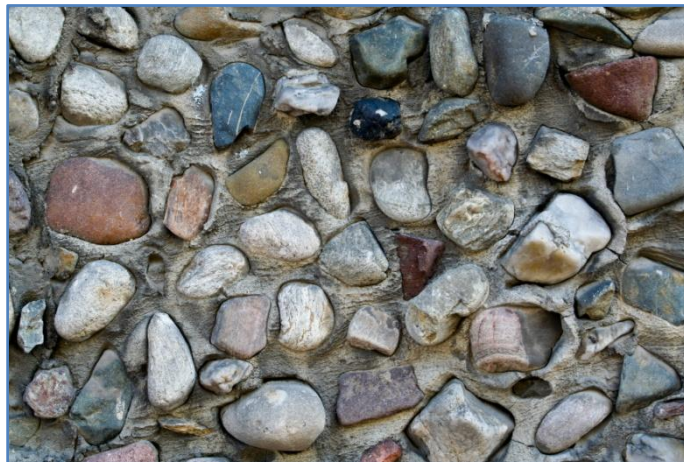


Figura 154. Textura balsa de agua del condensador.
Fuente: <https://freestocktextures.com>



Figura 155. Textura del agua de las balsas o depósitos.
Fuente: <http://bcfons.com>



Figura 156. Depósito o balsa principal para el abastecimiento de agua de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Las texturas más utilizadas para definir los materiales de la maquinaria ha sido la madera utilizada en el balancín, los contrapesos o en las vigas, como ya indicamos con anterioridad, el hierro utilizado en el cilindro, las bombas, las cadenas, y elementos varios y por último el cobre que conformaba la caldera.



Figura 157. Textura metal viejo.
Fuente: <https://lostandtaken.com>

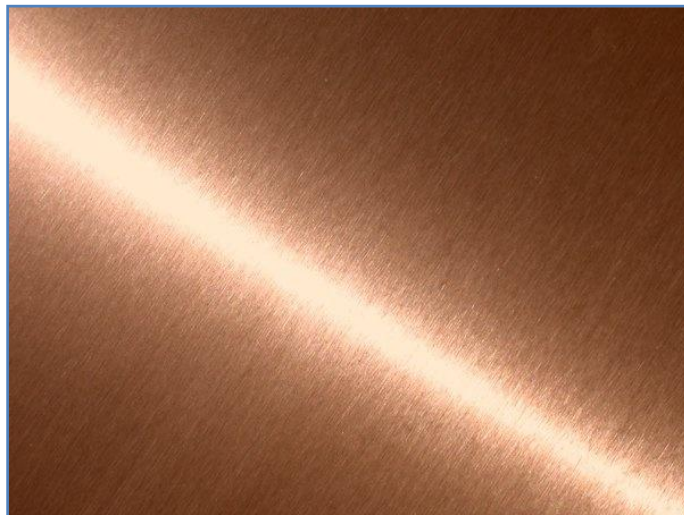


Figura 158. Textura de cobre.
Fuente: <http://l.rgbimg.com>



Figura 159. Cilindro de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

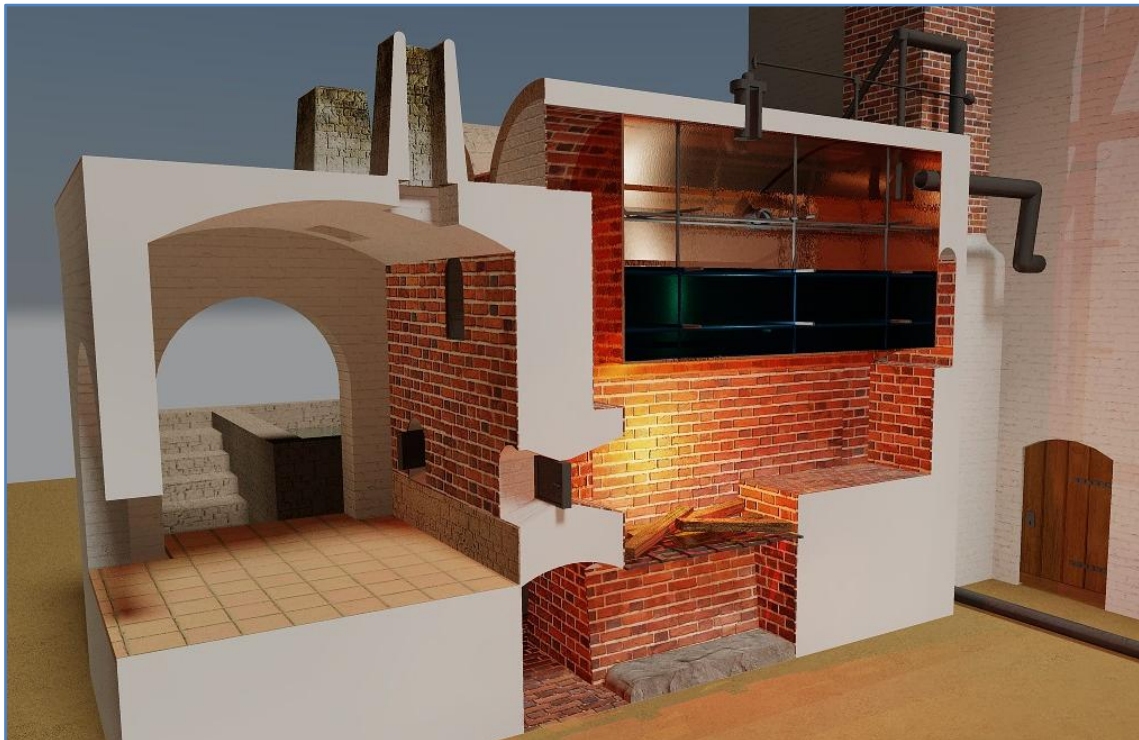


Figura 160. Sección de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Para terminar con la selección de texturas para nuestra reconstrucción virtual, se ha elegido una textura arenosa para el suelo del cerco de San Teodoro, y para las paredes del pozo, la textura de una pared rocosa.



Figura 161. Textura suelo de arena.
Fuente: <http://texturify.com>



Figura 162. Detalle del suelo arenoso del Pozo de San Teodoro de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Probablemente, sea uno de los procesos en el que se invierte buena parte del tiempo empleado en una reconstrucción, siendo este la base de las operaciones restantes.

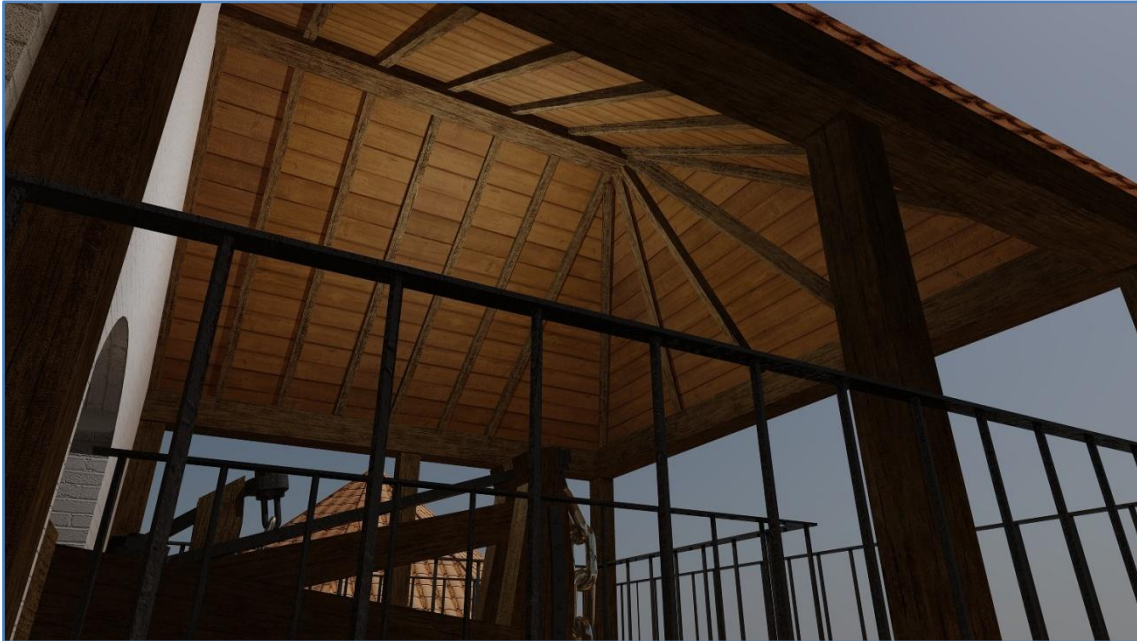


Figura 163. Estructura de la cubierta del balcón del edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.

Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

7.2.7.-Iluminación y sombras.

Tras la elección de los materiales y texturización de los elementos, es necesario definir las condiciones de iluminación del modelo. Para ello, se disponen diferentes puntos de luz que iluminan los edificios y máquinas en 3D, obteniendo así un resultado más realista.

En primer lugar hay que seleccionar correctamente la fuente de luz. Esta puede ser luz solar o artificial. La primera está caracterizada por un color, intensidad y otros parámetros propios de la radiación solar; sin embargo, en la luz artificial los mismos parámetros admiten una gran variedad de valores. A modo de ejemplo la luz de una bombilla incandescente proporciona unas características de iluminación diferentes a las de un tubo fluorescente.

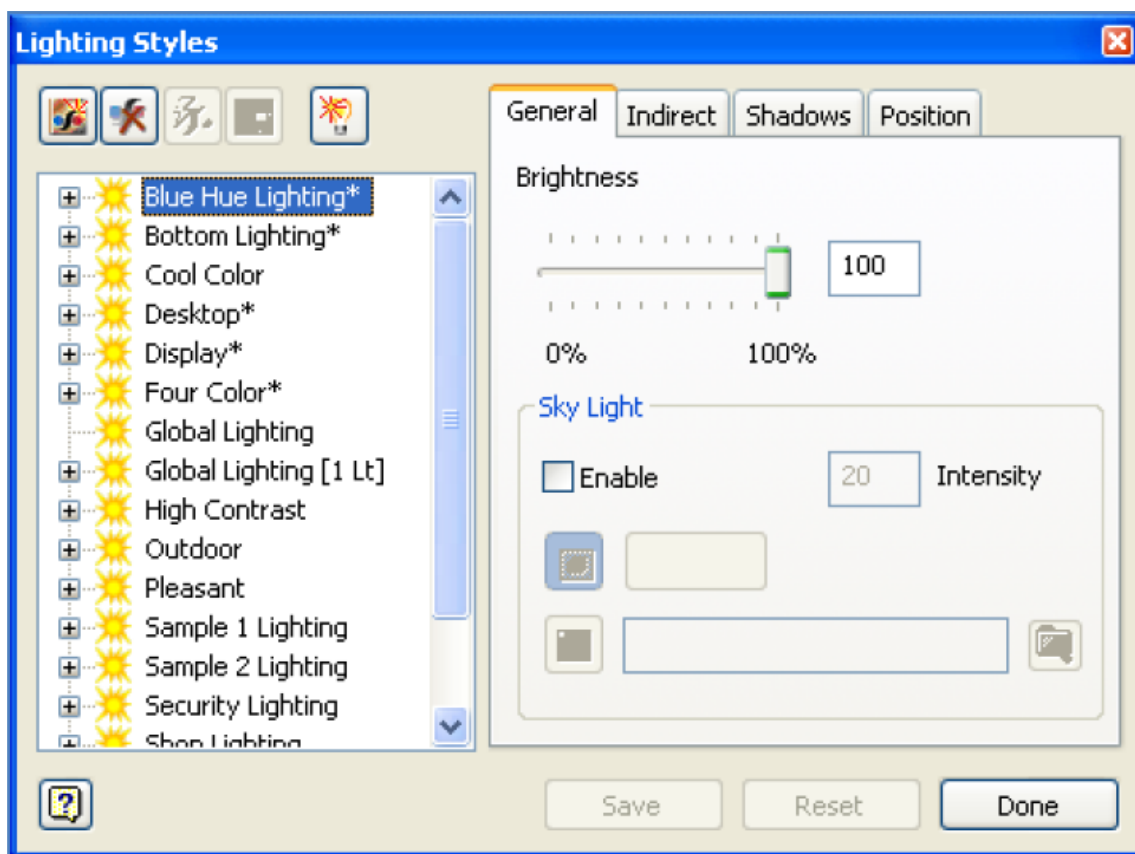


Figura 164. Captura de pantalla de Autodesk Inventor opciones iluminación.

Para el uso de la luz solar, Inventor, permite configurar la hora a la que se quiere situar la posición del Sol, lo que define su orientación e intensidad. Respecto a la luz artificial se pueden crear tantos puntos de luz como se necesiten y con las características deseadas.

Una buena iluminación debe estudiar la posición y características de los diferentes elementos, pues los elementos próximos entre sí pueden provocar efectos de reflejos o sombras indeseadas que dificultaran una correcta visualización.

La generación de sombras por la iluminación elegida, ofrece una mayor sensación de realidad, pero en ocasiones cuando se pretende iluminar un elemento en particular y no queremos tener ninguna sombra que moleste se puede configurar el programa para que no genere ninguna sombra o bien generar puntos de luz independientes que no generen sombras, según convenga.



Figura 165. Ejemplo iluminación y sombras.
Balcón y balcón de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

7.2.8.-Renderizado.

El renderizado es el proceso mediante el cual pueden obtenerse fotografías del modelado en 3D. De una forma más técnica, el proceso consiste en la obtención de un mapa de bits, en el que cada pixel¹²⁵ tendrá un color dependiendo de la zona de la escena representada. En este trabajo se ha seleccionado un tamaño de salida de 1024x769 píxeles, lo que proporciona una buena calidad de imagen, fácil de ampliar mediante zoom sin perder calidad.

El proceso de renderizado con Autodesk Inventor 2015 en la obtención de imágenes comienza con el cambio al entorno de trabajo a Autodesk Inventor Studio, con herramientas de trabajo diferentes.

Para renderizar la imagen se utiliza una perspectiva axonométrica donde se elige el lugar donde se sitúa el observador y hacer uso de la herramienta "Render Image". Se obtiene una imagen renderizada con los valores por defecto del programa.

Para obtener mejores resultados se deben cambiar las opciones del estilo visual, donde podemos elegir entre vista sombreada, monocromo, acuarela, o realista, tomando esta última como nuestra mejor opción.

También es necesario modificar los efectos de sombreado y reflexión de las piezas en función de las necesidades, así como el estilo de iluminación. De la multitud de opciones que ofrece Inventor, se ha optado por una iluminación de tipo exterior con efecto solar. El ángulo de incidencia de la luz viene fijada por el programa de forma automática en función de la franja horaria seleccionada pero puede ser modificada por el usuario.

Autodesk Inventor Studio, además de facilitarnos el trabajo en la obtención de imágenes renderizadas, también da la posibilidad de crear animaciones tridimensionales que nos ayudan a mostrar el funcionamiento de la máquina de vapor.

¹²⁵ Un píxel (acrónimo del inglés de picture element, "elemento de imagen") es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital, ya sea una fotografía, un fotograma de vídeo o un gráfico.



Figura 166. Sección del edificio de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Para generar una animación, se hace uso del menú “Animations”, donde podremos ir eligiendo las opciones que necesitemos. En primer lugar se establece la duración que tendrá el clip.

A continuación, en la opción cámara, se pueden crear el número de cámaras que sean necesarias, definir su posición, el recorrido que van a seguir, la velocidad de rotación o de movimiento.

Para este trabajo se ha definido una sola cámara que rotara 360º alrededor de todos los elementos modelizados, tomando como eje el edificio de la máquina de vapor. De esta forma conseguiremos tener una visión general de la ubicación de la máquina y de sus alrededores.

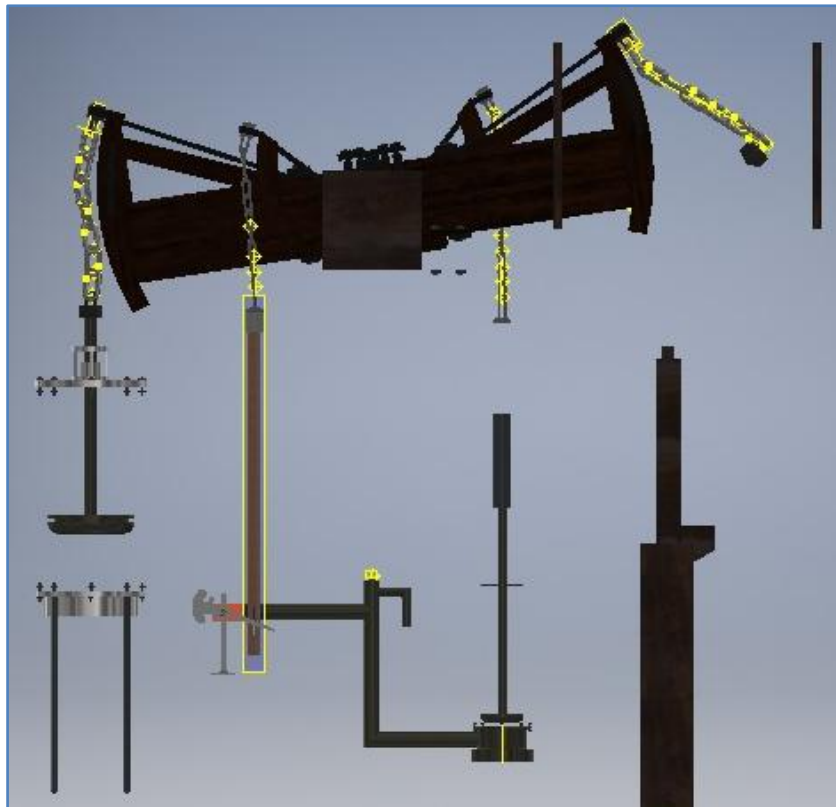


Figura 167. Captura de pantalla creación de restricciones para el movimiento de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.

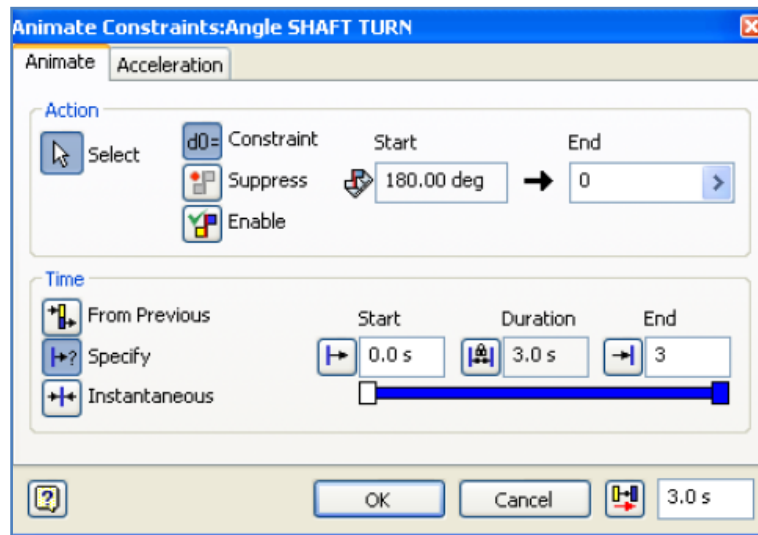


Figura 168. Captura de pantalla de Autodesk Inventor opciones de animación

7.2.9.-Retoque fotográfico.

A pesar de que el proceso de definición de renderizado y sus resultados hayan sido correctos, en algunas ocasiones para mejorar o enfatizar la imagen resultante, se puede hacer uso de programas de retoque fotográfico.

De los diferentes programas de retoque fotográfico que se encuentran en el mercado (Gimp, Corel Photopaint, Pixelmator, Paintshop...), nos hemos decantado por la utilización del programa estrella Adobe Photoshop, concretamente la versión 7.0.

Adobe Photoshop, soporta multitud de formatos de archivo como JPEG, PNG, BMP, GIF, PDF... Además es un programa fácil de utilizar y permite obtener resultados de muy alto nivel, gracias a la variedad de herramientas que nos facilitan el trabajo como la opción de trabajar con varias capas o la posibilidad de editar tanto el color, como la luz o el fondo entre muchos otros.

El retoque fotográfico, en la reconstrucción virtual puede utilizarse tanto en la fase de texturizado como en la fase final del renderizado.

En la fase de texturización, el retoque fotográfico nos permite personalizar la textura que se utiliza como patrón, con la finalidad de obtener resultados que se ajusten a los objetivos.

A modo de ejemplo, las chimeneas utilizadas en las calderas con el paso del tiempo se verían envejecidas por la lluvia y el moho, así como por el calor y los humos de las calderas. Con un texturizado básico, nos quedaríamos únicamente con una textura simple de "ladrillo", pero si queremos mucho más realismo, tendremos en cuenta también el tema del envejecimiento y modificaremos la textura para conseguir ese efecto.

Para ello partimos de una textura gratuita encontrada en internet, en este caso necesitamos la textura, del "ladrillo pintado en blanco".



Figura 169. Textura ladrillo encalado blanco.
Fuente: <https://es.pinterest.com>

Ahora para simular el envejecimiento y las manchas pertinentes en las chimeneas, se elige una fotografía de una pared con suciedad oscura. La cual editaremos con Adobe Photoshop, de tal forma que eliminaremos los bordes para difuminarlos lo mejor posible y se mimetice perfectamente sobre la textura de los ladrillos.



Figura 170. Textura moho.
Fuente: <http://www.wildtextures.com>

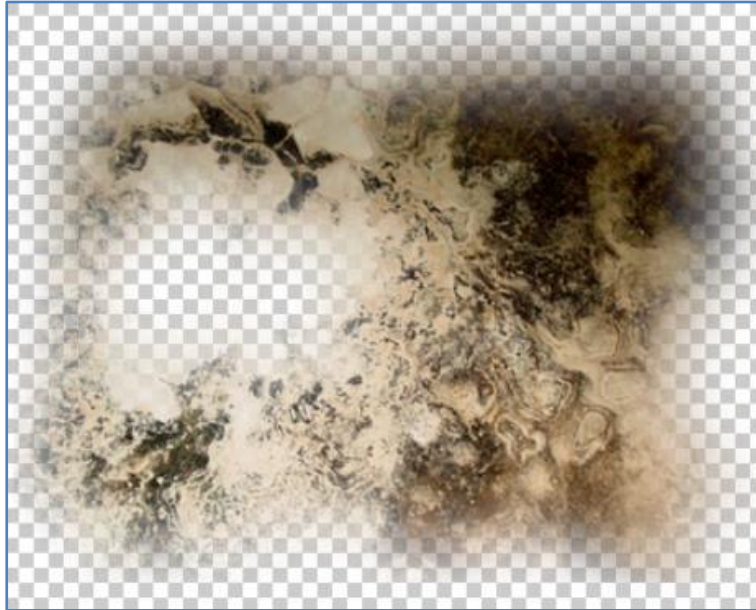


Figura 171. Captura pantalla edición textura moho.

Para solapar la mancha con la textura original, se utilizan las funciones de fusión y de opacidad de Adobe Photoshop. Para conseguir un resultado más realista y evitar que se repita la misma mancha en la textura, se modifica el tamaño de la mancha y se duplica las veces necesarias para cubrir la zona deseada de una forma aleatoria, pues en la realidad las manchas nunca son homogéneas.



Figura 172. Captura de pantalla edición textura chimeneas.

En último lugar, la mancha se reparte por la zona superior, pues las chimeneas están más envejecidas en esa zona, por estar en contacto directo con los humos, y se aplica el grado de tonalidad deseado, obteniendo así las texturas utilizadas en las calderas.



Figura 173. Textura ladrillo blanco manchado chimeneas.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

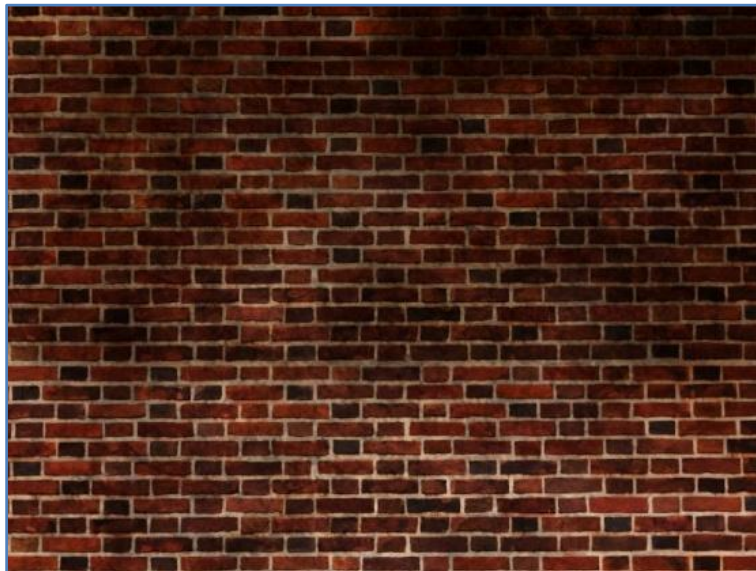
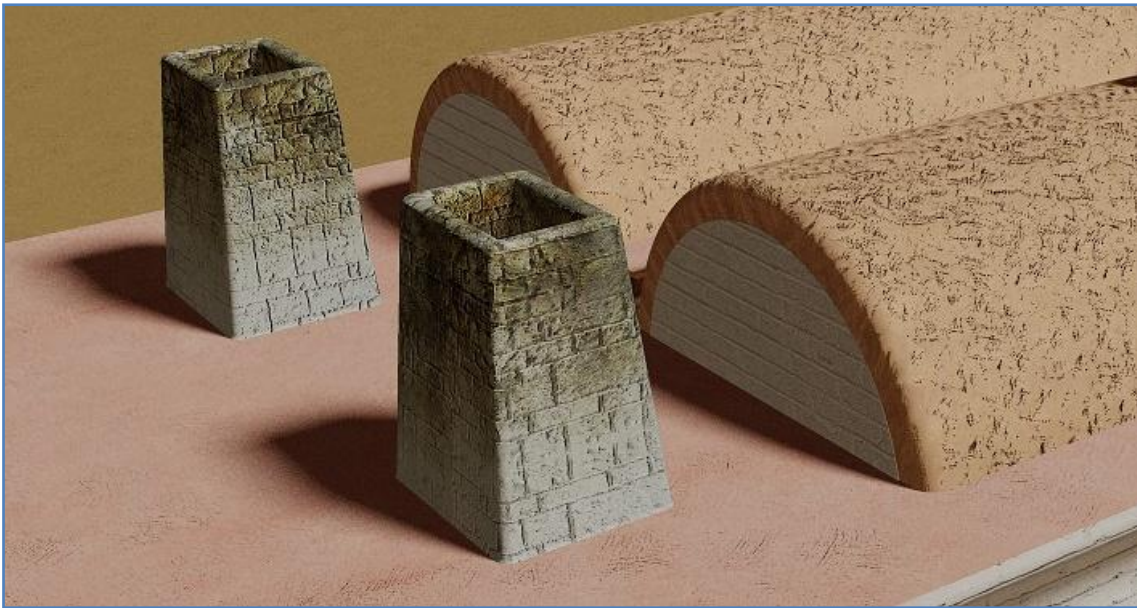


Figura 174. Textura ladrillo visto manchado chimeneas.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)



**Figura 175. Render chimeneas de la caldera de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)**

En el caso de que una vez terminado de texturizar la reconstrucción virtual, y el render obtenido con Autodesk Inventor no sea de nuestro agrado, por ejemplo la imagen sea demasiado oscura o clara, el retoque fotográfico nos permite mejorar la nitidez y el contraste de la imagen.

Pero no siempre es cuestión de mejorar la calidad de la imagen, en ocasiones es necesario aportar a la imagen más información, para dar un mayor realismo o entender mejor el funcionamiento de la máquina representada como es nuestro caso.

En la figura 176, se muestra la imagen de la caldera de la máquina de vapor, tal cual se obtiene con la herramienta render de Autodesk Inventor, pero para dar mayor realismo a la imagen, y poder entender mejor el funcionamiento de la caldera a través de la imagen, se hace necesario un retoque fotográfico.

Mediante Adobe Photoshop, se añade a la figura 176, el detalle del fuego en el horno con el que se calienta la caldera, además del humo negro que produce este fuego. También se ha introducido el vapor que se genera cuando el agua alcanza la temperatura de evaporación. Y por último se ha añadido una letra para identificar cada una de las partes de la caldera. (Figura 177)



Figura 176. Render sección de la caldera de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)



Figura 177. Ejemplo retoque fotográfico del render de la sección de la caldera de la primera máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

7.2.10.-Resultados.

Autodesk Inventor, ofrece diferentes opciones para mostrar los resultados. Una de ellas es la de generación de fotografías tomadas directamente de la fase de renderizado.



Figura 178. Render conjunto de edificios de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)



Figura 179. Render nocturno del conjunto de edificios de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)



Figura 180. Render cilindro y condensador de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Fernández Sánchez & Calderón Herrera, 2016)

Otra solución, que también se ha utilizado, es la generación de láminas, para mostrar cada uno de los elementos por separado, para apreciar mejor las características de cada uno de ellos, a partir de los cuales podría elaborarse unos planos más técnicos donde pueden incluirse despieces y acotaciones si fuera preciso. En nuestro caso las láminas¹²⁶, son las siguientes:

- Lámina 01. Alzado, planta, perfil y perspectiva de las calderas.
- Lámina 02. Alzado, planta, perfil y perspectiva del cilindro.
- Lámina 03. Alzado, planta, perfil y perspectiva del condensador.
- Lámina 04. Alzado, planta, perfil y perspectiva del balancín.
- Lámina 05. Alzado, planta, perfil y perspectiva de la máquina de vapor.

¹²⁶ Las láminas pueden verse en el apartado 9.1 de los Anexos de este trabajo.

- Lámina 06. Alzado, planta, perfil y perspectiva del conjunto de edificios.
- Lámina 07A. Comparativa del plano original de las calderas con el resultado obtenido en la reconstrucción virtual.
- Lámina 07B. Comparativa del plano original de las calderas con el resultado obtenido en la reconstrucción virtual.
- Lámina 08. Comparativa del plano original de la máquina de vapor con el resultado obtenido en la reconstrucción virtual.
- Lámina 09. Despiece de la Máquina de Vapor.

7.3.-Construcción de maqueta de la máquina de vapor.

La metodología de trabajo seguida para la construcción de la maqueta es muy similar a la metodología de reconstrucción virtual. Tienen en común los primeros pasos en los que se debe realizar una recopilación de datos, un posterior análisis, valoración y selección de la información para seguidamente realizar un análisis constructivo que incluya además un estudio de materiales y texturas.

En el proceso de construcción de la maqueta se han seguido los siguientes pasos:

1. Estudio de los planos creados con la reconstrucción virtual de los que se van a poder obtener las dimensiones de los elementos a construir.
2. Seleccionar un elemento de referencia, a partir del que se va a construir el resto de elementos de la maqueta. En este caso el elemento elegido ha sido el balancín de madera de la máquina que se ha reproducido a una escala 1:25.



**Figura 181. Balancín maqueta de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)**

3. A partir de esta referencia se ha construido el almacén del edificio donde va colocada la máquina de vapor, y sobre el que se sujetará el balancín de la máquina, y el edificio de las calderas.

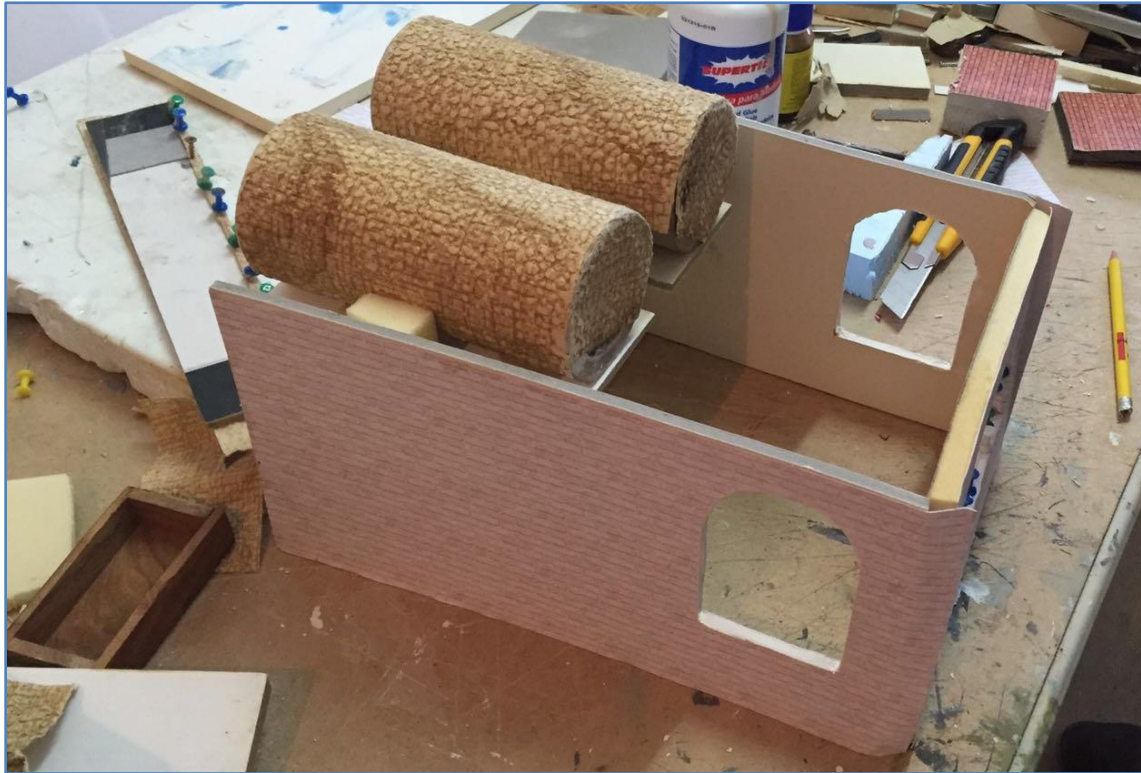


Figura 182. Almacén maqueta del edificio de las calderas de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)

4. Selección de las texturas que se emplearan en los elementos, basándose en las que se han elegido para la reconstrucción virtual, como la base de la maqueta.
5. Construcción del resto de los elementos de la maquinaria, como el cilindro, el condensador, las calderas, las conducciones.



Figura 183. Textura suelo realizada con arcilla.
Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)



Figura 184. Textura ladrillo visto realizada con papel.
Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)

6. Colocación de todos los elementos en su lugar para terminar de formar el conjunto compuesto por la máquina de vapor y su edificio, junto a la batería de calderas que alimentaban la máquina.

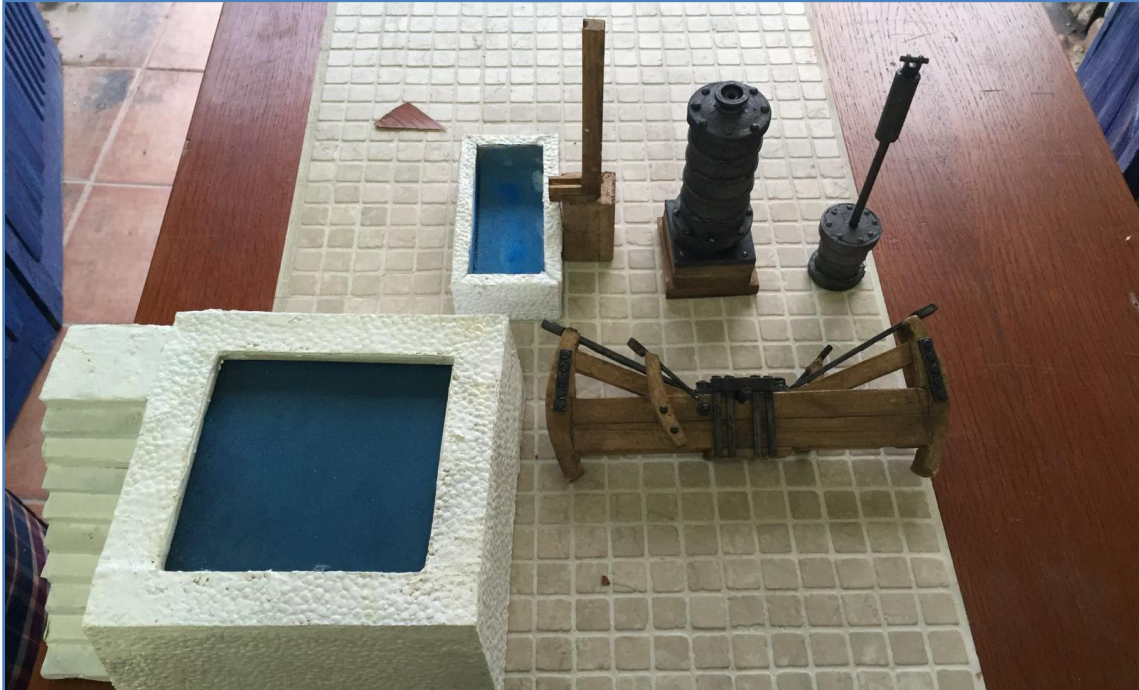


Figura 185. Balancín, cilindro, condensador y balsa de agua de la maqueta de la 1ª máquina de vapor. Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)

7. Por último se realiza un trabajo de retoque, donde se realizan los ajustes necesarios para que todo encaje, se perfilan pinturas, texturas con papel o arcilla, se aplica un proceso de envejecimiento, y se añaden detalles como lámparas, rejas, escaleras, arena, montones de leña, para obtener la mayor sensación de realismo.



Figura 186. Maqueta de la 1ª máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)

8.- CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

8.-CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

8.1.-Conclusiones.

El trabajo de investigación realizado nos ha permitido cumplir los objetivos planteados, a los que se ha ido dando respuesta a través del desarrollo del estudio. A modo de conclusiones vamos a establecer las siguientes:

1. Los avances tecnológicos que se fueron implantando en las Minas de Almadén a lo largo del tiempo han servido de referencia en el campo de la minería española y americana principalmente, tal y como lo demuestran los testimonios que aún perduran en Almadén y la multitud de documentos y trabajos realizados a partir de éstos.
2. La introducción de la máquina de vapor en las Minas de Almadén origino uno de los cambios tecnológicos más importantes acaecidos en estas minas, situándola en un contexto minero internacional de primer orden en cuanto al campo de la tecnología se refiere. Su uso durante más de 100 años avalan el grado de empleo de estas en todo el establecimiento minero.
3. Las razones para la llegada de la máquina de vapor a las instalaciones mineras de Almadén tienen multitud de aristas, pero entre ellas destaca la necesidad de modernizar la mina para alcanzar mayores cotas de producción. Para cumplir este objetivo se producen circunstancias en el entorno que propician este cambio tales como la transferencia de tecnología que se produce con la revolución industrial, la llegada a Almadén de expertos ingenieros de minas alemanes, la creación de la Academia de Minas, la publicación de bibliografía técnica especializada al alcance de los ingenieros, etc.
4. El traslado de Tomás Pérez Estala, desde Almadén a Segovia para hacerse cargo de la dirección técnica de una fábrica de paños, le obligó a abandonar el proyecto de la primera máquina, y su relevo por su hermano Manuel, contribuyeron al retraso de la instalación, junto con la falta de un conocimiento técnico por la inexistencia de

asesoramiento técnico por parte del fabricante John Wilkinson (“Iron-Master”).

5. A pesar de la importancia de la máquina para el desarrollo de los trabajos del establecimiento minero, su mantenimiento y actualización tecnológica no estuvo acorde a los avances que se fueron produciendo. Un claro ejemplo de ello fue la construcción e instalación fallida de la segunda máquina de vapor de la mina, que obligó a mantener la primera a pesar de su estado de obsolescencia hasta el último tercio de siglo XIX.
6. La implantación de nuevas tecnológicas en la Mina de Almadén nunca han obedecido a criterios de mejora de productividad, sino que se han efectuado para dar respuesta a las demandas de producción, que difícilmente podían ser cumplidas con las técnicas y equipos existentes.
7. Con la instalación de las nuevas máquinas de vapor se pudo aumentar la profundidad de la explotación minera, así como mantener e incluso aumentar su producción. Estas máquinas se emplearon en la mayoría de los trabajos, en el desagüe, extracción, ventilación, preparación del mineral, talleres, e incluso en alumbrado y perforación en sus últimos años de utilización, coincidiendo con la llegada de la electricidad.
8. La utilización de la máquina de vapor supone una mejora de las condiciones laborales de los mineros y los “forzados”, encargados de la extracción del agua desde los diferentes niveles de la mina a “Fuerza de Sangre” hasta la superficie, ya que quedaron exentos de estas labores desde la instalación de esta máquina para el desagüe en el pozo de San Teodoro.
9. El desconocimiento técnico de los operarios y montadores de las diversas máquinas de vapor, junto con la falta de financiación, fueron una fuente de continuas averías y malfuncionamiento de las máquinas. Todo ello derivado de los errores de diseño, cálculos e instalaciones que provocaban una pérdida de rendimiento de éstas.

10. La falta de agua y su mala calidad, como materia prima necesaria para su funcionamiento, fue otro de los puntos débiles que ocasionó múltiples problemas durante su marcha. El agua, rica en cal, aceleraba el envejecimiento de las calderas y demás piezas por las que circulaba. Por otro lado, la utilización de madera, o matorrales y retama como combustible en lugar de carbón, con un poder calorífico muy inferior a éste, además de ocupar un mayor volumen para el mismo poder calorífico, se consumía rápidamente y obligaba a un mayor número de cargas. La falta de un mantenimiento preventivo como el engrasar cadenas, apretar uniones, o cambiar piezas de previsible rotura eran motivo de paradas y averías continuas.
11. Este estudio de investigación ha permitido comprobar 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 y sin volante de inercia, con unas pequeñas modificaciones realizadas por Tomás Pérez Estala. Modificaciones que lejos de mejorar la máquina, la empeoraron, como fueron la presencia de un enorme balancín, la inexistencia de una válvula que cerrase la comunicación del cilindro con la caldera cuando fuese necesario, o una mala distribución de las conducciones.
12. La llegada de la electricidad a principios del siglo XX, fue el punto final a los problemas ocasionados por las máquinas de vapor, produciéndose un nuevo salto evolutivo, con la aplicación de esta nueva tecnología en todas las labores mineras.
13. La reconstrucción virtual realizada ha permitido entender mejor el funcionamiento y la historia de esta máquina, mostrando además una nueva forma de recuperar el patrimonio tecnológico minero desaparecido. La primera utilidad que se le ha podido dar a dicha reconstrucción virtual ha sido la elaboración de una maqueta real.
14. El uso de los programas informáticos de modelado, junto con programas de retoque fotográfico han sido dos herramientas empleadas para recuperar de forma virtual como era la realidad de este importante elemento del patrimonio minero industrial de estas

minas hoy totalmente desaparecido, cuyo resultado final se pretende publicar en una plataforma on-line de modelos 3D y realidad virtual (VR) para que puedan ser visitados por todos aquellas personas interesadas en estos temas. Este tipo de trabajos es aplicable a cualquier campo de la Ingeniería y la Arquitectura en el que se pretenda recuperar objetos, construcciones o maquinas que han desaparecido y que tiene un valor histórico y/o tecnológico importante, empleando para ello su reconstrucción en 3D y la posibilidad de la obtención física del elemento de estudio a través de una maqueta.

8.2.-Futuras líneas de investigación.

Como complemento final del trabajo de investigación desarrollado, se incluyen a continuación futuras líneas de trabajo que se han podido detectar, enfocadas al campo de la historia de la ciencia y la tecnología minera de los numerosos elementos patrimoniales que han formado la actividad minera de la comarca de Almadén.

El interés por la puesta en valor del patrimonio histórico-tecnológico de las Minas de Almadén puede verse favorecido por la utilización de las potencialidades que ofrecen las aplicaciones informáticas de la ingeniería gráfica, cubriendo una gran parte del vacío que existe sobre la evolución tecnológica de estas minas en determinados momentos de su historia.

A continuación se mencionan algunas de las futuras líneas de trabajo que hemos considerado que podrían servir de complemento a esta tesis doctoral.

1. Ampliar la reconstrucción virtual a los diferentes elementos y máquinas que conformaban el pozo de San Teodoro a principios del siglo XIX, obteniendo de este modo la visión de conjunto de todas las máquinas instaladas en el brocal del pozo. Con ello se conseguiría la recuperación de elementos tan significativos como el malacate de caballerías o la máquina para cargar y descargar el mineral extraído en los vagones y carros donde se trasladaban hasta la preparación mecánica.
2. Creación de visitas virtuales al Establecimiento Minero mediante el empleo de la realidad aumentada como un paso más sobre las reconstrucciones virtuales. De este modo se podría ofrecer al público que por impedimentos físicos no puede visitar el Parque Minero de Almadén una oportunidad de conocer el increíble mundo subterráneo de esta mina y su evolución tecnológica a lo largo de los tiempos.
3. Después del estudio de la implantación de la tecnología de la máquina de vapor en las Minas de Almadén, un importante campo de investigación que este trabajo ha sacado a la luz es el que está vinculado a todos aquellos aspectos de carácter laboral, social, cultural e incluso sanitarios, que trajo consigo el empleo de este tipo

de equipos en una mina como la de Almadén, tan reticente en algunas ocasiones a los cambios, planteándose la necesidad de este nuevo estudio para poder completar el ciclo de la máquina de vapor en estas minas.

4. Una de las figuras más destacadas en la puesta en marcha de las máquinas de vapor en las Minas de Almadén durante el último tercio del siglo XIX fue el ingeniero de minas José Monasterio y Correa. Asesinado en el año 1874 dentro de las instalaciones mineras, y que hasta la fecha poco se ha escrito sobre este insigne ingeniero, abriéndose una oportunidad de profundizar en el conocimiento de la vida de este hombre como ingeniero de minas y como uno de los principales valedores de la implementación de la tecnología de vanguardia en el mundo de la minería.

9.-BIBLIOGRAFÍA

9.-BIBLIOGRAFÍA.

9.1.-Bibliografía.

- Agacino, E. (1897). *Cartilla de Máquinas de Vapor*. Cádiz: Tipografía Gaditana.
- Almansa Rodríguez, E. (2012). *El Real Sitio de Almadenejos (Siglos XVIII y XIX). En el Contexto Minero-Metalúrgico*. Tesis Doctoral. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Amengual, R., & Patricio Sáiz, J. (2007). Trayectorias tecnológicas de las máquinas térmicas e industria del motor en España-. In F. BBVA (Ed.), *Del Metal al Motor. Innovación y atraso en la historia de la industria metal-mecánica española*. España.
- Anjorín, S.A., & Ogundana, T.O. (2016). Evaluation of fire resistance properties of selected wood species used as building materials. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 3, 390-397.
- Anónimo. (1779). Privilegios. *La Gaceta de Madrid*, 9 Junio.
- Anónimo. (1848). Mejoras Importantes que Reclaman las Minas de Almadén. *Guía del Minero, Periódico Científico, Industrial y Mercantil.*, 1, 54-56, 61-64, 73-75, 83-85, 93-95.
- Anónimo. (1850). Sobre la Máquina de Vapor de Almadén. *Revista Minera*, 1, 83-86.
- Anónimo. (1866). *Lecciones del Laboreo de Minas*. Oviedo: Imprenta de Cornelio y Compañía, plazuela de la Fortaleza.
- Anónimo. (1907). Resumen y Conclusiones del Informe Oficial Sobre el Establecimiento Minero de Almadén, por los Ingenieros Sres. Luis Mariano Vidal, Ramón Adán de Yarza y Cesar Rubio. *Revista Minera*, 58, 331-333.
- Anónimo. (1908). Alumbrado de minas por medio de acetileno. *Revista Minera Metalúrgica y de Ingeniería*, 59, 525-528.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1856a). *Expediente de Propuestas de Mejoras en las Minas de Almadén*. Legajo FA-2268/15: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1856b). *Expediente instruido a consecuencia de la proposición presentada por D. Antoni Luis Ancionla para verificar por doce años el servicio de desagüe, extracciones e introducciones de estas minas*. Legajo FA-2268/15: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1867). *Expediente en el que D. Carlos Casas del Comercio, solicita se le contrate con notable economía para el Estado, el servicio de extracción y arrastre de minerales y el desagüe de las Minas de Almadén*. Legajo FA-2268/1: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.

- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1867b). *Expediente en solicitud de un crédito extraordinario para mejoras y reformas en el establecimiento años 1867 y 1868*. Legajo FA-2268/27: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1869). *Expediente relativo a las proposiciones presentadas por Llano Richard para establecer las máquinas de vapor necesarias para el Fahrkunt, y para hacer durante 15 años los servicios de desagüe, extracción e introducción de materiales y operarios de estas minas años 1868 y 1869*. Legajo FA-2268/30: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1907). *Expediente de la rotura de la máquina de vapor del pozo de San Aquilino de 1906 a 1907*. Legajo FA-735/1: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1909). *Expediente de la rotura de la máquina de vapor del pozo de San Aquilino de 1906 a 1909*. Legajo FA-620/2: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1910). *Anteproyecto adquisición maquinaria del pozo de San Aquilino de 1907 a 1910*. Legajo FA-699/5: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1912). *Actas de reconocimientos de máquinas de 1907 a 1912*. Legajo FA-652/2: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1919). *Electrificación de la Primera Parte de la Máquina de San Teodoro*. Legajo FA-1732/3: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Minas de Almadén. (1919-1920). *Proyecto Para una Nueva Central Eléctrica*. Legajo FA-1564/4: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.
- Archivo Histórico Nacional. (1798). *Gastos de las Bombas de Vapor 1787-1798*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 1488, caja 1, 2 y 3: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1805). *Gastos de las Bombas de Vapor 1799-1805*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 1275, caja 3, cuaderno 1: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1805-1819). *Visitas Generales de las Minas de Almadén y Almadenejos*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 363, caja 2.: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1806). *Expedientes de la Superintendencia 1803-1806*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 108, caja 1.: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1819-1829). *Visitas Generales de las Minas de Almadén y Almadenejos*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 363, caja 2.: Manuscrito no publicado. Madrid.

- Archivo Histórico Nacional. (1830-1836). *Visitas Generales de las Minas de Almadén y Almadenejos*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 363, caja 1.: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1837-1845). *Visitas Generales de las Minas de Almadén y Almadenejos*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 358, caja 1.: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1846-1850). *Visitas Generales de las Minas de Almadén y Almadenejos*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 358, caja 2.: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1866-1880). *Partes impresos y manuscritos sobre las tiradas que hacía la máquina de vapor de Almadén*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 435.: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1906). *Informe de la comisión de visita al establecimiento de Almadén*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 3094 caja 2: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1916). *Informe Técnico-Industrial sobre las Minas de Almadén*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 3116 caja 1: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1918). *Inventario General de las Minas y sus Anejos*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 2689: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1919). *Memoria del Sr Souvirón*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 3116 caja 1: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1926). *Memoria sobre las Minas de Almadén*. FF.CC. Minas de Almadén.: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1927). *Proyecto de Ferrocarril de vía normal de Almadenejos a Almadén*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 2729 caja 1: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Archivo Histórico Nacional. (1933). *Memoria sobre las Minas de Almadén*. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 3129: Manuscrito no publicado. Madrid.
- Argudo García, J.J. (2009). *La Gestión del Agua en la Minería del Distrito Linares-La Carolina (Jaén) en los Siglos XIX y XX*. España: De Re Metallica.
- Ashton, Thomas S. (1963). *Iron and Steel in the Industrial Revolution*, . Manchester.
- Bandarán, A. (1838). *Tratado elemental de dibujo para los estudios de la Academia Especial de Ingenieros*. Madrid: Imprenta de D. Eusebio Aguado.
- Barrinaga y Corradi, L. (1881). Tranvías aéreos de Bilbao. *Revista de Obras Públicas*, 9, 99-102.
- Bernaldez, F., & Rúa Figueroa, R. (1861). *Memoria sobre las Minas de Almadén y Almadenejos*. Madrid: Imprenta Nacional.
- Betancourt, A. (1783). *Memorias de las Reales Minas de Almadén. Memoria 1: Sobre las aguas existentes, y sobre las máquinas y demás concerniente*

- a su extracción. *Memoria 2: Sobre las máquinas existentes, sus ventajas y defectos y algunos medios para remediarlos. Memoria 3: Sobre las operaciones que se realizan en el cerco de buitrones.* Madrid: Biblioteca Nacional.
- Betancourt, A. (1792). *Catálogo de la Colección de Modelos, Planos y Manuscritos, que de orden del primer secretario de Estado ha recogido en Francia don Agustín de Betancourt y Molina.* Biblioteca del Palacio Real. Sig.II/823. Madrid.
- Betrán Pérez, C. (1999). La transferencia de tecnología en España en el primer tercio del siglo XX: el papel de la industria de bienes de equipo. *Revista de Historia Industrial*, 15, 41-81.
- Bowles, G. (1775). *Introducción a la historia natural, y a la geografía física de España.* Madrid.: Imprenta de D. Francisco Manuel de Mena.
- Cabo Hernández, J. (1995). Comienzos del maquinismo en la minería española. Práctica empresarial y técnica minera inglesas en Sierra Morena: "The Guadalcanal Silver Mining Association" (1847-1850). *Revista de Estudios Extremeños*, 3, 745-773.
- Calderón Alberola, C. (1997). "La Crujía" (Real Cárcel de Forzados). In D. P. d. C. Real (Ed.), *Almadén, Apuntes Históricos de la Vida de un Pueblo.* Ciudad Real (España): Imprenta Provincial, Ciudad Real.
- Calderón Herrera, D. (2013). *La energía del vapor en las minas de Almadén -La máquina de vapor-*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Canalejas y Casas, J. (1864). *Curso elemental de mecánica. Teoría y aplicada.* Madrid. España: Carlos Bailly-Bailliere.
- Cano Sanchiz, J.M. (2010). *Tecnología Córnicica Para el Desagüe de Minas: Motores y Casas Tipo Cornish* (Vol. 15). España: De Re Metallica.
- Cañizares Ruiz, M.C. (2003). *Patrimonio Minero-Industrial en Castilla La Mancha: el área Almadén-Puertollano* (Vol. 31). ALICANTE: Anales de la Universidad de Alicante.Instituto Universitario de Geografía.
- Cañizares Ruiz, M.C. (2008). *El Atractivo Turístico de una de las Minas de Mercurio Más Importantes del Mundo: El Parque Minero de Almadén (Ciudad Real)*: Cuaderno de Turismo, nº 21. Universidad de Murcia.
- Carabaza Bravo, J, García Sanchez, E., Hernández Bermejo, J. E., & Jiménez Ramírez, A. (2004). *Árboles y Arbustos de Al-Andalus.* Madrid (España): Ministerio de Educación y Ciencias.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Carcavilla, L., & Palacio, J. (2010). *Proyecto Geosites. Aportación Española al Patrimonio Geológico Mundial.* Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Casado Galván, I. (2009). Apuntes para un estudio del diseño industrial. *Contribuciones a las Ciencias Sociales.*
- Castillo Martos, M. (2006). *Bartolomé de Medina y el Siglo XVI. Un Sevillano lleva la Revolución Tecnológica a América.* Sevilla: Excmo. Ayuntamiento de Sevilla.

- Cavanillas, R. (1838). *Memoria sobre las Minas de Almadén*. Madrid: Imprenta del Colegio de Sordo-Mudos.
- Cervantes, J. (1896). *El Vapor. Su producción y su empleo con un catálogo que contiene la Historia, Descripción, y Aplicaciones de las calderas construidas por la sociedad CIA BABCOCK y WILCOX*. New York y Londres: The Babcock and Wilcox Company.
- Cia, P. (1839). *Memoria sobre la Máquina de Vapor de Almadén. Anales de Minas Tomo II*. Madrid: Imprenta de Alberto.
- Cioranescu, A. (1965). *Agustin de Betancourt, su obra técnica y científica*. La Laguna de Tenerife: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto de Estudios Canarios. Universidad de la Laguna.
- Cuevas Ruiz, F. (2009). *El Canal Subterráneo de las Minas de Orbo*. León. España: Conferencia en el Museo de la Siderurgia de Sabero.
- Cunningham, Robert E. (2009). Historias del vacío: la ingeniería y la nada. *Petrotecnia*, 92-105.
- Chacón y Orta, F. (1859). *Breve idea de las máquinas de vapor y de sus aplicaciones a la navegación* (Vol. 1 y 2). San Fernando: Imprenta y Librería Española.
- De Aldana, L. (1854). Estado de la cuestión del desgüe en las minas del Jaroso de Sierra Almagrera. *Revista Minera*, 5.
- De la Cruz Martínez, J. (1993). *Chillón. Policromía de mi Pueblo*. Ciudad Real: Excmo. Ayuntamiento de Chillón y Excmo. Diputación de Ciudad Real.
- De Quintana, Diego L. (1861). Rasgos especiales de una legislación minera para la isla de Cuba. *Revista Minera*, 12.
- Desconocido, D. J. A. L. (1833). *Método práctico para el dibujo lavado, pintura de aguada y de iluminación*. Barcelona: Imprenta de J. Verdaguer.
- Dobado González, R. (1989). *El Trabajo en las Minas de Almadén, 1750-1855*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- El Bassam, N. (2010). *Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications*. London • Washington, DC.
- Escosura y Hevia, A. (1850). Sobre la Máquina de Vapor de Almadén. *Revista Minera*, 1, 83-86.
- Escosura y Morrogh, L. (1878). *Historia del tratamiento metalúrgico del azogue en España*. Madrid.: Imprenta y Fundación de M. Tello.
- Escudero, A. (2008). Transferencias Tecnológicas en la Minería del Hierro Españolas (1850-1936). *Boletín Geológico y Minero*, 119, 297-308.
- Esparza, J.J. (2008). La primera máquina de vapor fue española: Jerónimo de Ayanz. www.Elmanifiesto.com Consultado el Jueves 03 de Enero de 2013.
- Ezquerria del Bayo, J. (1838). Apuntes geognósticos y mineros sobre una parte del mediodía de España. *Anales de Mina*, 1, 322-359.
- Ezquerria del Bayo, J. (1839). *Elementos del Laboreo de Minas precedidos de algunas nociones sobre geognosia y la descripción de varios criaderos de minerales, tanto de España como de otros reinos de Europa* (1^o ed.). Madrid: Imprenta de Don Salvador Albert.

- Ezquerro del Bayo, J. (1844). *Datos y observaciones sobre la industria minera, con una descripción característica de los minerales útiles, cuyo beneficio puede ser objeto de las empresas*. Madrid: Imprenta de Don Antonio Yenes.
- Ezquerro del Bayo, J. (1851). *Elementos del Laboreo de Minas precedidos de algunas nociones sobre geognosia y la descripción de varios criaderos de minerales, tanto de España como de otros reinos de Europa* (2º ed.). Madrid: Imprenta de Don Salvador Albert.
- Farías Dúran, B.A. (2003). *Concesión Minera, Historia y Nulidad*. Memoria de prueba para optar al Grado: Licenciado en Ciencias Jurídicas. Iquique. (Chile): Universidad Arturo Prat. Escuela de Derecho.
- Fernandez, A.G. (1778). *Compendio de la geometría elemental, 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 Compañía.
- Fernández Aparicio, J. (2004). *LA MÁQUINA DE VAPOR O BOMBA DE FUEGO DEL POZO DE SAN TEODORO DE LA MINA DE ALMADÉN (1783 - 1805)*. Almadén: Informe no publicado de la Fundación Francisco Javier de Villegas.
- Fernández Bolea, E. (2010). *La fuerza del vapor en la minería de Sierra Almagrera (Almería): un vestigio felizmente preservado*. Universidad de Murcia: AREAS: Revista Internacional de Ciencias Sociales.
- Fernández, C., Caballero, A., & Morano, C. (1983). *Nuevo Documento Epigráfico para la Localización de Sisapo*. Madrid: I Simposio de Epigrafía de Hispania de la Sociedad Española de Estudios Clásicos.
- Fernández, M., Tapias, R., Alaejos, J., Salvador, L., González, J.A., Alfaro, A., . . . Alesso, P. (2005). Leguminosas lechosas de rápido crecimiento para la producción de biomasa. *Vida Rural*.
- Fernández Sánchez, A., & Calderón Herrera, D. (2016). *Reconstrucción Virtual de la Primera Máquina de Vapor de las Minas de Almadén 1805*: Documento no publicado.
- Fernández Soba, P. (1865). Estudio sobre la Máquina de Vapor llamada Nueva, establecida en las inmediaciones del brocal del pozo de San Teodoro de las Minas de Almadén. *Revista Minera*, 16.
- Figuier, L. (1867). *Los Grandes Inventos Antiguos y Modernos en Las Ciencias, La Industria y Las Artes*. Madrid: Imprenta y Librería de Gaspar y Roig.
- Fuentes Ferrera, D. (2010). *Evolución de la Mina de Almadén entre 1900 y 1931, su interpretación a través de los planos de labores del piso 11*: Universidad de Córdoba.
- Fuentes Ferrera, D. (2012). *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.
- Gallardo Fernandez, F. (1808). *Origen, progresos y estado de las rentas de la Corona de España, su gobierno y administración. Comprende las minas y siete rentillas*. (Vol. 6).

- García de Miguel, J.M. (2010). Rutas Históricas de la Minería en España. Patrimonio Histórico Minero. In C. E. d. E. y. C. c. I. (CEXECI) (Ed.), *Patrimonio Cultural Turismo y Cooperación con Iberoamérica* (pp. 71-104). Badajoz: Centro Extremeño de Estudios y Cooperación con Iberoamérica.
- García Tapia, N. (1987). La máquina de vapor inventada y patentada en 1606 por Jerónimo de Ayanz. *Tecnica Industrial*, 186, 3-11.
- García Tapia, N. (1992). *Del dios del fuego a la máquina de vapor*. Valladolid: Instituto de Ingenieros Técnicos de España.
- García Tapia, N. (1993). *Les premières applications de la vapeur: le cas de Jerónimo de Ayanz*. San Francisco: Relations Science-Technique.
- García Tapia, N. (1994). *Patentes de invención española en el siglo de oro*: Oficina Española de Patentes y Marcas. Ministerio de Industria y Energía.
- García Tapia, N. (2001). *Un inventor navarro. Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1553-1613)*. Pamplona.
- García Tapia, N. (2004). *Ingeniería e invención en el Siglo de Oro: El caso de Jerónimo de Ayanz*. Paper presented at the Los orígenes de la ciencia moderna. Actas años XI y XII., Canarias. Fundación Canaria Orotova de Historia de la Ciencia.
- García Tapia, N., & Carrillo Castillo, J. (2002). *Tecnología e Imperio. Ingenios y Leyendas del Siglo de Oro: Turriano, Lastanosa, Herrera, Ayanz*. Madrid.
- Gay, A., & Dosis, S. (2006). *Máquina a vapor*. Buenos Aires.: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Gil Bautista, R. (2012). *Almadén y Sus Reales Minas de Azogue en el Siglo XVIII*. Tesis Doctoral. Alicante: Universidad de Alicante.
- Gomez de Salazar, I. (1871). Sección General - Maquinaria -. *Revista Minera. Periódico Científico Industrial y Administrativo.*, 22, 561-562.
- Gómez Rivero, M., & Palomeque López, M.C. (2003). Los inicios de la revolución industrial en España: la fábrica de algodón de Sevilla (1833-1836). *Revista del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales*, 46, 185-222.
- González Tascón, I., & Fernández Pérez, J. (1990). *Memorias de las Reales Minas del Almadén*: Secretaria General del Plan Nacional de I+D. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.
- Güémez, J. (2004). *Máquina Térmica de Savery*. Departamento de Física Aplicada: Universidad de Cantabria.
- Guillman, F. (1885). *Elementos de Minería o Laboreo de Minas*. Madrid: Gras y Compañía, Editores.
- Gutierrez Medina, M L. (1994). *"La España Industrial", 1847-1853. Un modelo de innovación tecnológica*. España: Universidad de Barcelona.
- Helguera Quijada, J. (1999). Tomás Perez Estala y la Introducción de la Primera Máquina de Vapor en las Minas de Almadén a finales del siglo

- XVIII *Atlas de la Industrialización de España: 1750-2000* (Vol. 2, pp. 827-844): Alberto Carreras. Universidad de Barcelona.
- Helguera Quijada, J., & Torrejón Chaves, J. (2001). La Introducción de la Máquina de Vapor. *Historia de la Tecnología en España*. (Vol. I). España.: VALATENEA, S.L.
- Hernández Sobrino, A. (1992). *Evolución de los Métodos de Laboreo en las Minas de Almadén*. (Vol. 8): Canteras y Explotaciones 25 Aniversario.
- Hernández Sobrino, A. (2006). Parque Minero de Almadén. *Tierra y Tecnología. Revista de información geológica*, 29, 3-14.
- Hernández Sobrino, A. (2010). *Los esclavos del Rey. Los forzados de su majestad en las minas de Almadén, años 1550-1800*. Ciudad Real: Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas.
- Hernández Sobrino, A., & Fernández, J. (2005). *La Bomba de Fuego en Almadén*. Ciudad Real: Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas.
- Herrera Canales, I. (1992). *Los socavones aventureros*. Santiago de Chile.: II Reunión de Historiadores de la Minería Latinoamericana.
- Hunt, M. (2009). La utilización de mineral de mercurio como pigmento en ámbitos funerarios de época Calcolítica en el Sur de la Península Ibérica, determinación de los depósitos minerales utilizados, redes de distribución y uso a través de su caracterización composicional e isotópica. *VIII Congreso Ibérico de Arqueometría / coord. por María Esperanza Sáiz Carrasco, Raúl López Romero, M^a Ascensión Cano Díaz-Tendero, Juan Carlos Calvo García*, 123-132.
- J.A., & L. (1833). *Método Práctico para el Dibujo Lavado, Pintura de Aguada y de Iluminación*. Barcelona: Imprenta de J. Verdaguer.
- Lang, M. (2002). *La tecnología alemana en la minería virreinal*. La Rioja. Universidad de la Rioja.: Actas VIII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas.
- López Burgos, M. A. (2005). La minería española en la obra Impressions Of Spain de Albert F. Calvert. *Cuadernos Geográficos*, 37, 227-270.
- Madoz, P. (1845). *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. P. Madoz y L. Sagasti.
- Malo de Molina, M. (1886). *Manual del maquinista. Tratado descriptivo de mecánica y maquinaria y en especial de sus aplicaciones a las minas*. Cartagena: Tipografía y Litografía de Marcial Ventura.
- Malo de Molina, M. (1889). *Laboreo de Minas* (Vol. 1). Cartagena: Establecimiento tipo-litográfico de Marcial Ventura.
- Malo de Molina, M. (1891). *Laboreo de Minas* (Vol. 2). Cartagena: Establecimiento tipo-litográfico de Marcial Ventura.
- Mansilla Plaza, L. (1997). *El Patrimonio Minero Metalúrgico de Almadén (Ciudad Real, España)*. Quito: Actas del Primer Simposio sobre: Arqueología Industrial: Conservación y Recuperación del Patrimonio Minero-Metalúrgico en el Mundo Hispánico. SEDPGYM.

- Mansilla Plaza, L. (2011). *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).
- Mansilla Plaza, L. (2013). *Metodología para la valorización del patrimonio minero industrial de Castilla la Mancha*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Mansilla Plaza, L., & Fernández, M. F. (2010). *La Academia de Minas de Almadén. Doscientos Veinticico Años de Historia*. Actas VIII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Tecnologías: Universidad de Castilla La Mancha y Universidad de Oviedo.
- Mansilla Plaza, L., & Iraizoz Fernández, J.M^a. (2012). Aproximación al Laboreo de Minas y a la Metalurgia en las Minas de Almadén (Ciudad Real). *De Re Metallica*, 19, 79-93.
- Mansilla Plaza, L., & Puche Riart, O. (1986). *Almadén, 2.500 años de Extracción del Mercurio: IV Simposio Sobre Enseñanza de la Geología*. Universidad del País Vasco.
- Martinez Martinez, M. (2004). LOS GITANOS EN EL REINADO DE FELIPE II (1556-1598). EL FRACASO DE UNA INTEGRACIÓN. *Chronica Nova. Universidad de Almería.*, 30, 401-430.
- Martinez y Tacón, J.J. (1835). *Descripción de Las Máquinas de Vapor y de sus Más Importantes Aplicaciones*. Madrid: Imprenta de D. León Amarita.
- Matías, R. (2004). Ingeniería Minera Romana. In TRAIANVS (Ed.), *Elementos de Ingeniería Romana*. Congreso Europeo "Las Obras Públicas Romanas", Tarragona.
- Matilla Tascón, A. (1958). *Historia de las Minas de Almadén, Vol 1: desde la época romana hasta 1645*. Madrid: Minas de Almadén e Instituto de Estudios Fiscales.
- Matilla Tascón, A. (1987). *Historias de las Minas de Almadén, Vol 2: desde 1646 hasta 1799*. Madrid: Minas de Almadén e Instituto de Estudios Fiscales.
- Menéndez Navarro, A. (1990). *El Real Hospital de Mineros de Almadén: Génesis y Florecimiento de un Proyecto Asistencial, 1752-1809* (Vol. 10): Acta Hispanica ad Medicinae Scientiarumque Historiam Illustrandam Ministerio de Fomento. (1912). *Memoria relativa a los servicios de la Dirección General de Agricultura, Minas y Montes*. (Vol. 2). España.: Ricardo F. de Rojas.
- Molina de las Heras, J.C., & Calderón Herrera, D. (2016). Maqueta de la Primera Máquina de Vapor de Minas de Almadén.
- Moncada, G. (1902). *Elementos de laboreo de minas*. Cartagena: Imprenta José Requena.
- Morete de Valera, J. (1803). *Las Minas de Almadén. Colección de Planos de las Reales Minas de Almadén*. Madrid: Museo Nacional de Ciencia y Tecnología.

- Müller, E.A. (2004). *Termodinámica Básica: máquinas de vapor*. España: Publidisa S.A.
- Muñoz Sumozas, A. (1997). *La Plaza de Toros (Un Hexágono Lleno de Historia)*. Ciudad Real: Universidad Popular. Grupo de Estudios de Almadén y Comarca.
- Nadal, J. (1999). Las máquinas de vapor fijas de La Maquinista Terrestre y Marítima, SA. *Revista de Historia Industrial*, 16, 115-161.
- Nieves Medina, A. (2006). *De Locomotoras de Vapor* (Vol. 13). Mexico: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Odrizola, J. (1839). *Mecánica aplicada a las máquinas que opera o Tratado teórico y experimental sobre el trabajo de las fuerzas*. Madrid: Imprenta del Colegio de Sordo-Mudos
- Ortiz-Villajos, J.M. (2005). *Importancia de las patentes para los primeros fabricantes de máquinas de vapor en España: Nuevo Vulcano, La Maquinista Terrestre y Marítima y Alexander Hermanos*. Galicia: VIII Congreso de la AEHE: "La Industria y el Mercado Mundial: el cambio de ventaja comparativa en perspectiva histórica".
- Oyarzabal, E. (1880). *Reseña Histórica y Descriptiva de las Minas de Mercurio de Almadén*. (Vol. 5). Madrid: Anales de la Construcción y de la Industria.
- Palacios, D. (1890). *Tratado práctico de calderas de vapor*. México.: Oficina TIP. de la Secretaria de Fomento.
- Papín, D. (1707). *Nouvelle maniere pour lever l'eau par la force du feu*. Londres: A Caffell.
- Perez, A. (1868). *Curso de mecánica aplicada a las máquinas de vapor*. Segovia: Imprenta de D. Pedro Ondero.
- Perez de Perceval, M.A. (1989). *La minería almeriense contemporánea (1800-1930)*. Almería.
- Pérez de Perceval Verde, Miguel A. (2012). Las Élités Mineras Españolas de Medios de Siglo XIX. Relevo en el Liderazgo de la Explotación de los Minerales. *Collection de la Casa de Velázquez*, 131, 69-88.
- Pérez de Perceval Verde, Miguel A., López-Morell, Miguel A., & Sánchez Rodríguez, A. (2006). *Minería y Desarrollo Económico en España*. Madrid.
- Pontes y Fernández, J.M. (1900). *Historia de la antigua ciudad de Sisapón, hoy Almadén del Azogue*. Madrid: Imprenta y Fotograbado de Enrique Rojas.
- Poveda Ramos, G. (2001). La tecnología mecánica y su ingreso a Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 25(95), 253-267.
- Prado, C.d. (1846). *Minas de Almadén, de la constitución geológica de sus criaderos, con una noticia sobre el sistema seguido de laboreo y en el beneficio de sus minerales*. Madrid: Imprenta y Fundición de Don Eusebio Aguado.
- Prado, C.d. (1848). *Minas de Almadén, de las vicisitudes porque han pasado desde la Guerra de la Independencia y particularmente de los adelantos obtenidos en su conservación y fomento mientras estuvieron al cargo del*

- Ingeniero Don Casiano del Prado*. Madrid: Imprenta y Fundición de Don Eusebio Aguado.
- Prior Cabanillas, J.A. (2006). *La pena de minas: los forzados de Almadén, 1646-1699*. Ciudad Real: Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas.
- Prior Cabanillas, J.A. (2012). *El Fondo Documental de las Reales Minas de Azogue de Almadén Custodiado en el Archivo Histórico Nacional: Fuente para la Historia de los Bilettes*: Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural del Ministerio de Defensa.
- Puche Riart, O. (2001). La Minería No Energética. *Historia de la Tecnología en España, Tomo 2*, 219-232.
- Puche Riart, O., Jordá Bordehore, L., & Mazadiego Martínez, L.F. (2005). La minería de los metales y la metalurgia en el siglo XIX *La minería de los metales y la metalurgia en Madrid (1417-1983)* (pp. 79-143). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Quer, J. (1778). *Flora Española (1762-1778)*. Madrid.
- Rico, M., & Santisteban, M. (1858). *Manual de física y Elementos de química*. Madrid: Imprenta de D. Eugenio Aguado.
- Riera, S. (1992). *Tecnología en la Ilustración*. (Vol. 34). Madrid: Ediciones AKAL.
- Rodriguez Ennes, L. (2006). Minería romana, minería castellana, minería de la América colonial española: historia de un tracto sucesivo. *Anuario de la Facultad de Derecho de la Universidad de Coruña (AFDUDC)*, 10, 993-1010.
- Rodriguez Ferrer, M. (1881). *Agua, Azogue y Carbón. Cartas Descriptivas de Una Expedición de Estudio a los Hervideros de la Fuensanta, Minas de Almadén Y a las de Hornaguera en Puertollano en 1873 y 1874*. Madrid: Imprenta de Manuel G. Hernandez.
- Rodriguez, S. (1855). Cálculo de la Nueva Máquina de Desagüe de Almadén. *Revista Minera*, 6.
- Romero, V. (Cartographer). (1830). Plan, perfil y cortes de las calderas de la máquina de vapor.
- Rosés, J.R. (2001). *La difusión de la tecnología extranjera en España durante la Revolución Industrial: El caso de la industria algodonera catalana (1784-1861)*. Zaragoza: VII Congreso de la Asociación de Historia Económica.
- Rúa Figueroa, R. (1857). Mechas de seguridad de Bickford. *Revista Minera*, 8.
- Rumeu de Armas, A. (1990). *El Real Gabinetes de Máquinas del Buen Retiro. Origen, fundación y vicisitudes. Una empresa técnica de Agustín de Betancourt*. España: Fundación Juanelo Turriano.
- Sánchez Francés, R., Ordax de Castro, C., Quijano Pedrosa, A., & Antolín Giraldo, G. (2008). VARIABLES DE INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD DE BIOMASA DE MATORRAL EN LA MANCOMUNIDAD DE EL ALTO JARAMA-ATAZAR. *Boletín del CIDEU* 5, 53-65.

- Sánchez Gómez, J. (1994). La Lenta Penetración de la Máquina de Vapor en la Minería del Ámbito Hispano. *Arbor : Ciencia, pensamiento y cultura*, 149, 203-241.
- Sánchez Gómez, J. (1997). *Minería Metalurgia en la Edad Moderna* (Vol. 16). Madrid: Ediciones Akal.
- Sanchez Molero, L.M. (1859). *Memoria sobre Azogues. Publicada por la redacción de la Revista Minera*. Madrid: Imprenta de la Viuda de Antonio Yenes.
- Sánchez Picón, A. (1981). Minería e industrialización en la Almería del siglo XIX: Explotación autoctona y colonización económica. *Boletín del Instituto de Estudios Almeriense. Letras*, 229-253.
- Sánchez Picón, A. (1995). Modelos tecnológicos en la minería del plomo andaluza durante el siglo XIX. *Revista de Historia Industrial*, 7, 11-37.
- Sánchez Rodríguez, A., & C., Marchán Sanza. (2014). *Minería española contemporánea: desarrollo productivo y empresarial e impacto social*. Paper presented at the XI Congreso Internacional de la AEHE, Madrid.
- Sanchis, J.M. (2002). Las lámparas de acetileno. *Boletín Histórico Informativo de la AMYP*.
- Saupé, F. (1990). *Geology of the Almadén Mercury Deposit, province of Ciudad Real, Spain* (Vol. 85): Economic Geology.
- Serra, R. (2000). *La Minería y la Metalurgia durante la Edad Moderna*. Paper presented at the Primer Simposio sobre la Minería y la Metalurgia Antigua en el SW Europeo., Serós.
- Silva Suarez, M. (2005). *Técnica e Ingeniería en España. El siglo de las luces. De la industria al ámbito agroforestal*. (Vol. 3).
- Subasta. (1870). Licitación Pública. *La Gaceta de Madrid*, 26 Octubre, 4.
- Sumozas García-Pardo, R. (2007). *Arquitectura industrial en Almadén: antecedentes, génesis y repercusión del modelo en la minería americana*. Sevilla-Cuenca: Universidades de Castilla La Mancha y Sevilla.
- Sumozas García-Pardo, R. (2012). *Patrimonio Monumental y Minero de Almadén*. España: Biblioteca de Estudios Manchegos. Diputación de Ciudad Real.
- Tascón, I.G., & Pérez, J.F. (1990). *Agustín de Bentacourt y Molina, un científico al servicio de dos imperios*. Secretaría General del Plan Nacional de I+D: Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.
- Tejero Manzanares, J. (2011). *Evolución Histórico-Tecnológica de los Hornos en la Metalurgia del Mercurio en las Minas de Almadén: "Implantación de los Hornos Cermak-Spirek y Spirek"*. España: Universidad de Córdoba.
- Thurston, Robert H. (1886). *Una historia del crecimiento del Vapor-Motor*. www.gutenberg.org: El Proyecto Gutenberg eBook (19 de Abril de 2011).
- Torrejón Chaves, J. (1995). *Tecnología e innovación industrial: el ingeniero de marina Fernando Casado de Torres y la máquina de vapor de doble inyección de la Carraca (1788-1804)*. Paper presented at the VIII

- Congreso Internacional para la Conservación del Patrimonio Industrial, Madrid.
- Tredgold, Th. (1831). *Tratado de las Máquinas de Vapor, y de su Aplicación a la Navegación, Mina, Manufacturas, etc.* (G. d. I. Escosura, Trans.). Madrid: Imprenta de D. León Amarita.
- Ugalde, T. (2010). Máquinas de Elevación de Agua en la Minería Romana. El ejemplo de los pozos de la mina de Belbio (Irún). In F. d. I. I. T. d. O. Públicas (Ed.), *V Congreso de Obras Públicas Romanas. "Técnicas y construcciones en la ingeniería romana"* (pp. 327-345). España.
- V.V.A.A. (1771). *Real Cédula de su Magestad, declarando esentos (sic) del actual reemplazo del exercito a varios individuos operarios en las minas del azogue del Almadén.* Madrid: Impreso en la oficina de D. Antonio Sanz, impresor del Rey.
- V.V.A.A. (1835). *Reglamento para el establecimiento de las máquinas de vapor en la ciudad de Barcelona y su territorio, formado por el Esceletísimo Ayuntamiento y aprobado por el Señor Gobernador Civil de la provincia.* BARCELONA: Los hermanos Juan y Jaime Gaspar.
- V.V.A.A. (1837). *El Instructor o Repertorio de Historia, Bellas Letras y Artes.* (Vol. 4). Londres. En casa de Ackermann y Comp[^]. Repositorio de artes, 96, Strand.: En la imprenta de Carlos Wood.
- V.V.A.A. (1926). *Minas de Almadén.* XIV CONGRESO GEOLOGICO INTERNACIONAL. MADRID.
- V.V.A.A. (2008). Parque Minero de Almadén. Un espacio socio-cultural para el turismo y el desarrollo de la comarca. *SEPI ESTRATEGIAS*, 24, 10-15.
- V.V.A.A. (2009). La Carta de El Bierzo para la Conservación del Patrimonio Industrial Minero. *Revista Patrimonio Cultural de España. IPCE.*, 0, 14-26.
- V.V.A.A. (2014). Almadén. Los Colores de la Tierra. *Minas de Sierra Morena* (<http://www.minasdesierramorena.es/guia-de-campo/conjuntos-mineros/almaden/>), Consultado el 23 de marzo de 2014.
- Valdés, N. (1859). *Manual del Ingeniero.* París: Imprenta de Cosge y J. Dumaine.
- Vélez, I. (2011). Vapor y Fatiga. Notas sobre Jerónimo de Ayanz. *El Catoblepas*, 114.
- Vicuña, G. (1872). *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor con arreglo a la termodinámica.* Madrid: Imprenta de Manuel Tello.
- Vidal, V. (1865). *Legislation des Machines a Vapeur.* . Paris. Francia: Ingenieur civil, Ancien eleve de l'Ecole Polytechnique et de l'Ecole des mines.
- Villanueva, I. (1845). *Curso de dibujo industrial o Lecciones dadas en la enseñanza de la delineación aplicada a las artes y a las máquinas en el conservatorio de artes de Madrid.* (Vol. 3). Madrid: Imprenta D. Julian Viana Razola.
- Villanueva, I. (1847a). *Curso de dibujo industrial o Lecciones dadas en la enseñanza de la delineación aplicada a las artes y a las máquinas en el*

- conservatorio de artes de Madrid*. (Vol. 1). Madrid: Imprenta de la Compañía.
- Villanueva, I. (1847b). *Curso de dibujo industrial o Lecciones dadas en la enseñanza de la delineación aplicada a las artes y a las máquinas en el conservatorio de artes de Madrid*. (Vol. 2). Madrid: Imprenta D. Julian Viana Razola.
- Villar Díez, C. (2005). *El Archivo Histórico de Minas de Almadén: Un Proyecto de Recuperación del Patrimonio Documental*. Santiago de Compostela: VIII Congreso de la Asociación Española de Historia Económica.
- Von Mentz de Boege, B.M. (1980). Tecnología minera alemana en México durante la primera mitad del siglo XIX. *Estudios de Historia Moderna y Contemporánea de México*, 8, 85-95.
- Zarraluqui, J. (1983). *Los Almadenes del Azogue (Minas de Cinabrio). La Historia frente a la Tradición*. (Edición facsimil ed.): Minas de Almadén y Arrayanes, Madrid.
- Zuaznavar, M. (1880). *Almaden en Noviembre de 1879. Artículos publicados en la Revista Minera*. Madrid: Imprenta de J.M. Lapuente, calle de la Amnistia, 12 bajo.
- Zulueta Pérez, P. (2007). *Los Ingenios y Las Máquinas. Representación Gráfica en el Período Ilustrado en España*. España: Secretario de Publicaciones e Intercambio Editorial. Universidad de Valladolid.
- Zulueta Pérez, P. (2011). El dibujo de máquinas: sistematización de un lenguaje gráfico. In M. S. Suarez (Ed.), *Técnica e Ingeniería en España. VI. El Ochocientos. De los lenguajes al patrimonio*. (pp. 213-254). España: Real Academia de Ingeniería, Institución "Fernando el Católico", Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Zulueta Pérez, P, Suárez Sánchez, R., & Geijo Barrientos, J.M. (2005). *El uso de la sombra en los planos y dibujos de los científicos de la ilustración*. Sevilla: XVII Congreso Ingegaf.

9.2.-Recursos electrónicos y páginas web.

- Biblioteca digital del Instituto Geológico y Minero de España:
<http://www.igme.es/internet/default.asp> .
Consultada: 08/02/2015
- Biblioteca digital Europea: <http://www.europeana.eu/portal/es>
Consultada: 18/10/2015
- Biblioteca Nacional de España: <http://www.bne.es>
Consultada: 24/11/2013
- Biblioteca universitaria de Córdoba: <http://www.uco.es/webuco/buc/>
Consultada: Enero 2014 - Octubre 2014
- Biblioteca universitaria de la UCLM: <https://catalogobiblioteca.uclm.es/>
Consultada: Junio 2014 - Marzo 2015
- Biblioteca virtual de Andalucía:
<http://www.bibliotecavirtualdeandalucia.es/>
Consultada: 16/05/2015
- Biblioteca virtual del Principado de Asturias:
<http://www.bibliotecavirtual.asturias.es>
Consultada: 16/05/2015
- Biblioteca virtual del Patrimonio Bibliográfico: <http://bvpb.mcu.es/>
Consultada: 17/05/2015
- Biblioteca virtual Miguel de Cervantes: <http://www.cervantesvirtual.com/>
Consultada: 17/05/2015
- Biblioteca virtual Mundial: <https://www.wdl.org/es/>
Consultada: 21/06/2015
- Biblioteca virtual del CSIC: <http://bibliotecas.csic.es/biblioteca-virtual>
Consultada: 13/01/2016

- Colección digital de la Universidad Autónoma de Nuevo León:
<http://cd.dgb.uanl.mx/>
Consultada: 21/06/2015
- Colectivo Proyecto Arrayanes: <http://www.proyectoarrayanes.org/>
Consultada: 19/02/2014
- Dialnet: <http://dialnet.unirioja.es/>
Consultada: Enero 2014 – Enero 2016
- Google books: <http://books.google.es/>
Consultada: Enero 2014 – Marzo 2014
- Portal Pares: <http://pares.mcu.es/>
Consultada: Diciembre 2013 – Diciembre 2014
- Proyecto Betancourt: <http://fundacionorotava.es/betancourt/>
Consultada: Enero 2015
- Revista de Historia Industrial: <http://www.ub.edu/rhi/>
Consultada: Septiembre 2015
- Búsqueda de documentos académicos, tesis, artículos, etc.:
(Consultados: Enero 2014 – Junio 2016)
 - Google Académico: <http://scholar.google.es/>
 - ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com/>
 - Scopus: <http://www.scopus.com/>
 - ISI Web Of Knowledge: <http://apps.webofknowledge.com/>
- Incites Journal Citation Reports:
<https://jcr.incites.thomsonreuters.com/>

- Otras páginas web consultadas durante la elaboración de este trabajo:
 - <http://almadeherrero.blogspot.com.es>
 - <http://www.regmurcia.com>
 - <http://www.archivohistoricominerio.org>
 - <http://cronicasmineras.blogspot.com.es>
 - <https://www.search.birminghamimages.org.uk>
 - <http://advrider.com>
 - <http://www.almaden.es>
 - <http://technology.niagarac.on.ca>
 - <http://www.viajeuniversal.com>

- Páginas web consultadas en desde Junio del 2016 hasta Febrero de 2017, para la obtención de texturas para la reconstrucción virtual:
 - <http://www.wildtextures.com>
 - <https://es.pinterest.com>
 - <http://www.archicadbimcenter.com>
 - <http://previews.123rf.com>
 - <http://www.freetexturesdownload.com>
 - <http://andifurniture.com>
 - <http://www.lughertexture.com>
 - <https://freestocktextures.com>
 - <http://bqfons.com>
 - <https://lostandtaken.com>
 - <http://texturify.com>

10.-ANEXOS

10.-ANEXOS.

10.1.-Láminas de la reconstrucción virtual de la primera máquina de vapor de Minas de Almadén.

10.1.1.-Plano en planta del edificio de la máquina de vapor y del baritel, 1787.

10.1.2.- Plano de la máquina de vapor, de la de cargar y descargar y del malacate del pozo de San Teodoro, 1803.

10.1.3.- Plano de las calderas de la máquina de vapor del pozo de San Teodoro, 1830.

10.1.4.-Lámina 01. Alzado, planta, perfil y perspectiva de las calderas.

10.1.5.- Lámina 02. Alzado, planta, perfil y perspectiva del cilindro.

10.1.6.- Lámina 03. Alzado, planta, perfil y perspectiva del condensador.

10.1.7.- Lámina 04. Alzado, planta, perfil y perspectiva del balancín.

10.1.8.- Lámina 05. Alzado, planta, perfil y perspectiva de la máquina de vapor.

10.1.9.- Lámina 06. Alzado, planta, perfil y perspectiva del conjunto de edificios.

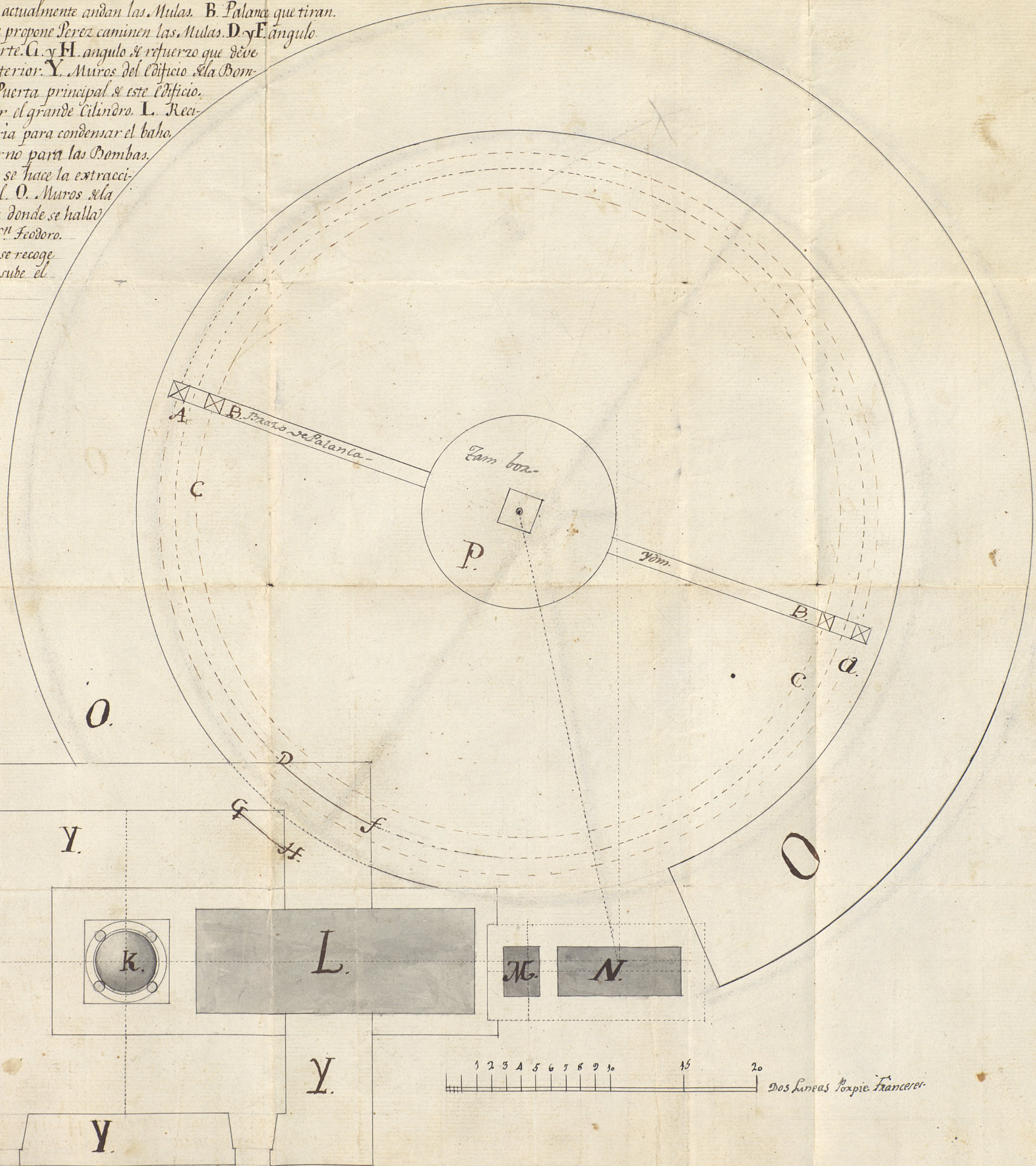
10.1.10.- Lámina 07A. Comparativa del plano original de las calderas con el resultado obtenido en la reconstrucción virtual.

10.1.11.- Lámina 07B. Comparativa del plano original de las calderas con el resultado obtenido en la reconstrucción virtual.

10.1.12.- Lámina 08. Comparativa del plano original de la máquina de vapor con el resultado obtenido en la reconstrucción virtual.

10.1.13.- Lámina 09. Despiece de la Máquina de Vapor.

- A. Circulo por donde actualmente andan las Mulas. B. Palanca que tiran.
 C. Circulo por donde propone Perez caminen las Mulas. D. y E. angulo
 que propone se corte. G. y H. angulo de refuerzo que deve
 substituir al anterior. Y. Muros del edificio de la Bom-
 ba y Fuego. J. Puerta principal de este edificio.
 K. Pilar para poner el grande Cilindro. L. Reci-
 piente de agua fria para condensar el baho.
 M. Boquete del Forno para las Bombas.
 N. Pozo por donde se hace la extracci-
 on del Mineral. O. Muros de la
 media Naranja donde se halla
 la maquina de S^{ra} Feodoro.
 P. Tambor en que se recoge
 la cuerda que sube el
 mineral.



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 15 20
 dos lineas Poppie Franceses

PERFILES Ó VISTAS EN QUE SE REUNEN

LAS TRES MAQUINAS DE VAPOR. LA DE
EXTRACION Ó DE MULAS Y LA DE
CARGAR Y DESCARGAR, SEGUN SE
HALLAN COLOCADAS EN

La Superficie ó boca del
Pozo de S.ⁿ Teodoro.

Escala de 25. Varas Castellanas.

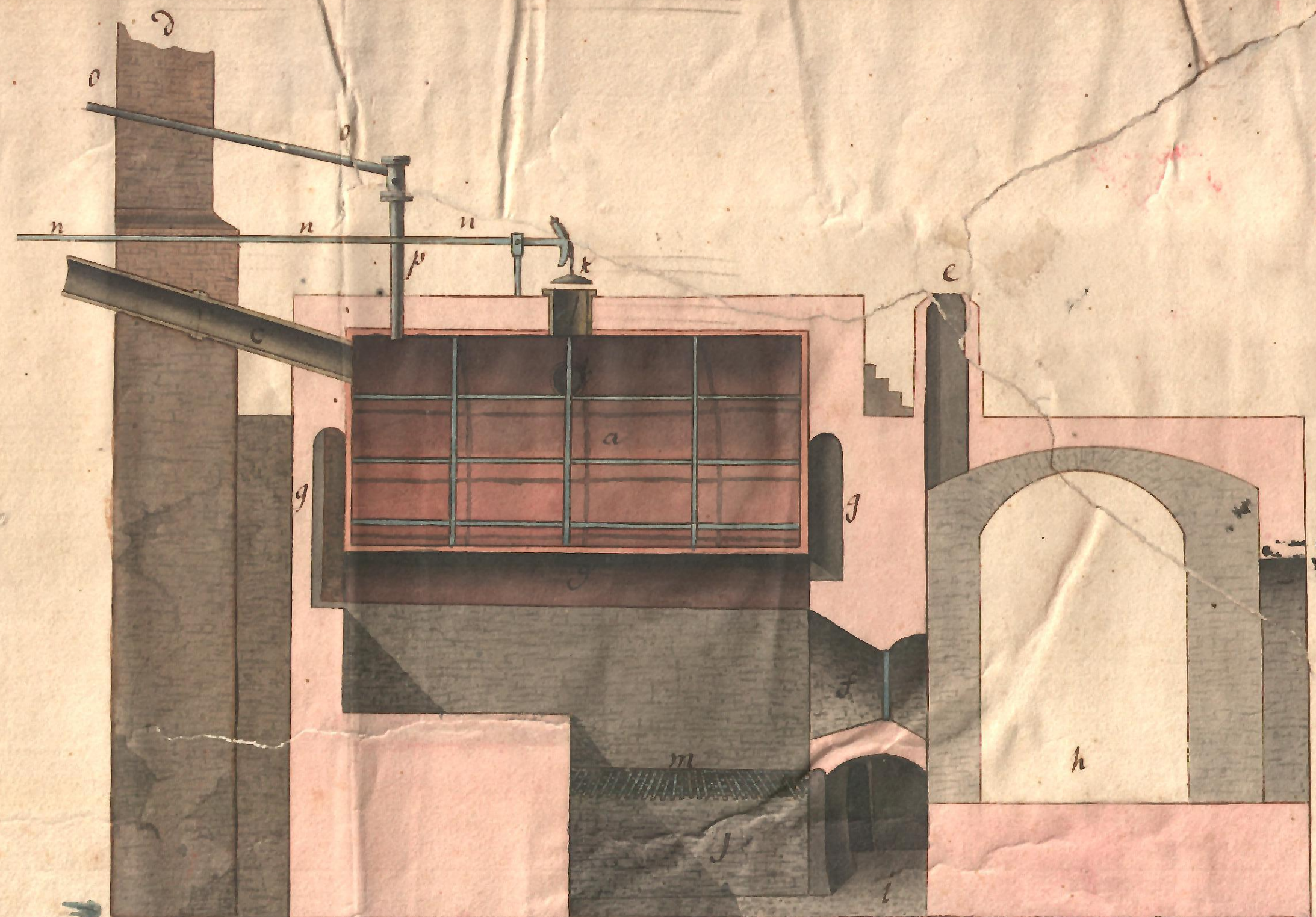
Escala de 60. Pies Franceses.



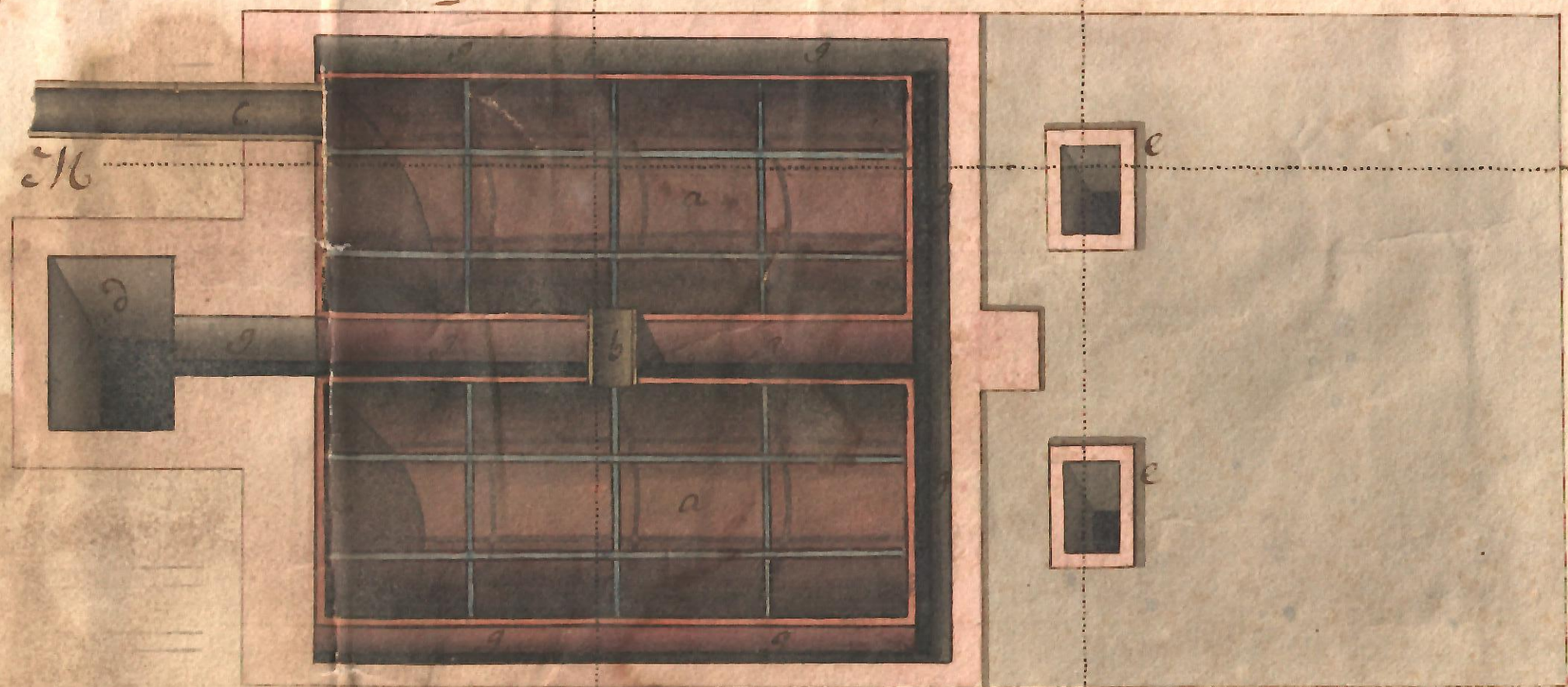


Corte por la línea A. B.

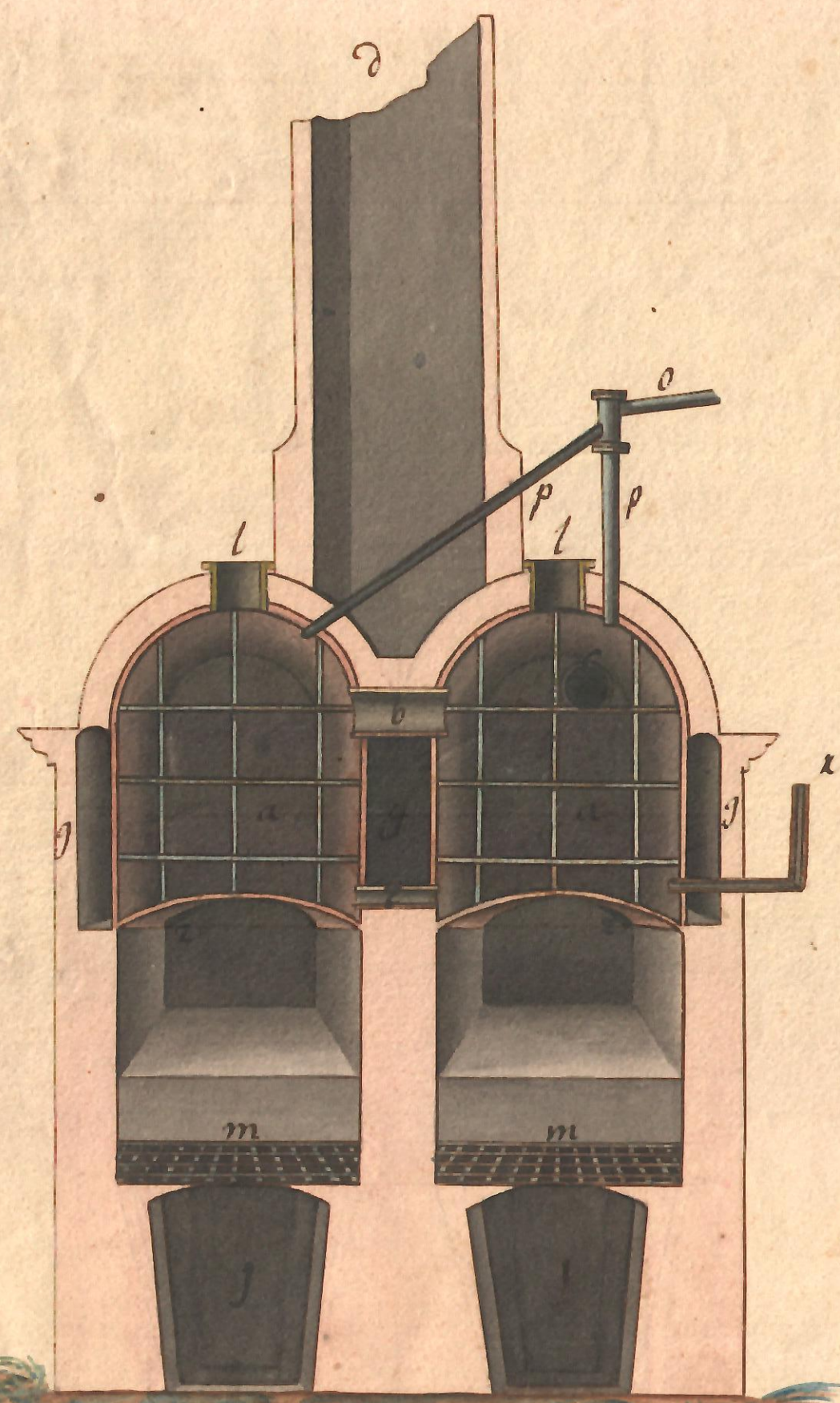
Escala de pies Franceses.



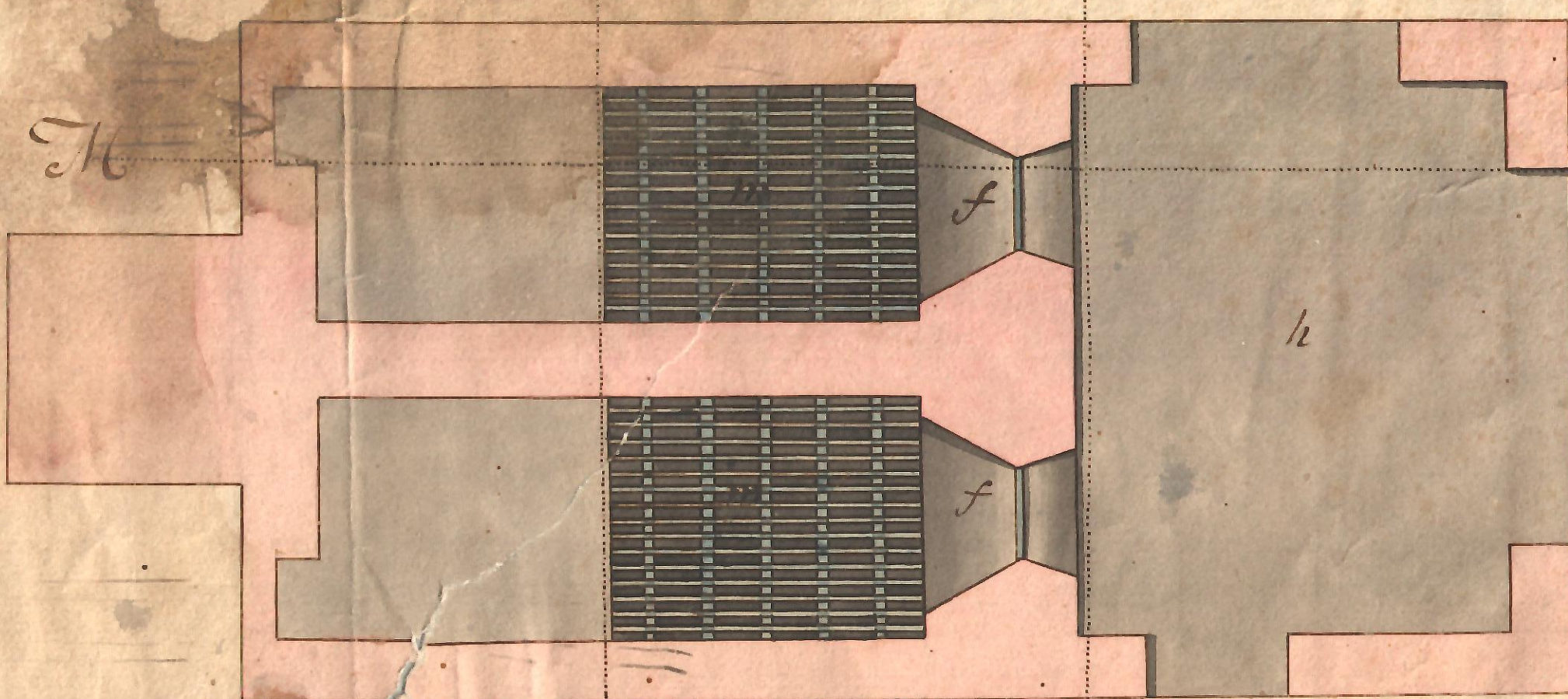
Corte por C la línea A. M. N.



Plano de las Calderas.

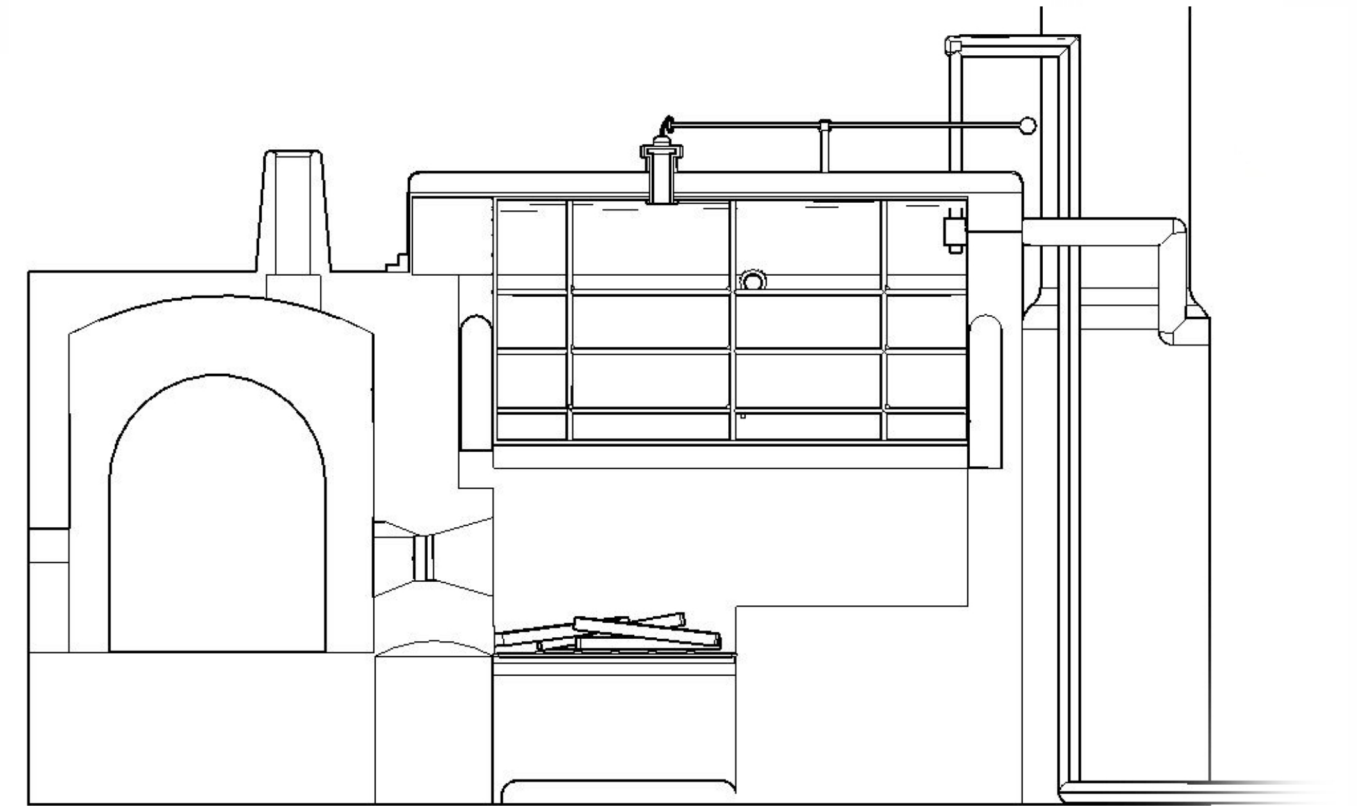
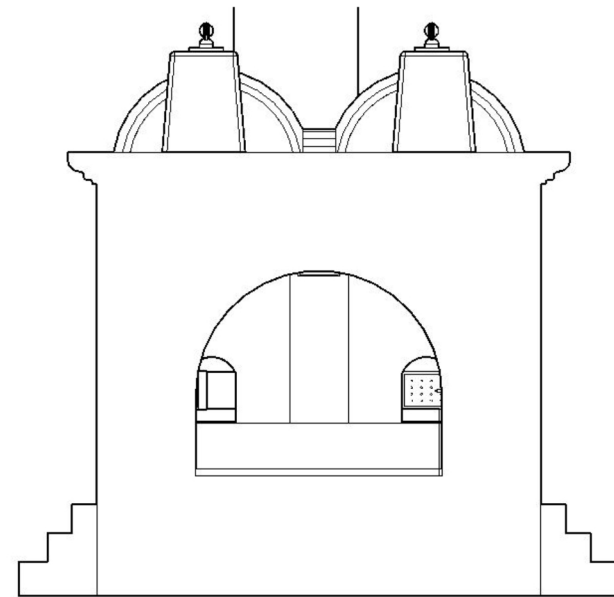
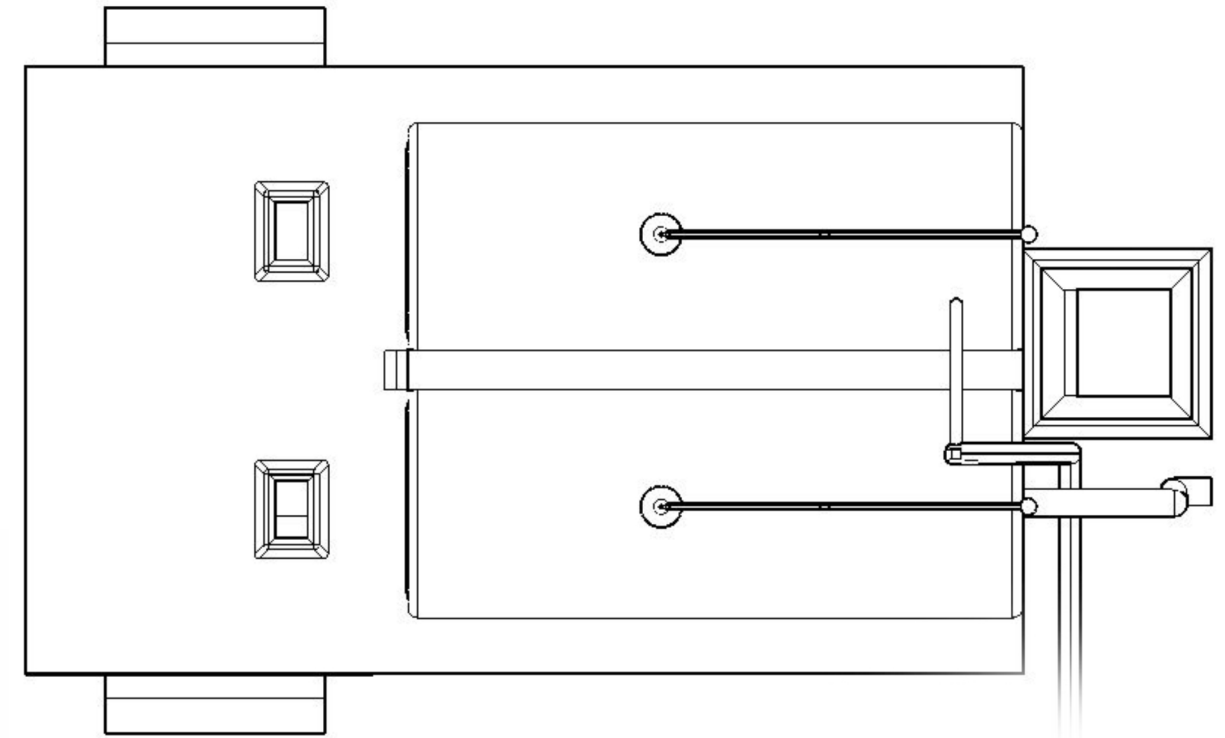
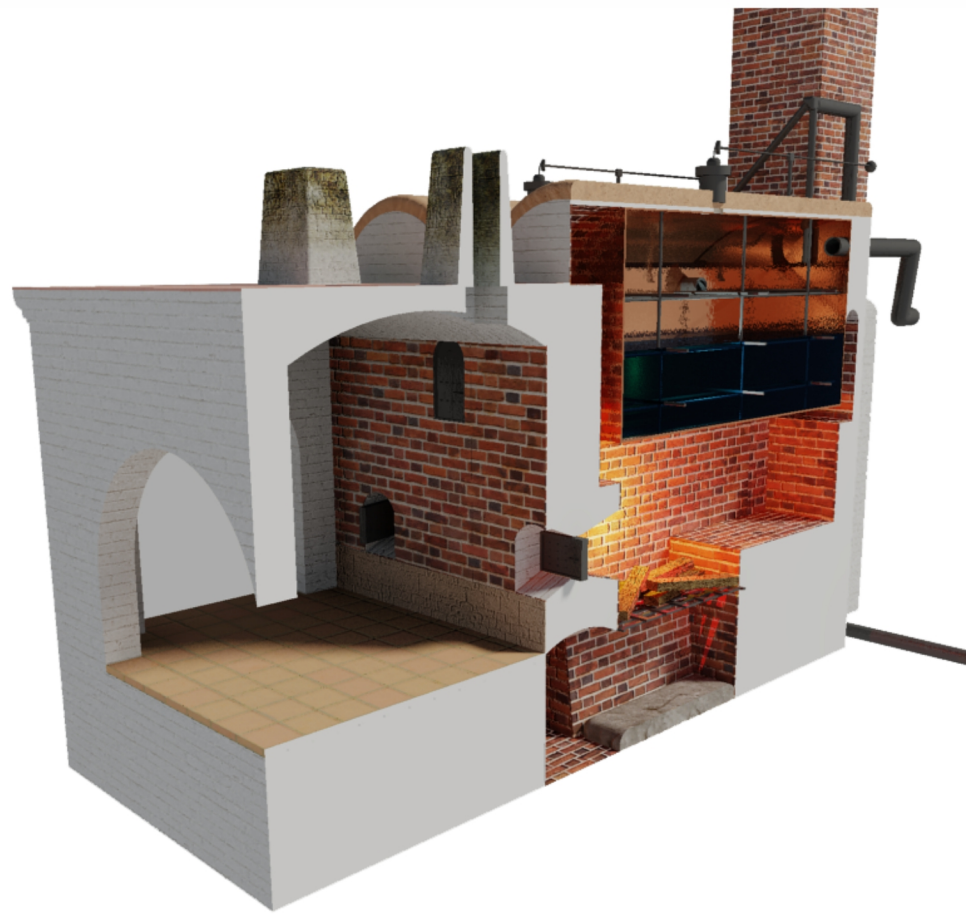


Corte por la línea C. D.



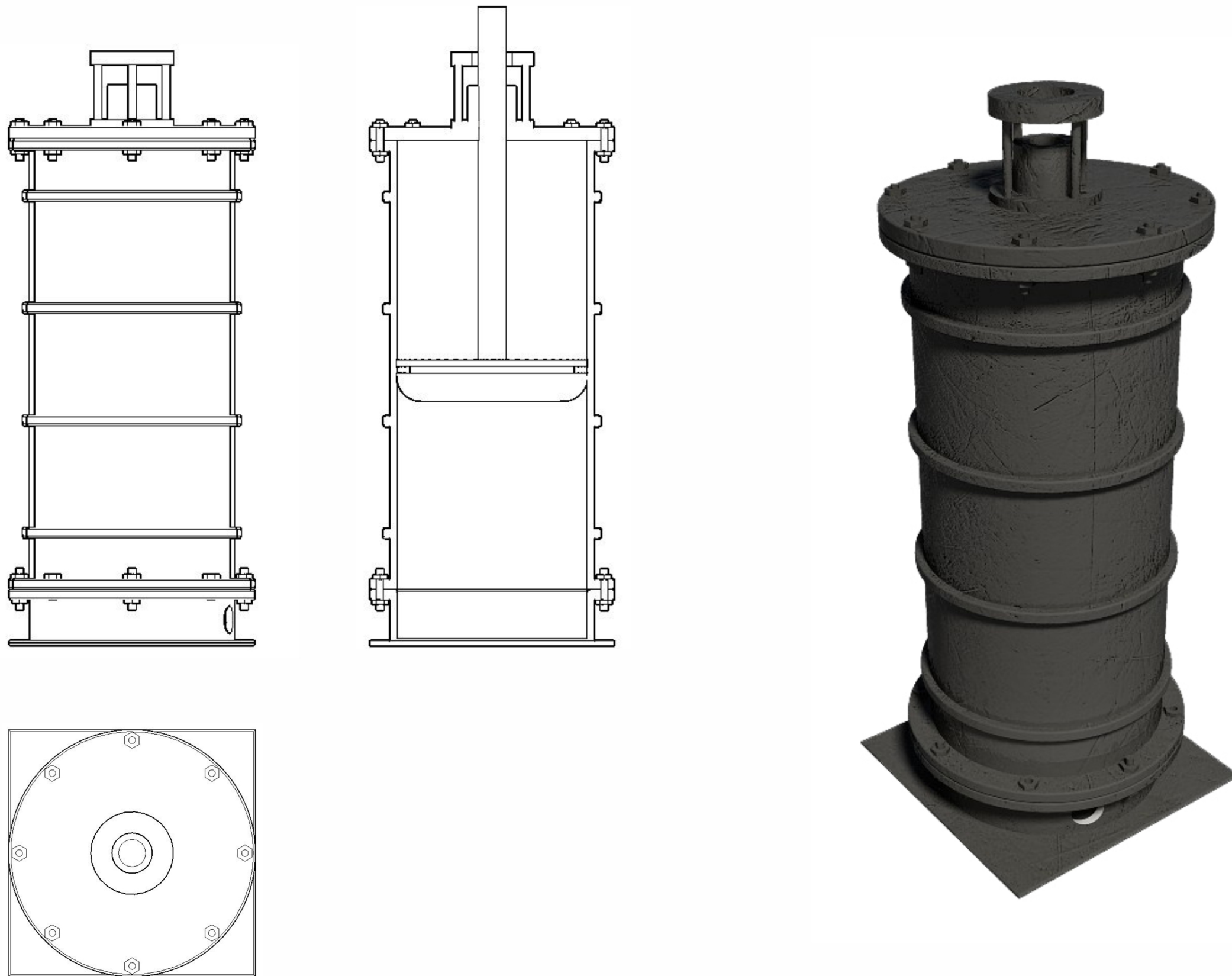
Plano de los Fogarías.

Plan, perfil y cortes de las Calderas de la Máquina de Vapor delineado en el año de 1830. por Vicente Romero. N.º 3.



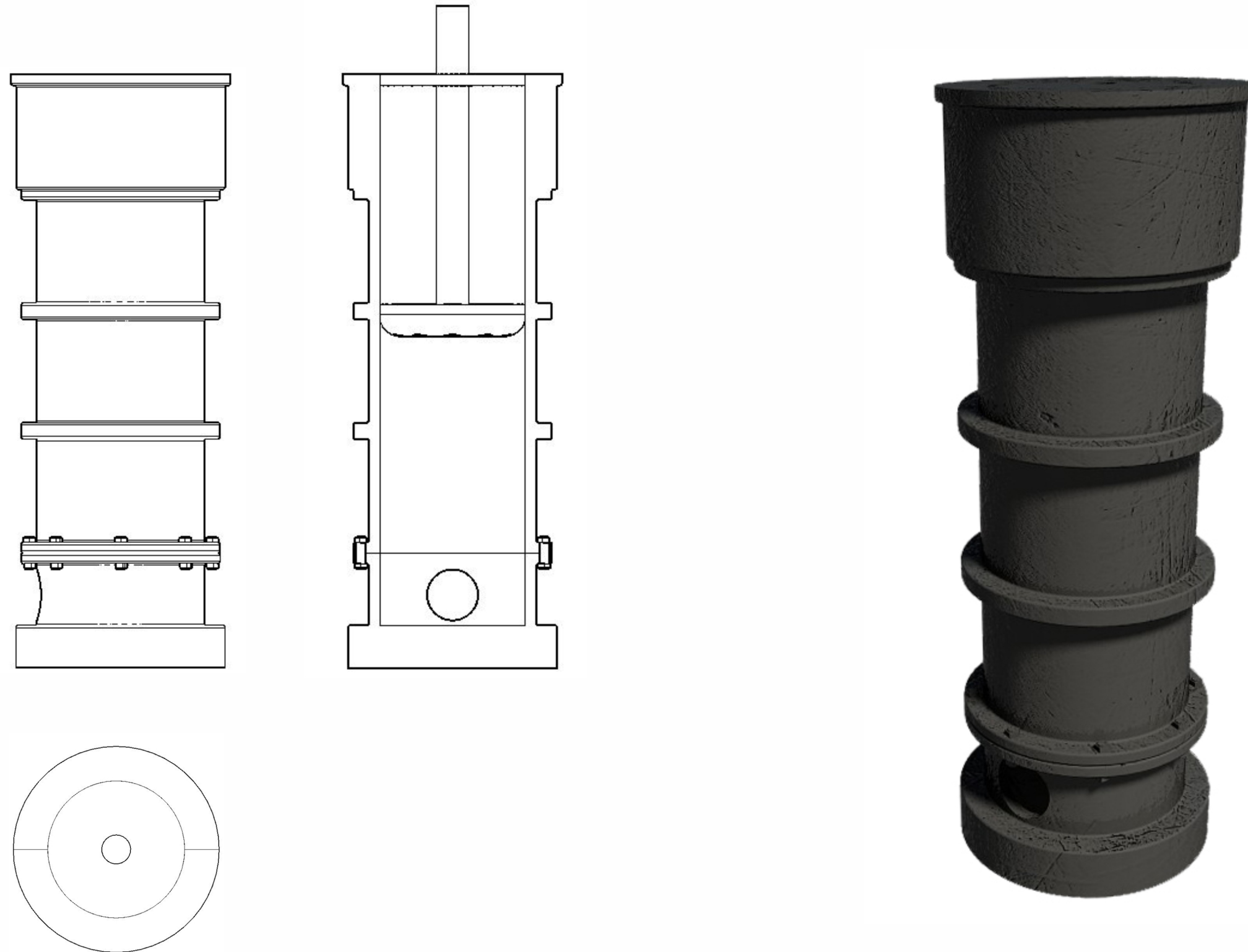
CALDERAS - ALZADO, PLANTA, PERFIL Y PERSPECTIVA

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN



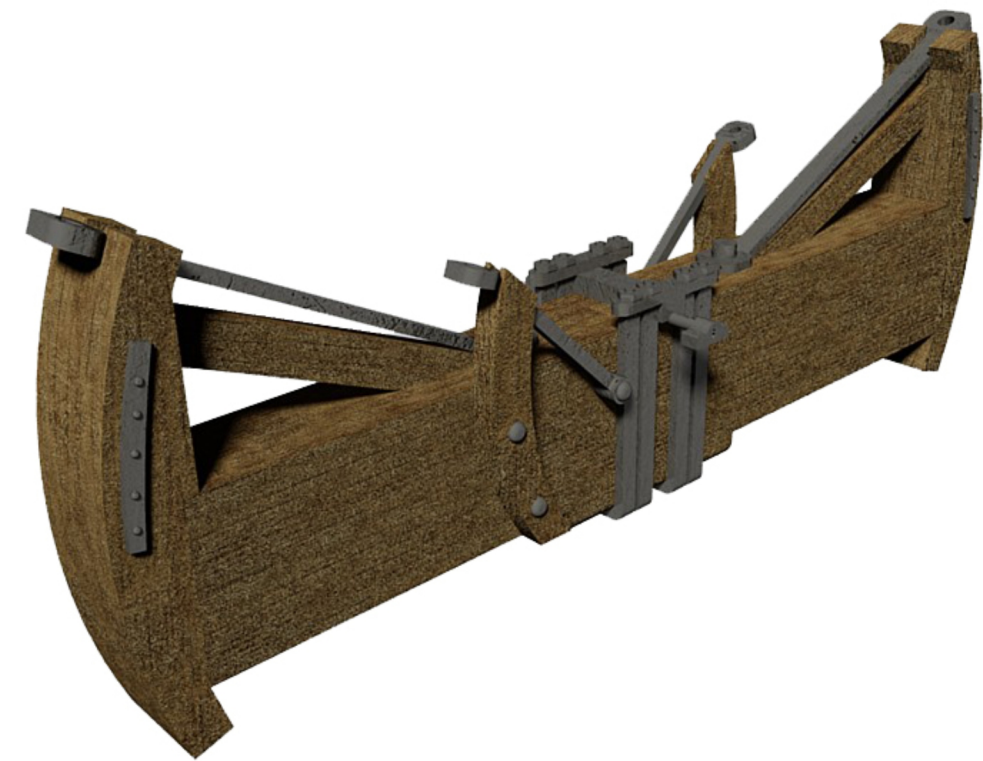
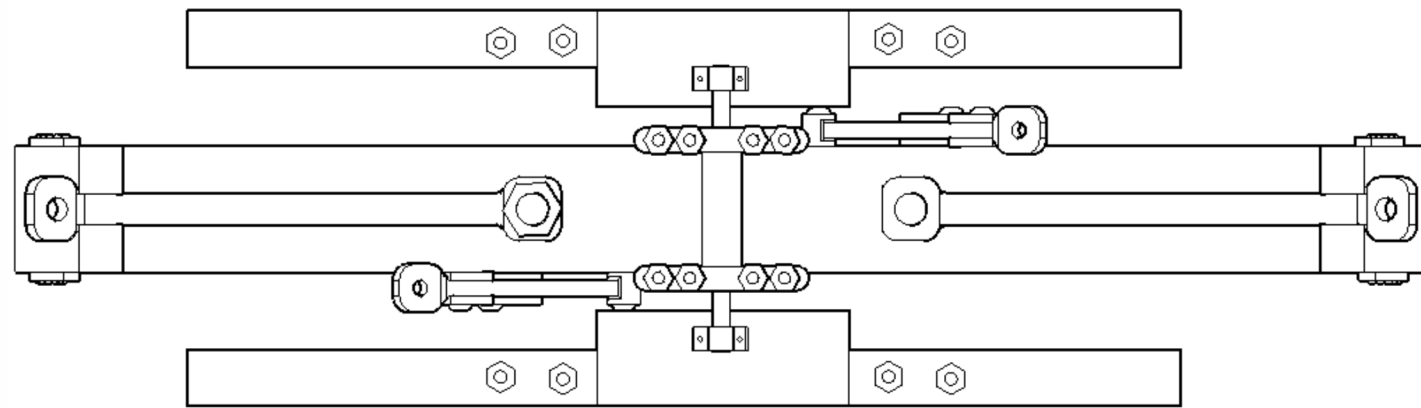
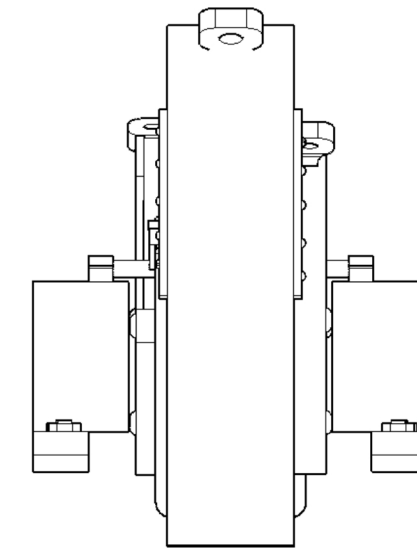
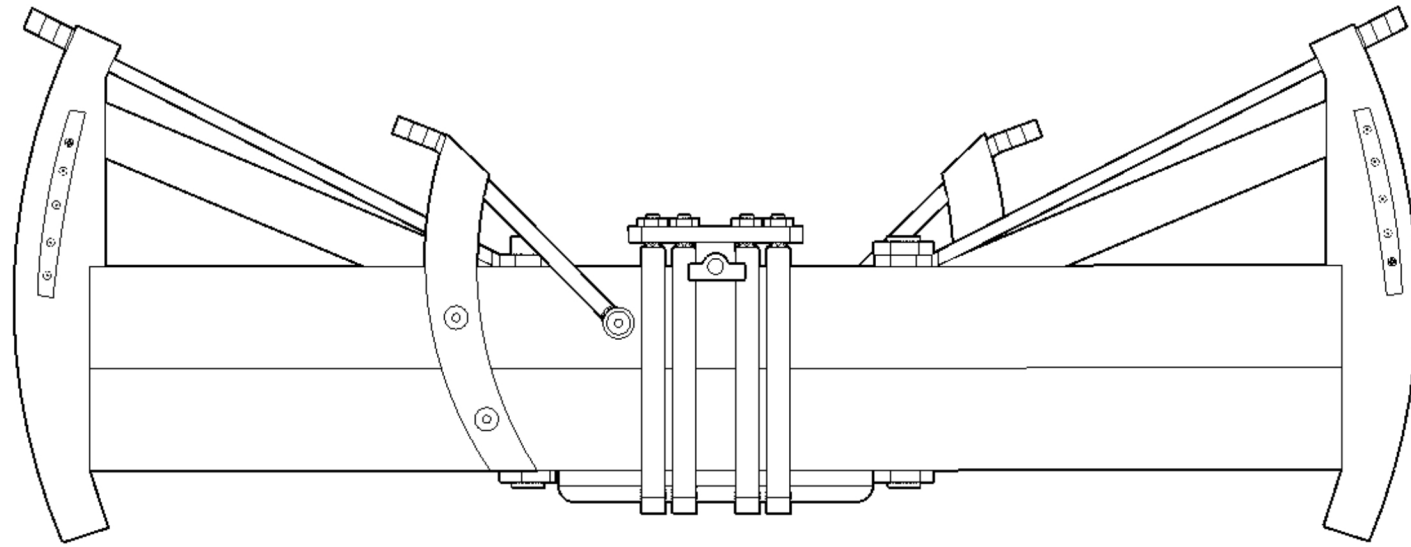
CILINDRO - ALZADO, PLANTA, PERFIL Y PERSPECTIVA

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN



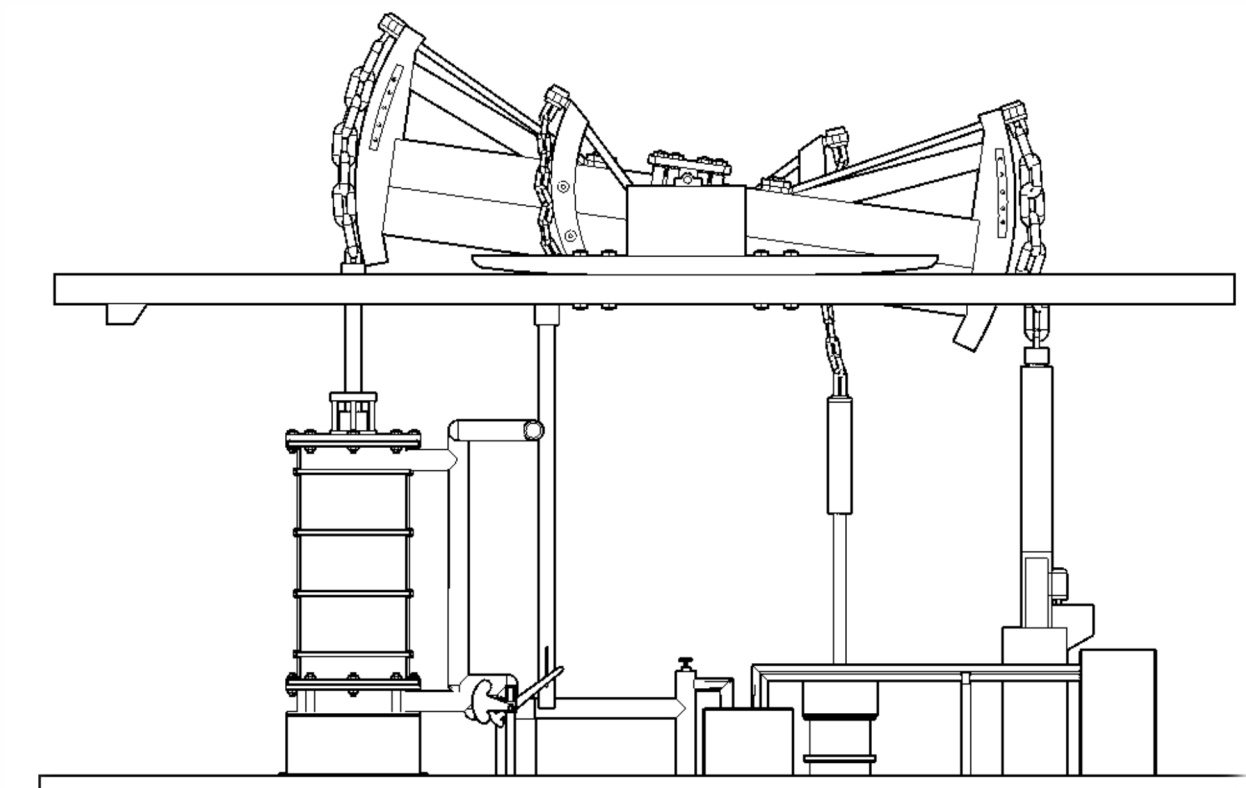
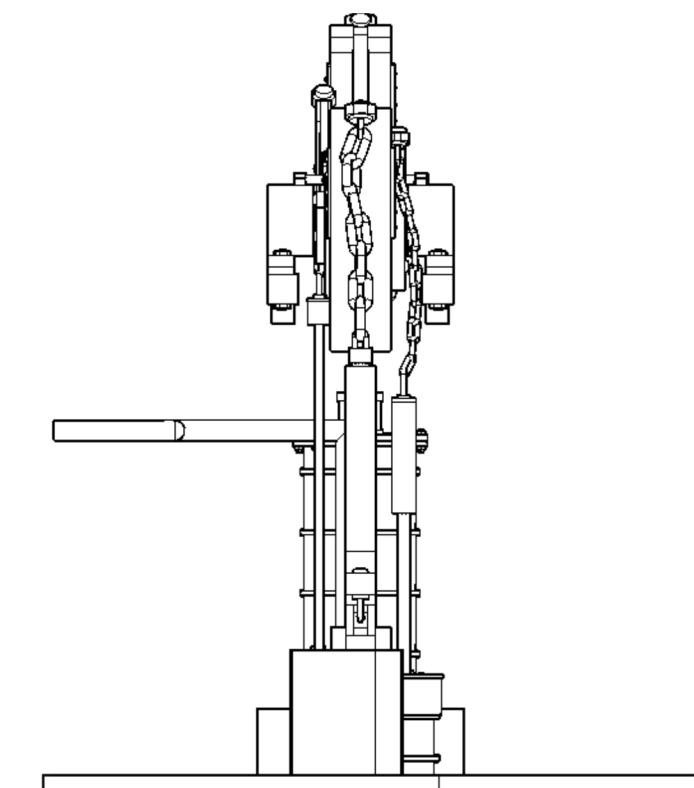
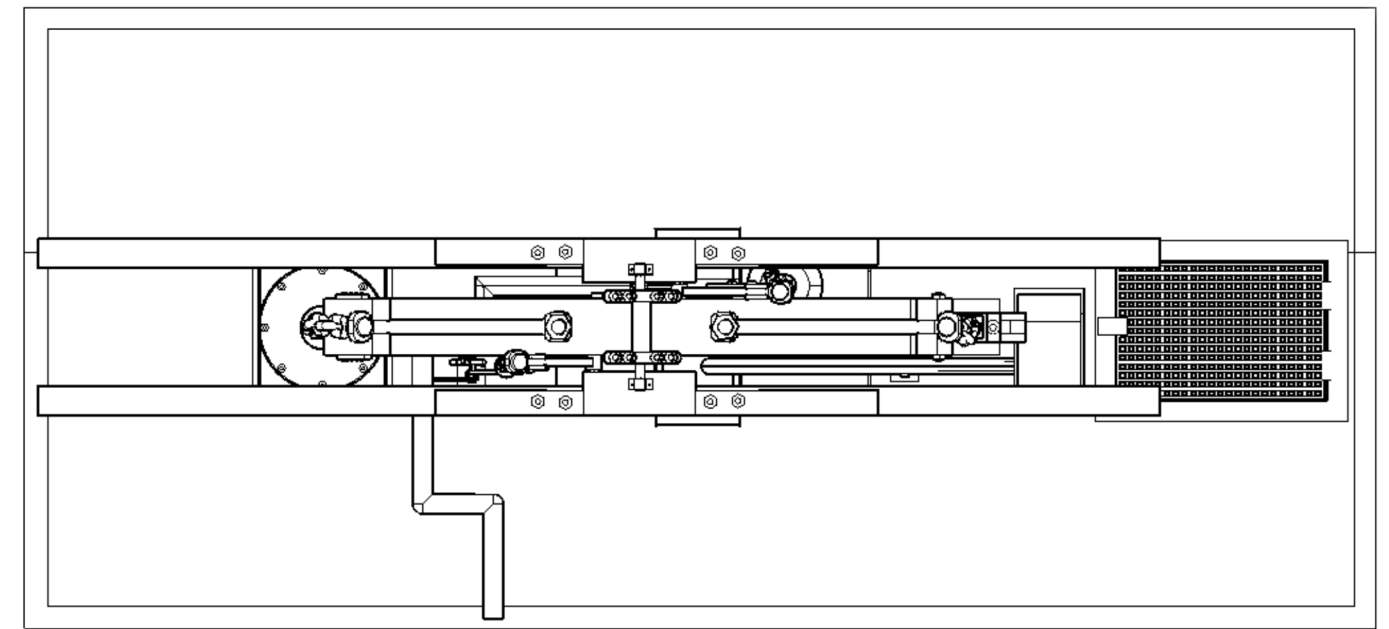
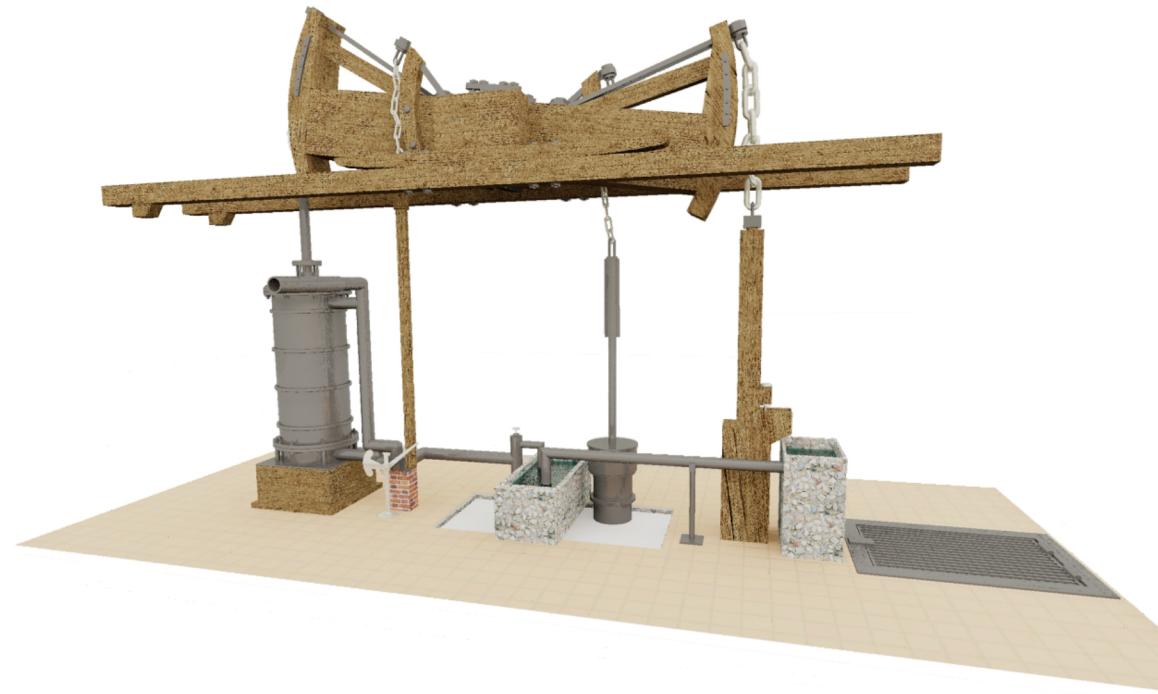
CONDENSADOR - ALZADO, PLANTA, PERFIL Y PERSPECTIVA

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN



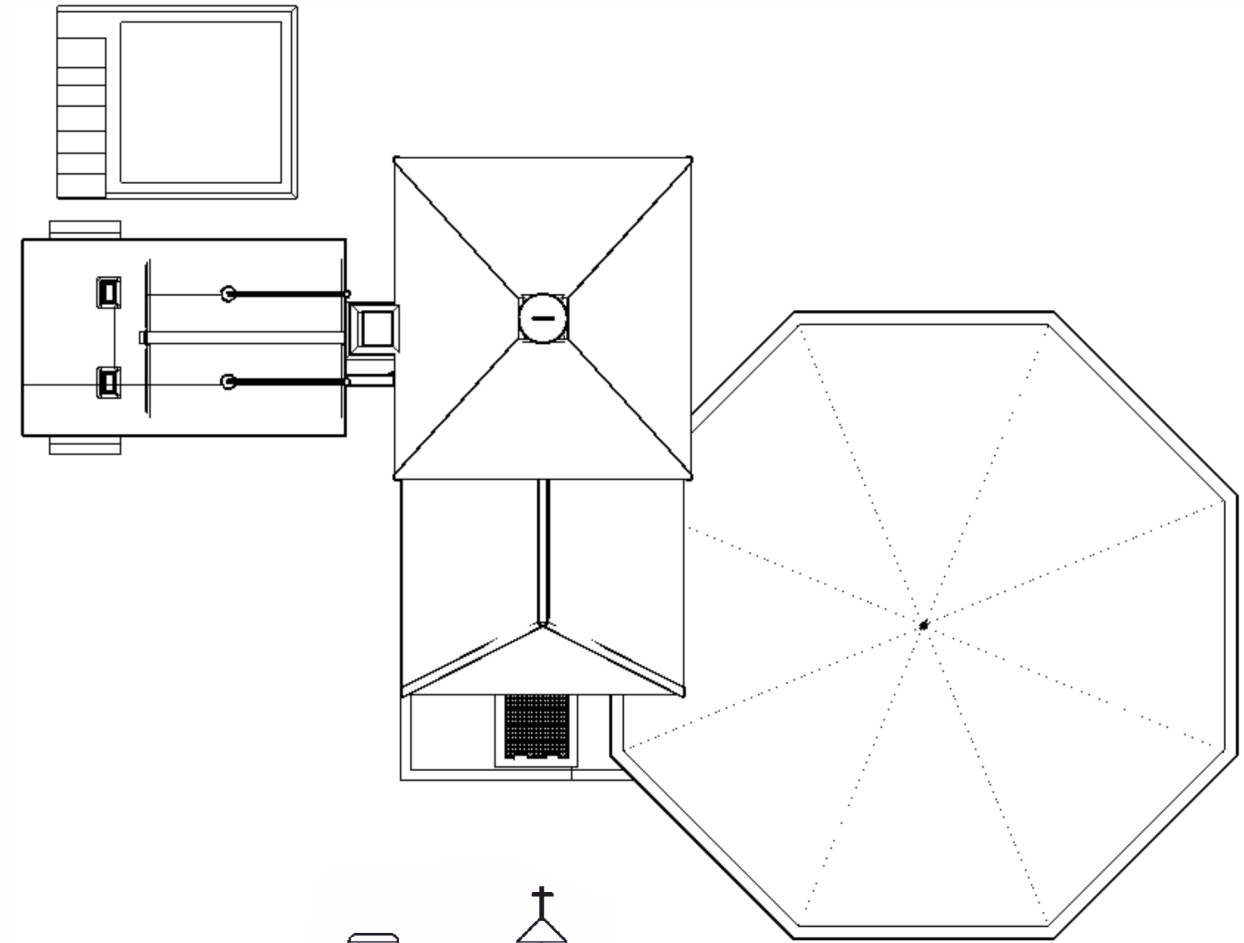
BALANCÍN - ALZADO, PLANTA, PERFIL Y PERSPECTIVA

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN



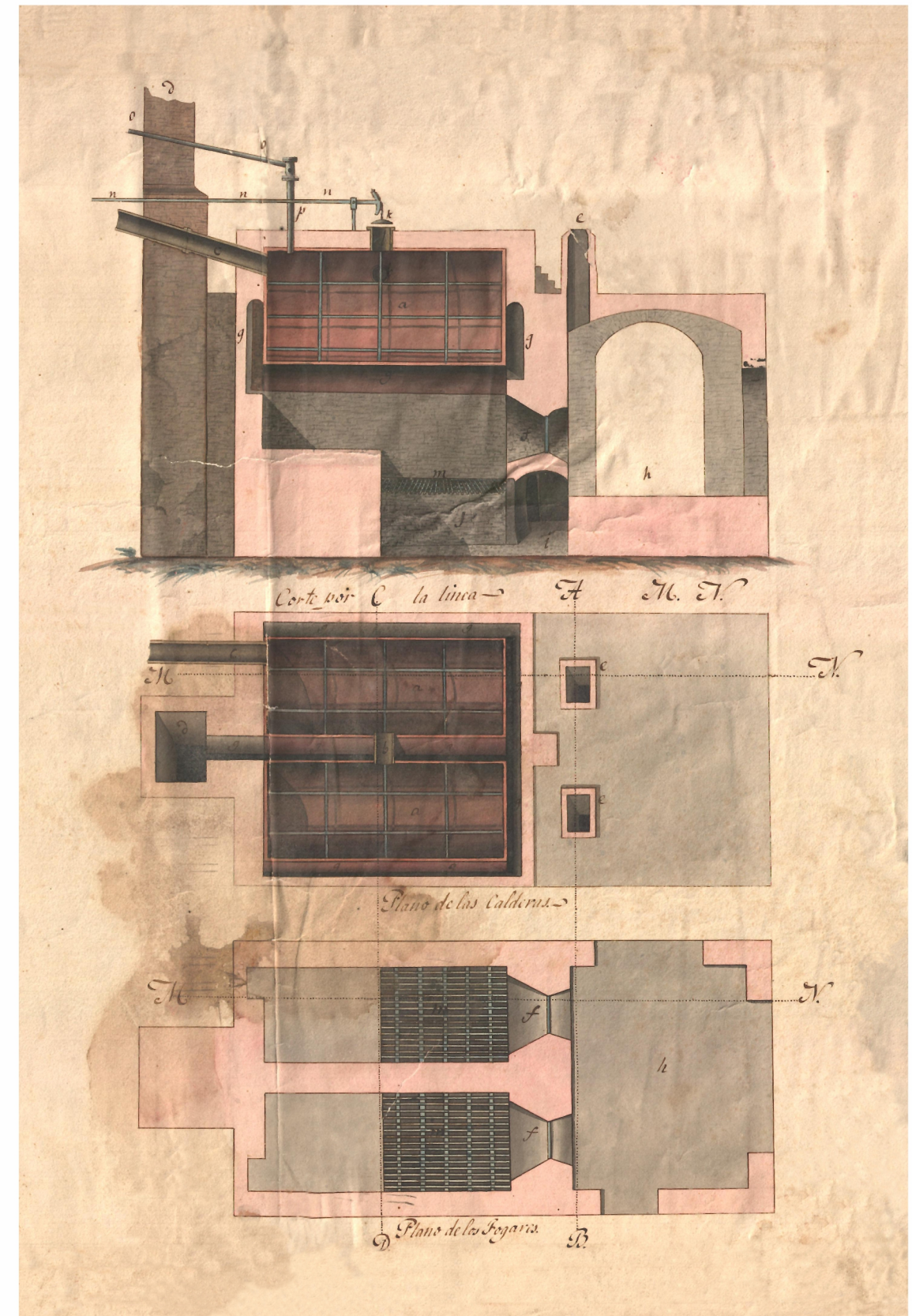
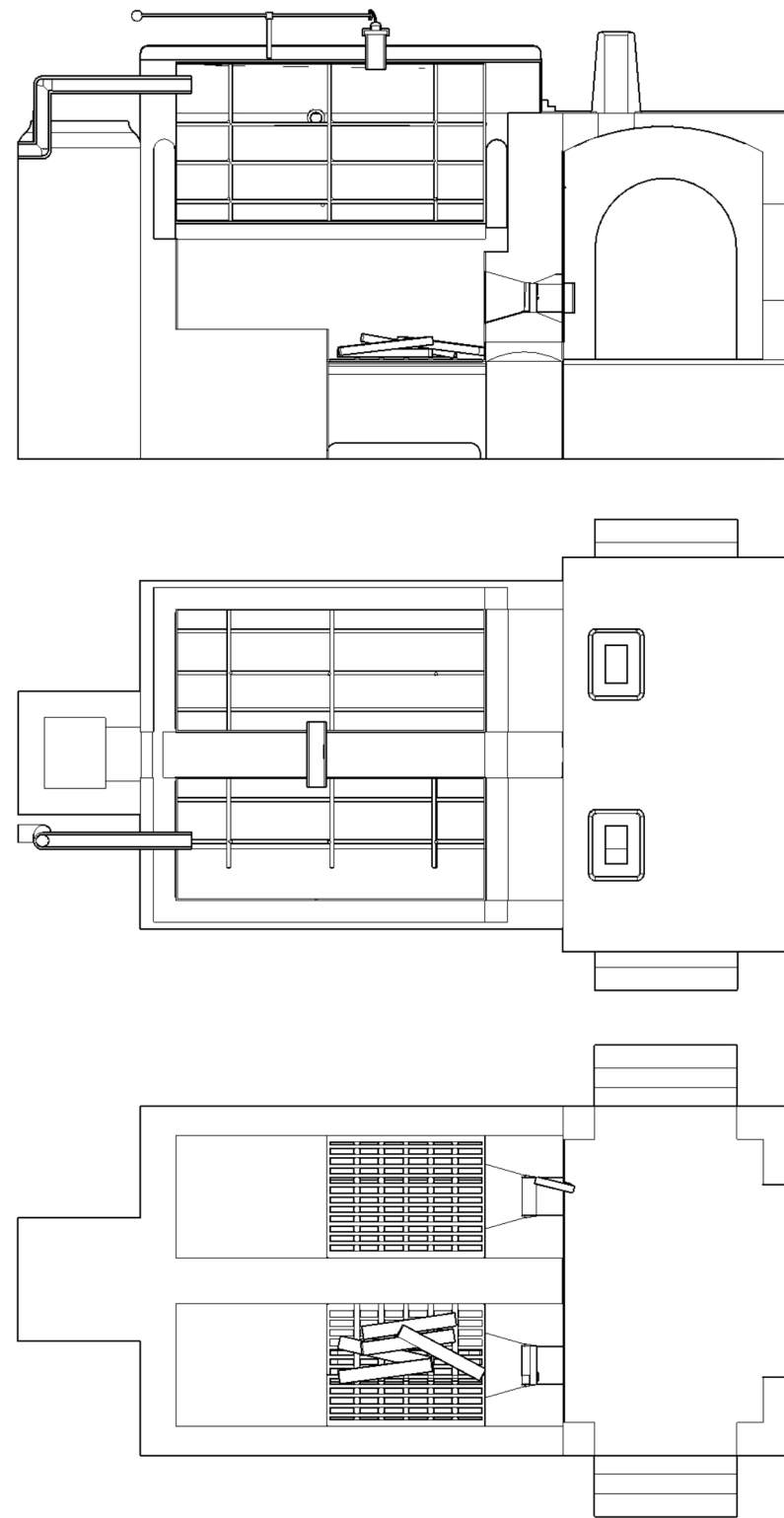
MÁQUINA DE VAPOR - ALZADO, PLANTA, PERFIL Y PERSPECTIVA

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN



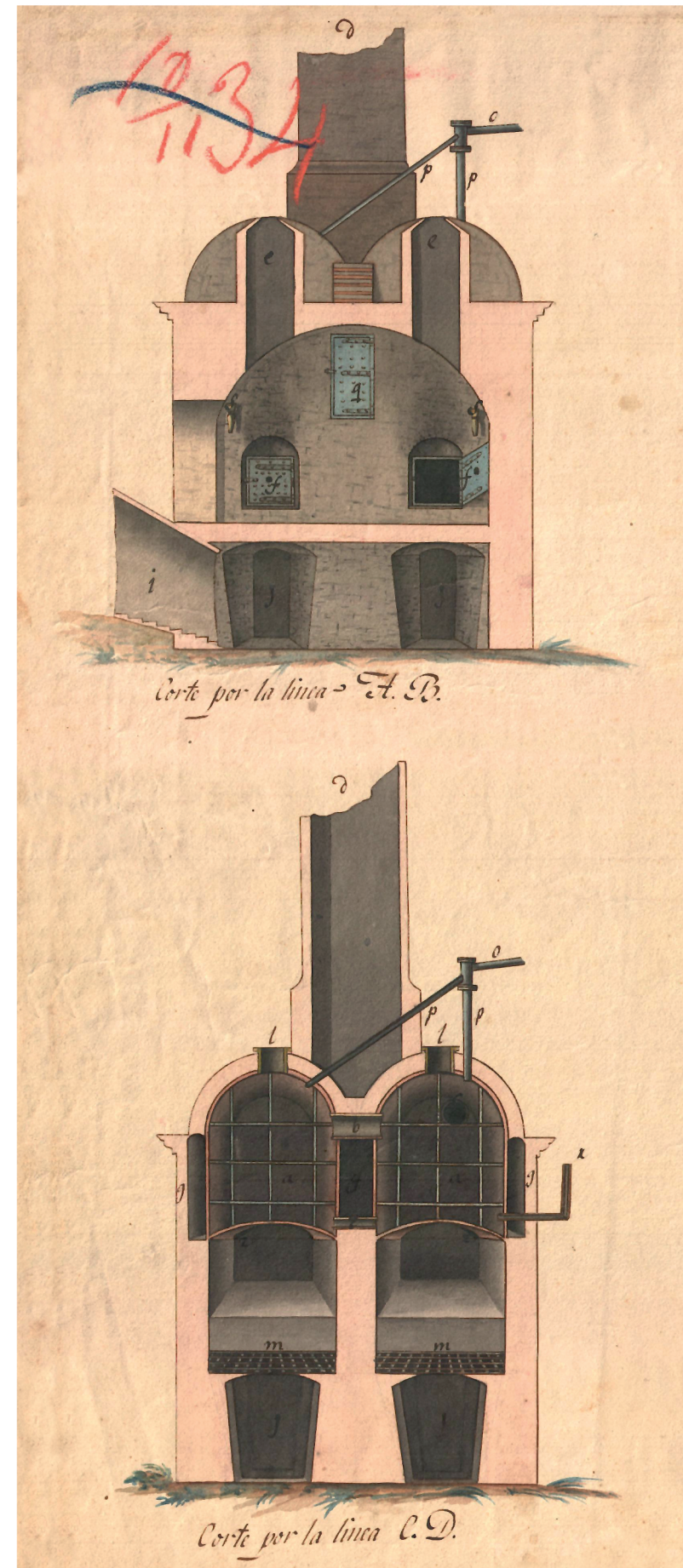
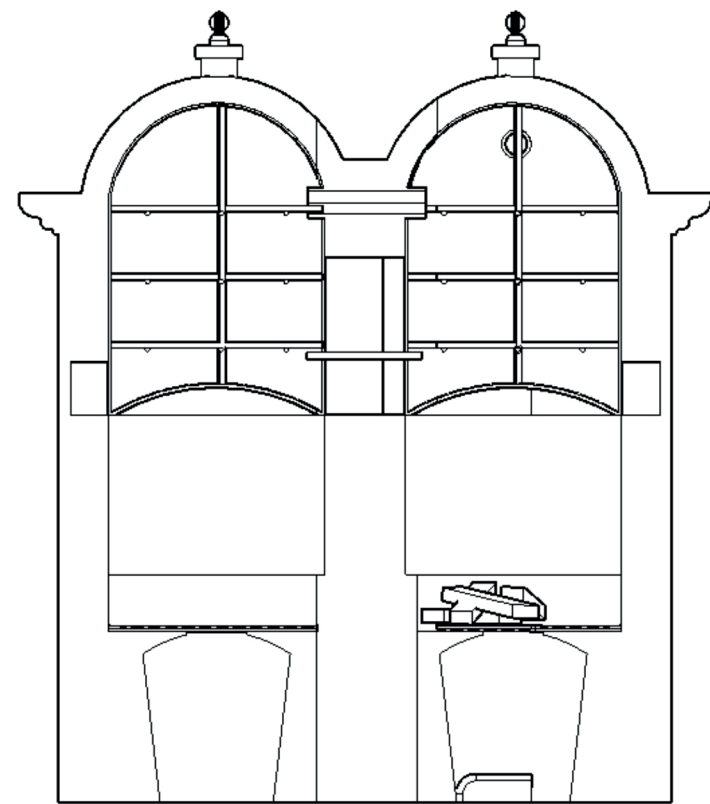
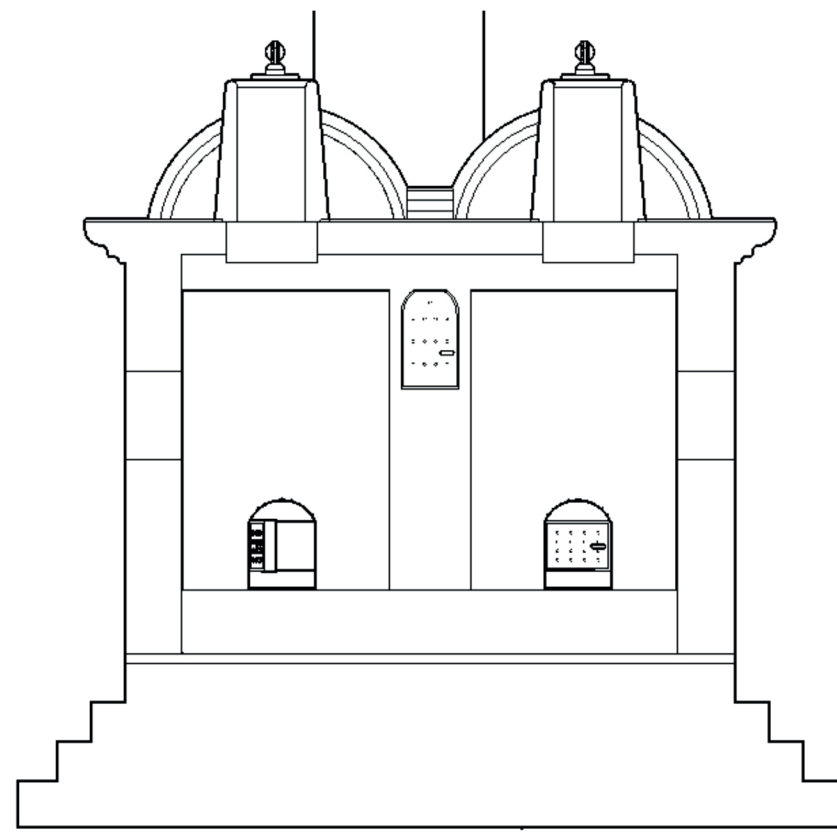
EDIFICIOS - ALZADO, PLANTA, PERFIL Y PERSPECTIVA

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN



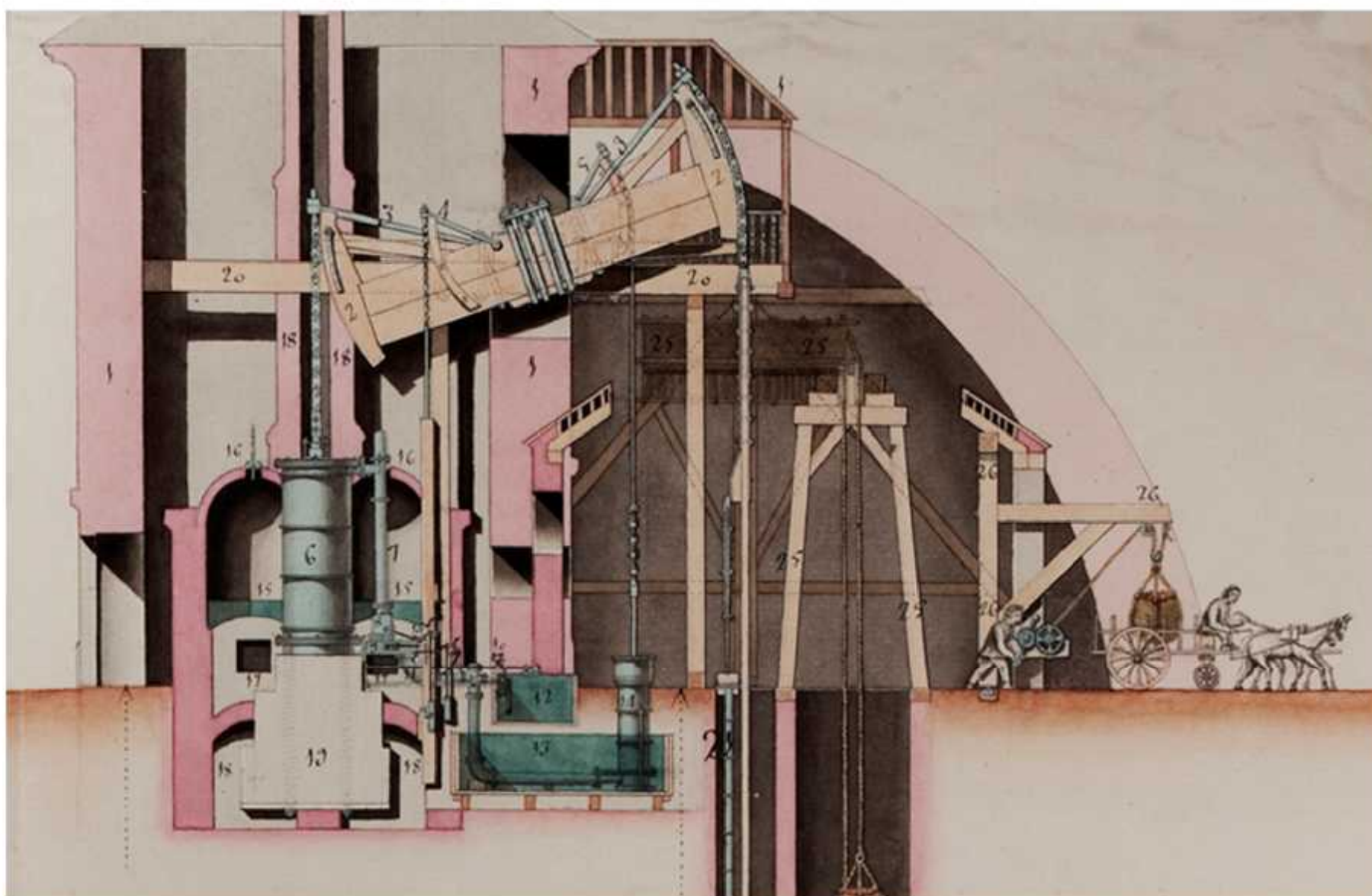
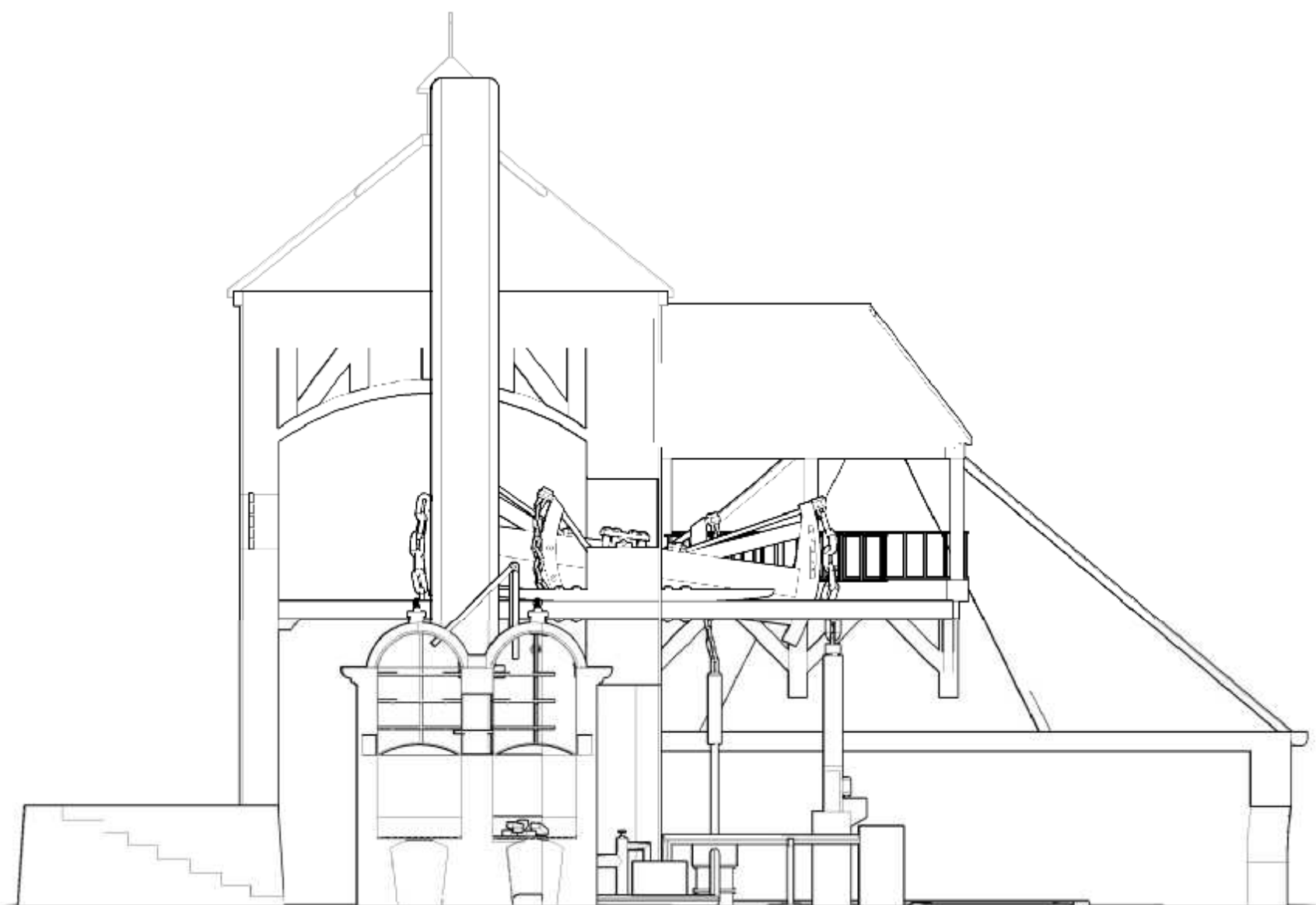
COMPARATIVA: PLANOS DE LAS CALDERAS (2)

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN



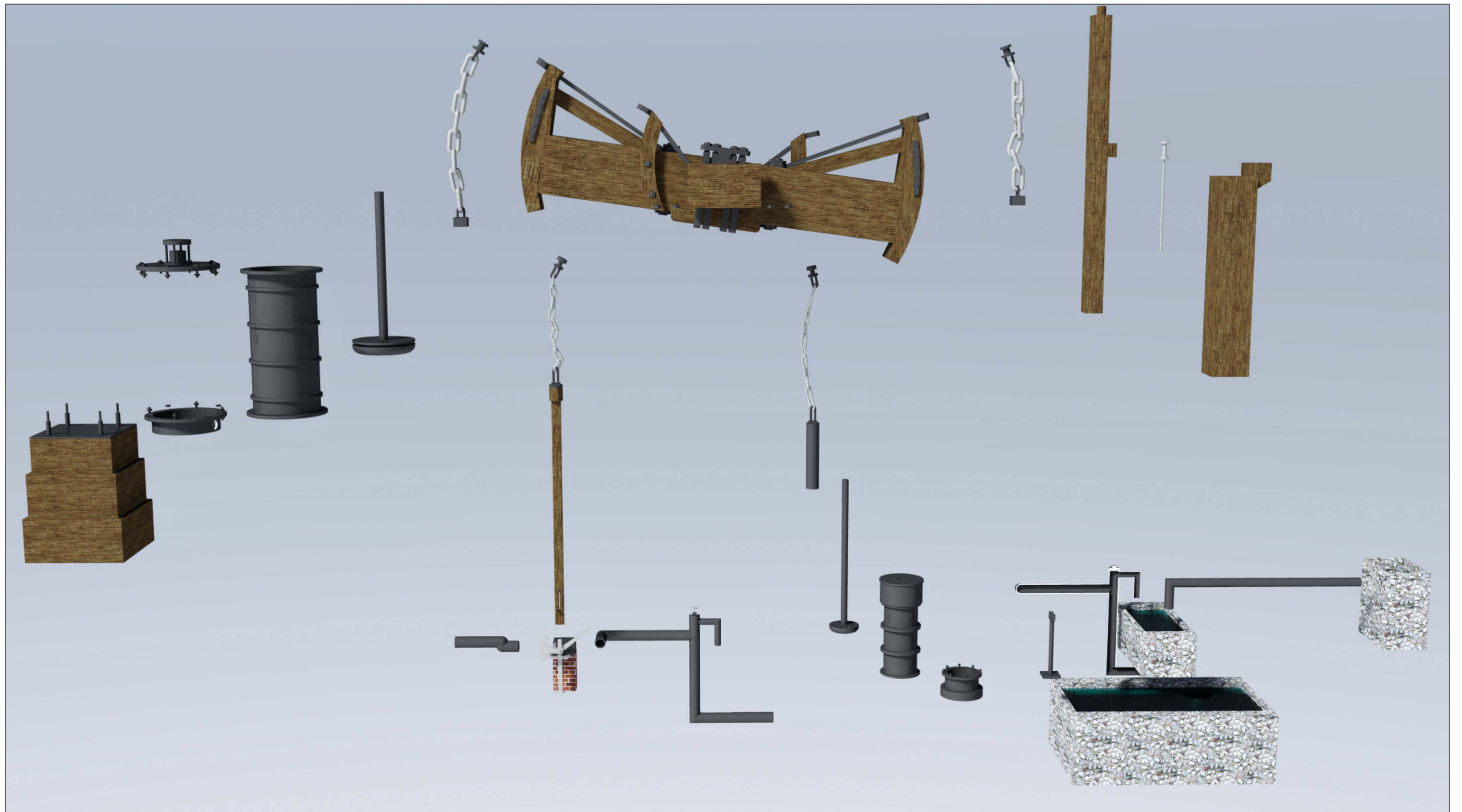
COMPARATIVA: PLANOS DE LAS CALDERAS

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN



COMPARATIVA: PLANO DE LA MÁQUINA DE VAPOR

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN



DESPIECE: MÁQUINA DE VAPOR

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA 1ª MÁQUINA DE VAPOR DE MINAS DE ALMADÉN

10.2.-Reportaje fotográfico de la maqueta de la primera máquina de vapor de Minas de Almadén.



Figura 187. Alzado de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)



Figura 188. Condensador de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)



Figura 189. Interior edificio de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)



Figura 190. Detalle balancín de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)



Figura 191. Vista aérea de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)



Figura 192. Detalle cubierta de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)



Figura 193. Calderas de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén.
Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)



Figura 194. Cubierta de las calderas de la maqueta de la primera máquina de vapor de minas de Almadén. Fuente: (Molina de las Heras & Calderón Herrera, 2016)

10.3.-Actas de mantenimiento de las máquinas de vapor de minas de Almadén.

10.3.1.-Acta de mantenimiento de 1907.

Acta

En la villa de Almadén a veinte de Junio de mil novecientos siete, reunidos en el local de San Miguel el Sr. Ingeniero del local de San Pedro, el Sr. Jefe de máquinas y el Vigilante de los pozos, se procedió a inspeccionar calderas, máquina de vapor, cable y polea para asegurarse de su buen estado y de su perfecto funcionamiento.

A este efecto acompañado del Sr. Jefe de máquinas hicimos una detenida visita a la máquina de extracción pudiendo observar después de un minucioso reconocimiento que podía seguir prestando servicio con garantía de seguridad en el estado que se encontraba en el momento de esta visita.

Se probó el freno en la jirilla cargada; en esta operación salió un trisillo en los rielos del volante, produciéndose una pequeña grieta en el estribo de dicho volante; aunque esta grieta no es importante, sea convenientemente el cambiarla, no pudiendo hacérselo ahora por no existir en almacenes repuesto de esta pieza.

Se vio que los cables enrollaban con alguna dificultad, teniendo necesidad de humedecerlos para su mejor funcionamiento, los engranajes de estos en las saulas citaban sacos no siendo los engranajes

Las poleas y el castillete encontrándose en perfecto estado.
Compañero del Vigilante de los pozos, hicimos un
recorrido de vista en la copia de la junta bajando
por la de N.º y subiendo por la de S.º observando
que las máquinas estaban en buenas condiciones, no se
han girado por lo necesario se pone tres por su
mal estado.

Y una vez terminada esta visita
firmamos todos los documentos - lo mismo.

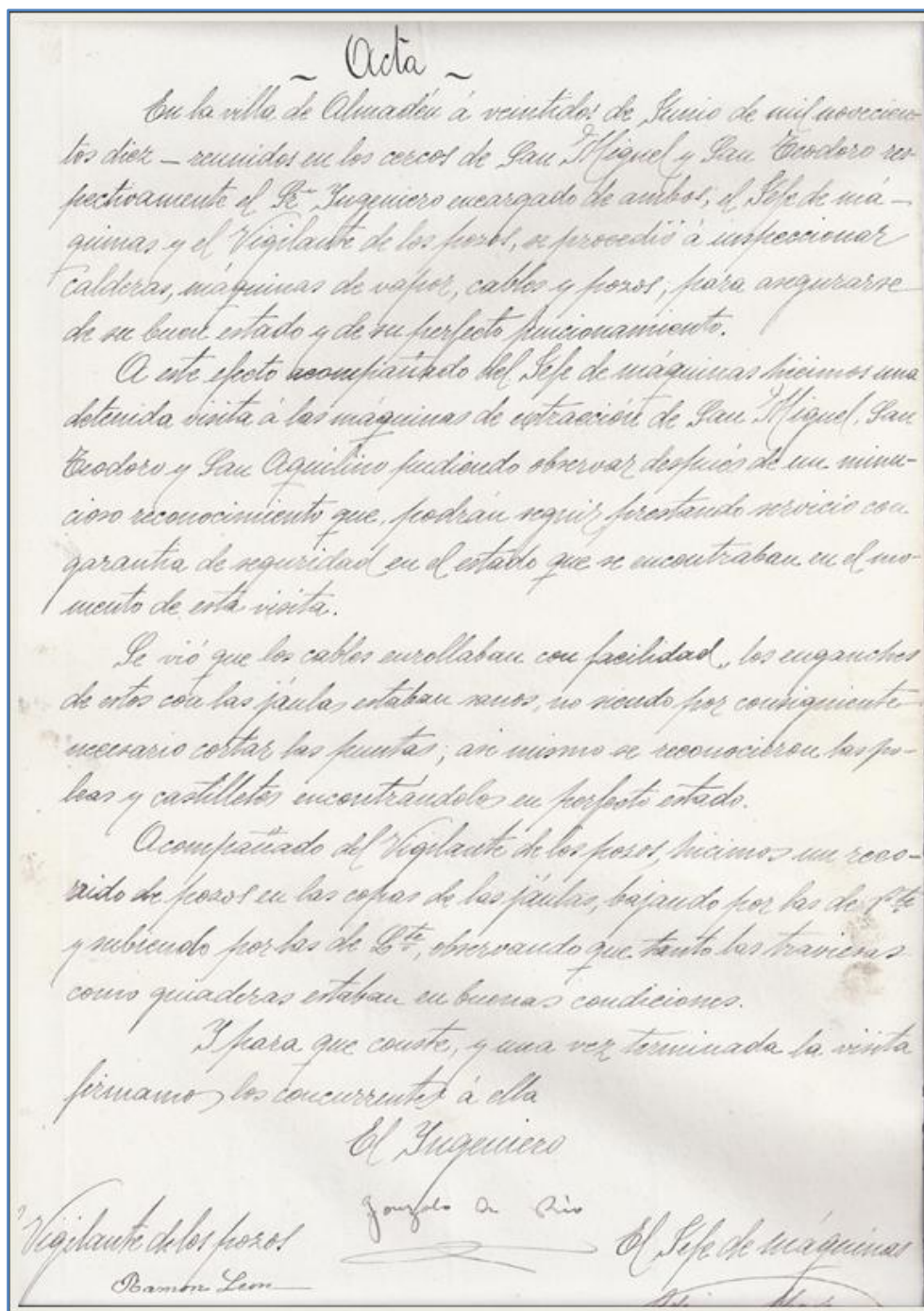
Al Vigilante de los pozos.
Mariano Arceles

El Vigilante de los pozos.
P. B.
F. María F. Ballester

El Jefe de máquinas.
Antonio Márquez

(Archivo Histórico Minas de Almadén, 1912) Actas de reconocimientos de máquinas de 1907 a 1912. Legajo FA-652/2: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.

10.3.2.-Acta de mantenimiento de 1910.



(Archivo Histórico Minas de Almadén, 1912) Actas de reconocimientos de máquinas de 1907 a 1912. Legajo FA-652/2: Manuscrito No Publicado. Almadén-España.

10.4.-Partes de trabajo de la máquina de vapor del pozo de San Teodoro.

10.4.1.-Parte de trabajo del 28-30 de Junio de 1869.

MÁQUINA DE VAPOR.		TIRADA DEL DÍA 28, 29, DE JUNIO DE 1869.		OBSERVACIONES.	
Horas en que se consumen los carbones en los hogares.		Horas en que se consumen los carbones en la máquina.		Total agua recibida en recipientes.	
2 1/2	6 1/2	5 1/2	14 1/2	117	476
Duración del movimiento.		Cargas consumidas.		Agua que tenían las puentes.	
Fuego.	Horas.	Horas.	Horas.	Al empezar la tirada en el 3.º	Al concluir la tirada en el 7.º
5	36 3/4	4	4	299	260
Agua que tenían las puentes.		Agua extraída durante la tirada, de los recipientes del 5.º		Total agua recibida en recipientes.	
Al empezar la tirada en el 3.º	Al concluir la tirada en el 7.º	117	157	117	157
<p>Almadén 30 de Junio de 1869</p> <p><i>Manuel García</i></p> <p><i>Manuel García</i></p>					

(Archivo Histórico Nacional, 1866-1880). Partes impresos y manuscritos sobre las tiradas que hacía la máquina de vapor de Almadén. FF.CC. Minas de Almadén. Legajo 435.: Manuscrito no publicado. Madrid.

10.5.-Planos máquinas de vapor.

10.5.1.-Plano máquina de vapor del Arsenal de la Carraca 1813.

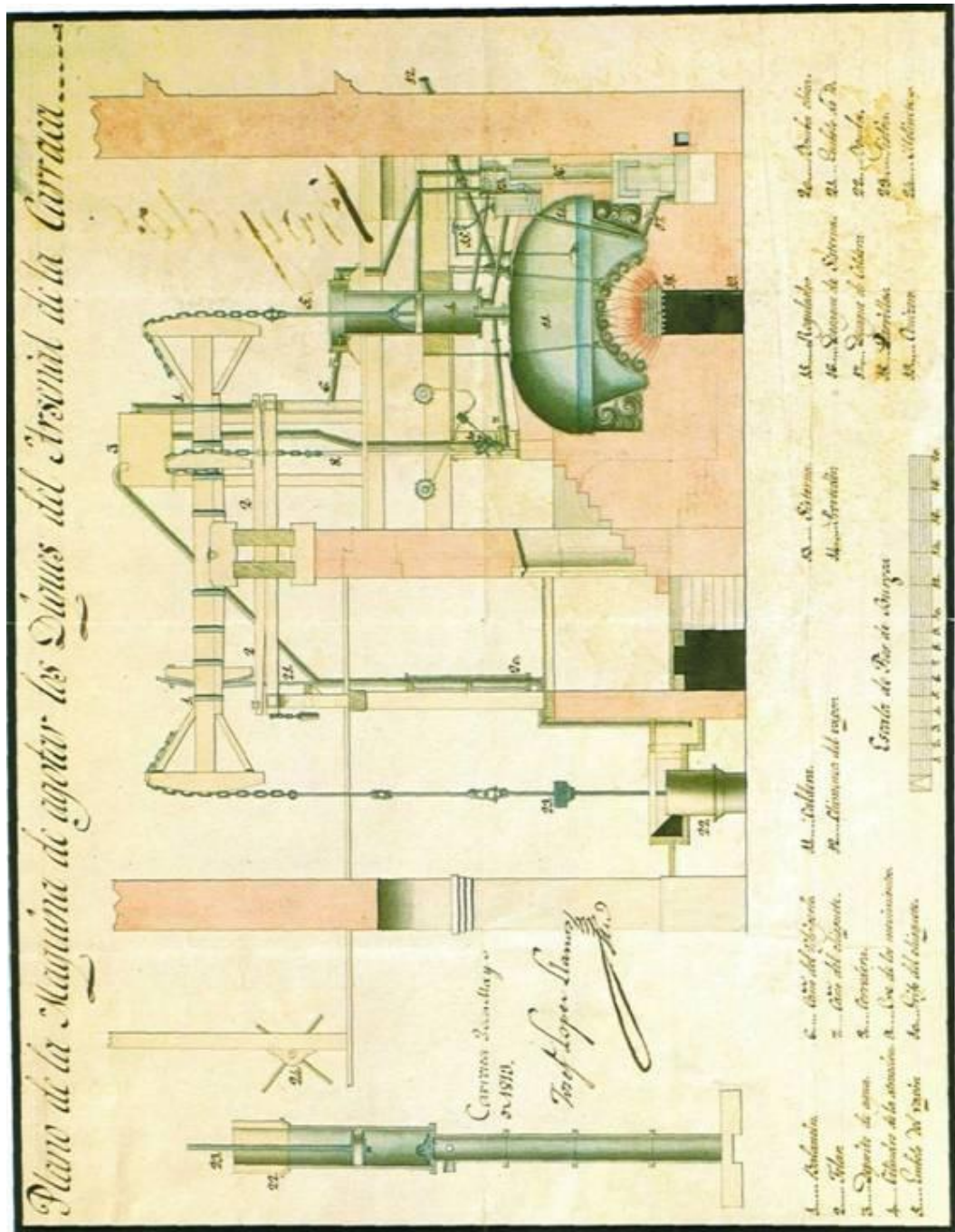


Figura 195. Plano de la máquina de vapor del Arsenal de la Carraca. Cádiz 1813.
Fuente: <http://almadeherrero.blogspot.com> Consultada 18/03/2016

10.5.2.-Plano máquina de vapor del Arsenal de Ferrol 1813.

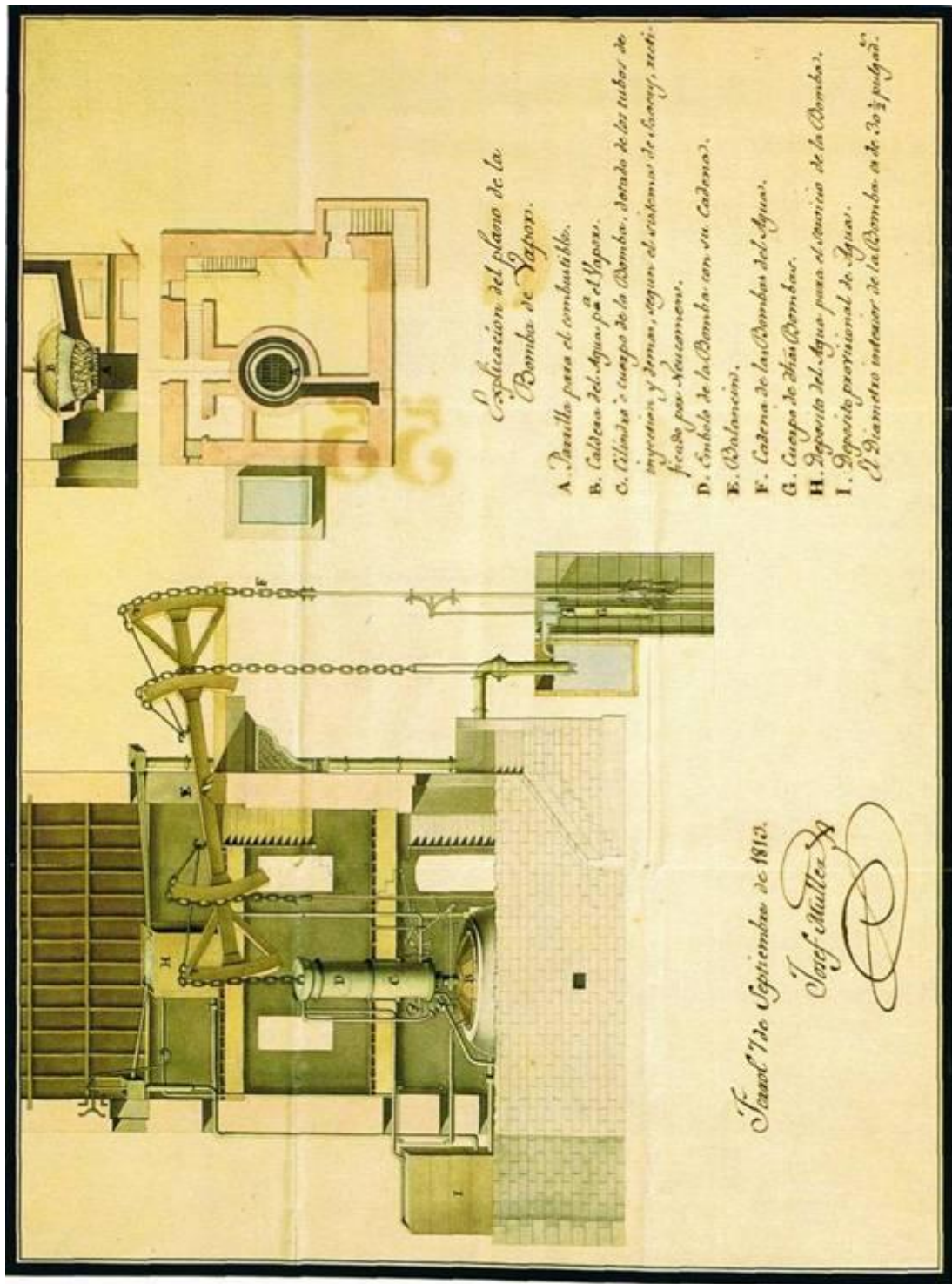
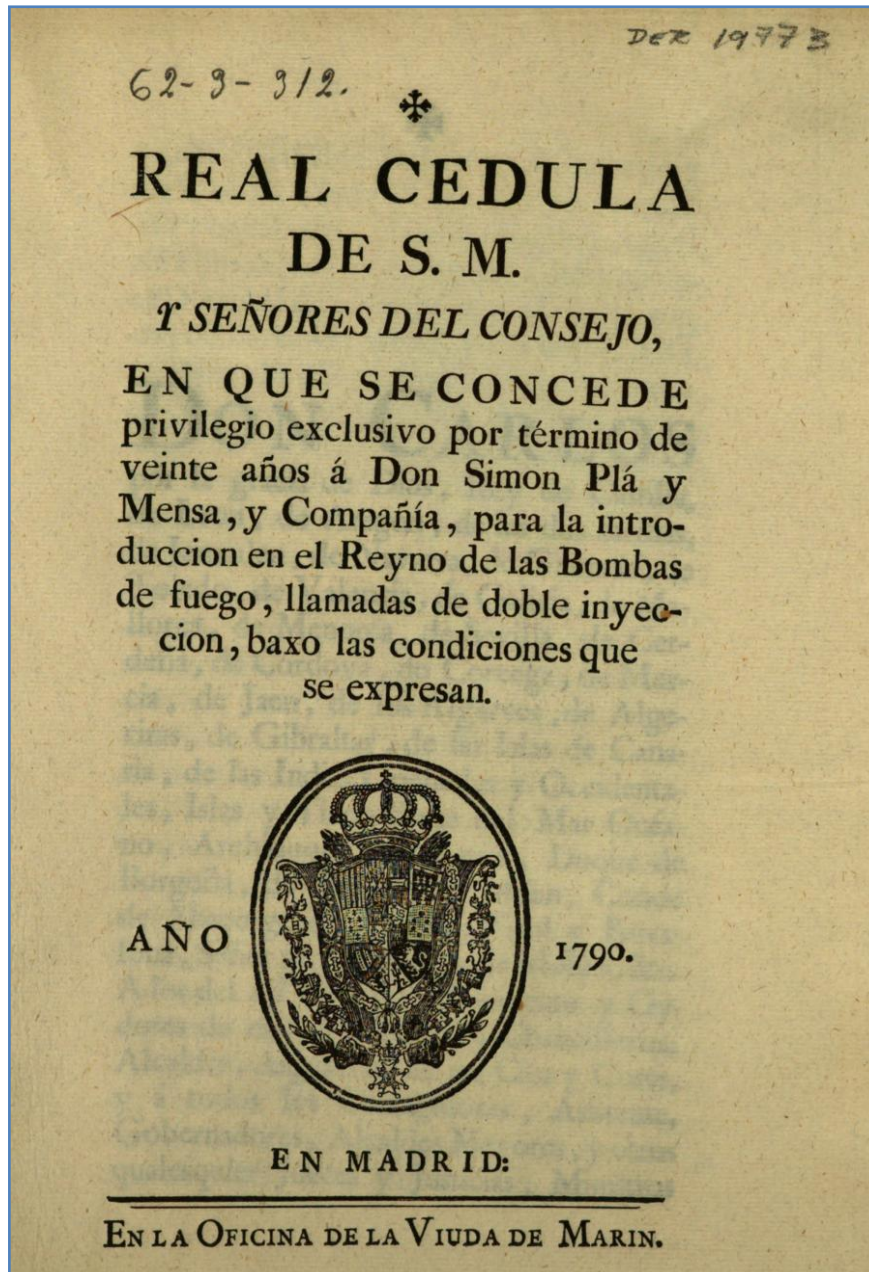


Figura 196. Plano de la máquina de vapor del Arsenal de Ferrol. Coruña 1813.
Fuente: <http://almadeherrero.blogspot.com> Consultada 18/03/2016

10.6.-Real Cedula privilegio introducción Bombas de Fuego en España 1790.

V.V.A.A. (1771). Real Cédula de su Magestad, declarando esentos (sic) del actual reemplazo del exercito a varios individuos operarios en las minas del azogue del Almadén. Madrid: Impreso en la oficina de D. Antonio Sanz, impresor del Rey.





DON CARLOS

por la gracia de Dios, Rey de Castilla, de Leon, de Aragon, de las dos Sicilias, de Jerusalem, de Navarra, de Granada, de Toledo, de Valencia, de Galicia, de Mallorca, de Menorca, de Sevilla, de Cerdeña, de Cordova, de Corcega, de Murcia, de Jaen, de los Algarves, de Algeciras, de Gibraltar, de las Islas de Canaria, de las Indias Orientales y Occidentales, Islas y Tierra-firme del Mar Océano, Archiduque de Austria, Duque de Borgoña, de Brabante y Milan, Conde de Abspurg, de Flandes, Tirol y Barcelona, Señor de Vizcaya, y de Molina, &c. A los del mi Consejo, Presidente y Oidores de mis Audiencias y Chancillerías, Alcaldes, Alguaciles de mi Casa y Corte, y á todos los Corregidores, Asistente, Gobernadores, Alcaldes Mayores, y otros qualesquier Jueces y Justicias, Ministros

y personas de todas las Ciudades, Villas y Lugares de estos mis Reynos, asi de Rea- lengo, como de Señorío, Abadengo y Or- denes, tanto á los que ahora son, como á los que serán de aquí adelante, SABED: Que Don Simon Plá y Mensa me ha hecho pre- sente los conocimientos que ha adquirido en sus viages á países extranjeros, emprendidos con el loable objeto de instruirse comple- tamente en quantos medios han discurrido otras naciones para promover su industria y comercio, de que son buena prueba los muchos modelos, dibujos y muestras, que mediante su estudio, aplicacion y dispen- dio de caudales, ha dispuesto para facilitar la mayor perfeccion en las artes, y esta- blecimientos utiles y beneficiosos al pú- blico y al Estado; y entre otras cosas ha propuesto el mismo Don Simon Plá y Mensa ser uno de los mas ventajosos el uso de las Bombas de fuego, llamadas de doble inyeccion, para una multitud de ope- raciones; y deseando que prácticamente se reconozcan las utilidades de esta má- quina en estos mis Reynos, ha manifesta- do que á costa de una compañía de Co- merciantes de Cadiz que ha formado, y contribuido á los gastos de sus viages, es- tablecerá dichas Bombas en el Reyno con

tal de que se le conceda privilegio exclusivo por espacio de veinte años para su introduccion , excepto las que sean directamente para mi Real servicio , las quales se obliga á subministrar á precio mas ventajoso que otro qualquiera , y ademas estipulado que sea su privilegio , se ofrece á construir para el uso de qualquiera que le pida dichas Bombas á un precio mas barato que las extrangeras. Enterado yo de esta propuesta del conocido mérito del referido Don Simon Plá , y de las ventajas que proporcionará á mis vasallos la introduccion de las citadas Bombas de fuego ; y persuadido por otra parte que si no es por este medio no se logrará que se conozcan pronta y generalmente dichas ventajas , como lo persuade el hecho de las Bombas de Cartagena , que ningun particular ha querido imitar ; por Real orden comunicada al mi Consejo en trece de este mes por Don Pedro de Lerena , mi Secretario de Estado y del Despacho Universal de Hacienda , que fué publicada en él , y acordado su cumplimiento ; he venido en condescender con la solicitud del citado Don Simón Plá y Mensa , y Compañía , concediendole como le concedo , privilegio exclusivo por el referido término de

veinte años para la introduccion en el Reyno de las Bombas de fuego llamadas de doble inyeccion, en los términos y baxo las condiciones que quedan expresadas, para darle una prueba nada equívoca del aprecio que me han merecido sus desvelos, y un exemplar manifiesto de las recompensas que obtendrán qualesquiera otros vasallos que impelidos de iguales principios promueban el adelantamiento del bien general. Y para que lo referido tenga efecto, se acordó expedir esta mi Cédula: Por la qual os mando veais mi resolucion que queda citada, y la guardéis y cumpláis, y hagais guardar cumplir y executar como en ella se contiene, observando al referido Don Simon Plá y Compañía el privilegio que le concedo, sin permitir que otra persona alguna que no sea con su permiso introduzca durante dicho tiempo las referidas Bombas de fuego, procediendo contra los contraventores con arreglo á derecho, y dando las ordenes y providencias convenientes para la debida execucion y cumplimiento de esta mi Cédula, por ser asi mi voluntad; y que al traslado impreso de ella, firmado de Don Pedro Escolano de Arrieta mi Secretario, Escribano de Cámara mas anti-

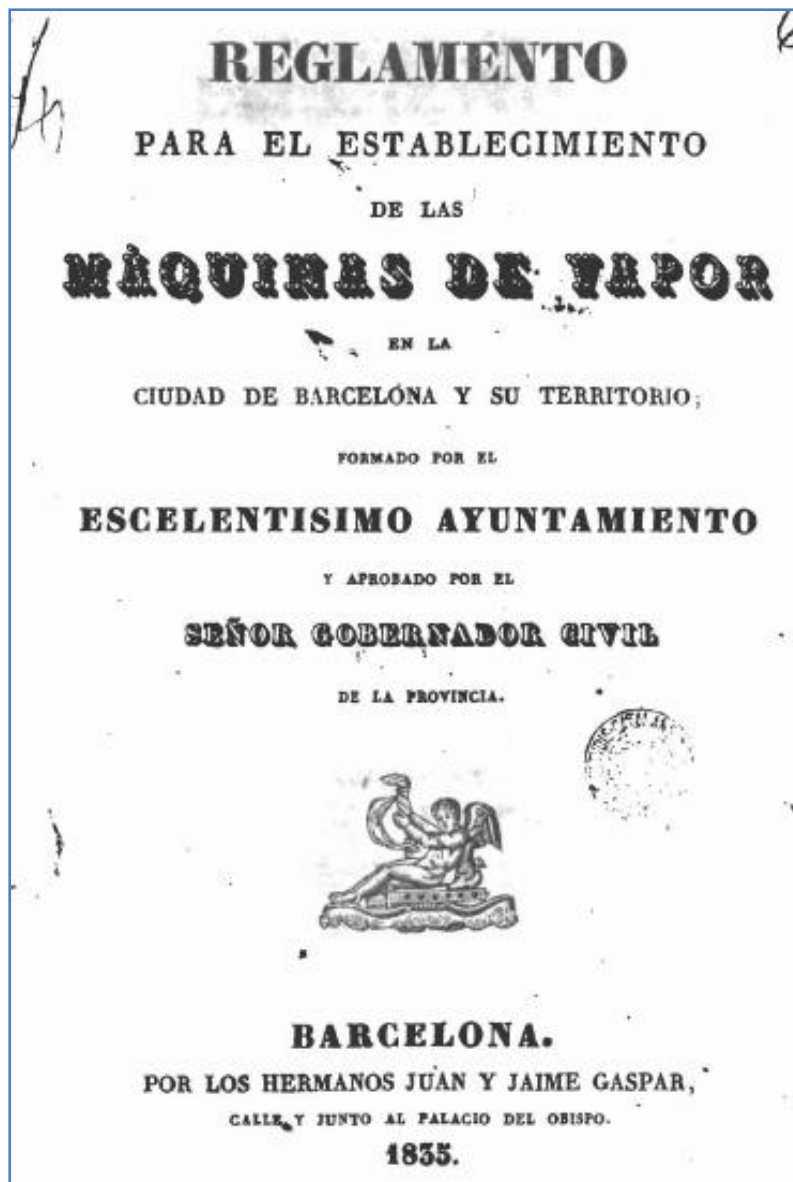
güo, y de Gobierno del mi Consejo, se le dé la misma fé y crédito que á su original. Dada en Aranjuez á veinte y cinco de Abril de mil setecientos y noventa:
YO EL REY : Yo Don Manuel de Aizpun y Redin, Secretario del Rey nuestro Señor, lo hice escribir por su mandado:
El Conde de Campomanes : Don Josef de Zuazo : Don Francisco de Acedo :
Don Pedro Flores : Don Pedro Andres Burriel : Registrada : Don Leonardo Marques : Teniente de Canciller mayor : Don Leonardo Marques.

Es copia de su original de que certifico.

•
*Don Pedro Escolano
de Arrieta.*

10.7.-Reglamento para el establecimiento de máquinas de vapor en la ciudad de Barcelona y su territorio 1835.

V.V.A.A. (1835). Reglamento para el establecimiento de las máquinas de vapor en la ciudad de Barcelona y su territorio, formado por el Esceletísimo Ayuntamiento y aprobado por el Señor Gobernador Civil de la provincia. BARCELONA: Los hermanos Juan y Jaime Gaspar.



REGLAMENTO

PARA EL ESTABLECIMIENTO

DE LAS MAQUINAS DE VAPOR.

ARTÍCULO I.

Se permitirá el establecimiento de máquinas Puntos de esta-
blecimiento. de vapor en la ciudad y su territorio, con sujecion á las reglas y prevenciones siguientes.

ARTÍCULO II.

Toda instancia en solicitud de autorizacion Autoridad que
concede el per-
miso. para establecer una máquina de vapor debe dirigirse al Escmo. Ayuntamiento.

ARTÍCULO III.

Los que aspiren á la autorizacion para el Declaraciones al
tiempo de pe-
dirlo. objeto indicado en el artículo antecedente, deberán declarar en su recurso:

1.º Si la máquina es de alta ó baja presión, y el grado de ella bajo el que se quiere que la máquina trabaje.

2.º Si la máquina debe ser ó no fumívora,

(4)

y en el primer caso, cual sea el sistema de construcción que pretendan adaptar para llenar el objeto que se proponen.

3º Acompañar un plano geométrico indicativo del espacio del establecimiento y de las habitaciones próximas en un radio de ciento cincuenta y un palmos de distancia de aquel.

ARTÍCULO IV.

*El reglamento
estará de mani-
fiesto á los veci-
nos.*

Para evitar todo recelo á los vecinos, el reglamento se pondrá de manifiesto en la Secretaría, permitiéndoles al mismo tiempo inspeccionar el local donde se plantifique la máquina, para cerciorarse de que guarda el método acordado.

ARTÍCULO V.

*Calderas: no
serán de hierro
fundido y sufrirán
prueba.*

Las calderas de vapor no podrán ser de hierro fundido, ni tampoco podrá emplearse ninguna, sin que conste haber sufrido la prueba de la prensa hidráulica, debiendo además sujetarse á la de una presión cinco veces mayor que la que ha de soportar en su ejercicio; cuya operación deberá presidir un comisionado por el Escmo. Ayuntamiento.

ARTÍCULO VI.

*Marca de la
caldera.*

Verificada la prueba, se marcará la caldera con números que expresen los grados de presión que hubiese declarado el dueño del es-

(5)

establecimiento, sin cuya marca no podrá usar de ninguna caldera.

ARTÍCULO VII.

Cada caldera tendrá dos válvulas de seguridad colocadas una en cada uno de sus extremos superiores. Su dimension y carga han de ser iguales y arregladas, tanto por lo que mira á la dimension de la caldera como al grado de presion marcado en ella, de manera, que el juego de una sola válvula sea suficiente para dar salida ó escape al vapor, siempre que este adquiriera una presion mas fuerte.

Válvulas de seguridad, y su dimension y carga.

ARTÍCULO VIII.

La primera de dichas válvulas estará á disposicion del operario que dirija el fuego de la máquina, quedando la segunda, cubierta de una reja en forma de jaula, á disposicion del dueño del establecimiento y bajo su responsabilidad.

Válvulas á disposicion del operario y del dueño.

ARTÍCULO IX.

La caldera deberá tener en su parte superior dos rodela y placas fusibles, la primera á un grado de calor superior de diez centígrados al que representa la marca de la caldera, y la segunda al de veinte centígrados, debiendo esta hallarse colocada cerca la válvula de seguridad y encerrada en la misma

Rodela y placas fusibles de la caldera.

(6)

jaula. Ambas rodela's llevarán marcado un número, que señale la fusibilidad.

ARTÍCULO X.

Circunstancias del local de la caldera y su distancia del vecino. El local donde deba colocarse la caldera será cuando ménos igual á veinte y siete veces su volumen: estará bien iluminado por medio de ventanas laterales, y separado diez palmos de las casas vecinas por medio de un muro ó pared de cinco palmos á lo ménos, así como, por otro muro igual, de los talleres interiores, sin permitirse por ningun pretexto habitacion alguna sobre dicho local. La distancia espresada se entiende ser de claro, sin incluir espesor ninguno de pared.

ARTÍCULO XI.

Chimenea: su elevacion y paredes. La chimenea deberá tener la elevacion de cuarenta y seis palmos sobre la mayor á que está arreglada por disposicion municipal la altura de las casas y sus paredes el grueso de cuatro palmos en la base y de dos palmos en la parte superior.

ARTÍCULO XII.

Acopios de carbon. No podrá haber mas acopio de carbon inmediato á la caldera que el preciso para el consumo de tres horas.

(7)

ARTÍCULO XIII.

El depósito del combustible deberá estar separado de la máquina por las paredes de que habla el artículo 10, y colocarse á ciento cuarenta y tres palmos de distancia, si la localidad lo permite; pudiendose conceder en caso contrario hasta la de setenta y un palmos, que se fija como mínima.

Depósito de combustible.

ARTÍCULO XIV.

Para alejar mas el peligro de los incendios, deberá ponerse el depósito del carbon de piedra al aire libre ó debajo de pórticos.

Depósito de carbon.

ARTÍCULO XV.

No podrá encargarse la direccion de la máquina y del fuego sino á un operario práctico é idóneo.

Operario encargado de la máquina.

ARTÍCULO XVI.

Concedido el permiso por el Ecsmo. Ayuntamiento, y antes de ponerse en accion la máquina, se asegurará por medio de peritos que están cumplimentadas todas las condiciones prescritas en este reglamento.

Peritos antes de poner la máquina en accion.

(8)

ARTÍCULO XVII.

Vigilancia de la autoridad por medio de visitas, y objetos de ellas.

Queda á cargo de la autoridad municipal vigilar los establecimientos que tengan en actividad máquinas de vapor, por medio de una visita semestre, mandando celar:

1º Las pruebas de las calderas y de sus tubos.

2º Las válvulas de seguridad.

3º Las rodelas ó placas fusibles.

4º El manómetro.

5º El regulador y cuantos registros entraña una máquina de esta naturaleza, marcándolo todo con un sello dispuesto al efecto, y asegurándose de que se observan puntualmente las reglas prescritas.

Los visitantes quedarán autorizados para registrar con toda escrupulosidad las calderas, justificar su estado, y obligar á la reparacion de las que por el largo uso ó alguna deterioracion accidental ofrezcan algun peligro.

ARTÍCULO XVIII.

Instruccion interior para los establecimientos.

En todos los establecimientos de máquinas de vapor deberá haber constantemente de manifiesto, junto á ellas, un ejemplar impreso de la instruccion, concebida en estos términos:

(9)

INSTRUCCION

que deberá observarse en las máquinas de vapor que se establezcan en esta ciudad y su territorio, previo permiso del Escelentísimo Ayuntamiento de ella y bajo las reglas y prevenciones contenidas en el reglamento.

FOGON.

El fuego en el fogon debe establecerse de modo que no haya un aumento ni disminucion repentina de calor. En estos casos se experimentan desigualdades parciales de temperatura, que á tenor de la variedad de la dilatacion ó densidad del vapor, pueden originar quebraduras y perjuicios. Debe igualmente procurarse que cuando el fogon esté frio no se avive el fuego con una estremada velocidad: ha, pues, de calentarse gradualmente. La experiencia debe ser la reguladora de la operacion, porque de atizar el fuego mas de lo que conviene puede causar un desarrollo de calor excesivo y perjudicial, conviniendo que el aumento ó disminucion de la leña se verifique con presteza, para evitar que el aire frio ocasione una accion destructiva, entrando por la puerta del fogon.

(10)

Estas precauciones serán en su mayor parte innecesarias, si el fogon tiene un distribuidor mecánico que suelte proporcionalmente el combustible, procurando que este no falte mientras se necesite.

Los tubos se deterioran si no se pone el mayor cuidado en la estincion del fuego. Para evitar este inconveniente, conviene que en el fogon quede todo el combustible, y cerrando el conducto de la chimenea y el de la ceniza, y tapando los goznes con tierra, se consigue que el aire no enfria los tubos con precipitacion, y su superficie no se oxida.

TUBOS Y CALDERA.

El agua deposita mayor ó menor cantidad de precipitado terroso segun su calidad. Debe, pues, procurarse que este no se endurezca jamas, porque seria mas dificil la penetracion del calor á dentro, y de consiguiente no se lograria el objeto; y siendo entonces precisa mayor cantidad de fuego, á mas de perjudicar á la economia, seria mas verosimil la alteracion del calor y rotura de los tubos.

Una porcion de patatas introducida en los tubos y caldera, mezcla su sustancia con el precipitado terroso, y priva que este se endurezca; de modo, que es mas fácil su extraccion, que debe verificarse mas ó menos de continuo segun la calidad del agua. Si ape-

(11)

sar de estas precauciones se rompe ó estropea algun tubo, es indispensable su pronto reemplazo. Remendar el tubo en tanto se ha de procurar que no se haga, como que podria producir una rotura repentina. Los progresos del deterioro superficial de los tubos deben tomarse en consideracion luego de observados, atendidas las consecuencias. Lo mismo debe verificarse con respecto á las calderas, que no siendo de tan fácil inspeccion como los tubos, no puede dejarse perder ocasion de reconocerlas al cambiar estos, al reparar el fogon ó el forro de la caldera, ó bien al limpiarla y ponerla en estado de volver á servir.

Si se observa alguna pequeña hendidura en la parte de conjuncion con la tapadera que cierra un tubo, ó en la que cubre la caldera, no se remediará cerrando los tornillos durante el trabajo, porque correria riesgo de causar la rotura de estas tapaderas ó platos, particularmente cuando la almáciga que guarnece los bordes ha tenido tiempo de endurecerse: en el caso de rotura, por una erupcion de las piezas, ó por la aspersión del agua y del vapor, el trabajador seria víctima. Esta clase de hendiduras no deben repararse hasta despues de cesado todo trabajo.

No se permitirá vaciar el agua para la limpia de los tubos y caldera, hasta que esté rebajada notablemente la temperatura, particularmente si las máquinas no tienen los tubos provistos de espitas.

(12)

BOMBA ALIMENTICIA

Y NIVEL DEL AGUA EN LA CALDERA.



El agua en la caldera debe siempre mantenerse en el nivel indicado por la posición horizontal de la palanca movida por el flotante. El trabajador no ha de descansar en la sola inspección de la palanca cuando quiera saber la altura del agua en la caldera: debe asegurarse á menudo de que los movimientos del flotante son libres, vigilando especialmente que la guarnición que priva la salida del vapor por el cabo del flotante no esté demasiado cerrada, porque entonces la indicación del flotante no sería exacta. Las mismas precauciones deben verificarse con aquellas máquinas, cuyo movimiento de descenso del flotante hace abrir el canal alimenticio y que por su acción remedian la disminución del agua que experimenta la caldera.

La bomba alimenticia requiere igual vigilancia, porque si faltase el agua, debe irse añadiendo poco á poco para evitar accidentes desagradables. En efecto, si el agua se elevase rápidamente contra las paredes de la caldera, que el calor encandeciese, produciría instantáneamente una demasiada cantidad de vapor, siendo fácil que el aumento de presión fuese superior á la que puede sufrir la

(13)

caldera. En esta circunstancia, si las válvulas de seguridad no jugasen libremente ó estuviesen sobrecargadas de peso, el peligro de la explosión seria inminente. En general, la falta de agua en la caldera, si no ocasionase la explosión, produciria roturas muy perjudiciales á la máquina.

VÁLVULAS DE SEGURIDAD.

Es indispensable que el trabajador se aplique á estudiar su juego, y á conocer el grado de adherencia que contraen con el gollote en el cual egercen su presión, especialmente habiendo sido renovadas; conviniendo mas observar esta adherencia, cuando la válvula sea construida de tal modo, que el plano ó superficie de contacto esté reducido á una zona circular demasiado estrecha, debiendo el trabajador asegurarse de que las válvulas tienen la debida libertad en el movimiento que necesitan. A este efecto es muy oportuno que el trabajador levante de cuando en cuando uno de los cabos de la palanca que sostiene el peso que sirve de carga ordinaria, para asegurarse de que la válvula no ha contraido una adherencia demasiado fuerte.

Cuando las válvulas no juegan libremente, y al mismo tiempo se les da demasiada carga, retienen el vapor cuando debieran darle de-

(14)

sahogo. El vapor se acumula y se comprime, y pudiendo adquirir una fuerza que escediera á la resistencia que puede oponer la caldera, la haria pedazos.

Esto podria igualmente suceder, si queriendo dar mas actividad á la máquina, se añadiese peso á lo que compone el máximo de la carga ordinaria de las válvulas. Tales excesos de peso son estremadamente peligrosos, de modo que se esponen á una muerte cruel los trabajadores que ignorasen que uno de los principales efectos de una explosion consistiria en derramar una inmensa cantidad de vapor ardiente. Sean las máquinas las que se quiera, siempre deben vigilarse las válvulas, y conservarse en un estado de perfecta libertad. Por poco que su juego se entorpezca, el vapor al menor aumento de actividad del fuego, en lugar de desahogarse, adquiriria mas calor y tension, y llegaria á romper y derritir las rodela. Interesa, pues, al propietario examinar diariamente la válvula, cerrandola con reja de hierro, cuya llave deberá estar en su poder. Las válvulas necesitan ser renovadas muy á menudo, porque del contrario se perderia vapor; de modo que el mismo propietario debe observarlo, porque los operarios lo suplirian aumentando la carga habitual, y resultarían perjuicios de consideracion.

Si se quiere hacer cesar el fuego, ó cuando se le cubre para el dia siguiente, con-

(15)

viene asegurarse de que las válvulas ya descargadas pueden dar libre salida al vapor que va continuando.

MANÓMETRO.



El manómetro por su comunicacion con el interior de la caldera indica siempre la marcha mas ó ménos rápida de la produccion del vapor, y el grado de fuerza de presion que resulta. Esta se marca por el movimiento de la columna de mercurio encerrada en el tubo de cristal, y se mide por medio de la escala que está colocada á lo largo del tubo. La utilidad es conocida, y el propietario debe preservarlo, haciendolo cubrir con un pequeño enrejado de hierro ó de laton. Debe procurarse que el trabajador conozca el destino del instrumento, para sacar provecho de sus indicaciones. De ahí se sigue, que todas las calderas deberán estar provistas del manómetro al aire libre, cuyo tubo de vidrio ha de estar á una altura de 76 centésimos (28 pulgadas) sobre el nivel de la superficie del mercurio comprimido por el vapor.

Finalmente, el trabajador debe consultar muy frecuentemente el manómetro y tomarlo como una guia en la conducta que deberá observar con respecto al fuego.

(16)

RECINTO DE LA MÁQUINA.


En la suposición que puede tener efecto una explosión, el medio de hacerla ménos perjudicial, es el aislar el local de la máquina, y no colocar los materiales necesarios, que estén en depósito, á la proximidad de la misma, sino á una distancia de muchas varas. De observar lo contrario, ocupando con materiales el espacio que debe dejarse de parte de las habitaciones entre las paredes medianeras y la pared de defensa que debe circuir el local de la máquina, no se llenaria el objeto. Lo mismo sucederia con la pared de defensa ó precaucion, á no hacer que confine por la parte exterior con un espacio vacío.

Finalmente es indispensable que el local en que esté situada la máquina esté cerrado de modo que no sea posible introducirse en él. Podrian maliciosamente sobrecargarse las válvulas ó atarlas cuando se ha detenido ó cubierto el fuego, y la acumulacion del vapor dar márgen á una desgracia. Deben, pues, los propietarios por su interés y el de los demas, atender á todo cuanto se ha manifestado, y vigilar estrictamente su cumplimiento.

Barcelona 7 de julio de 1835.

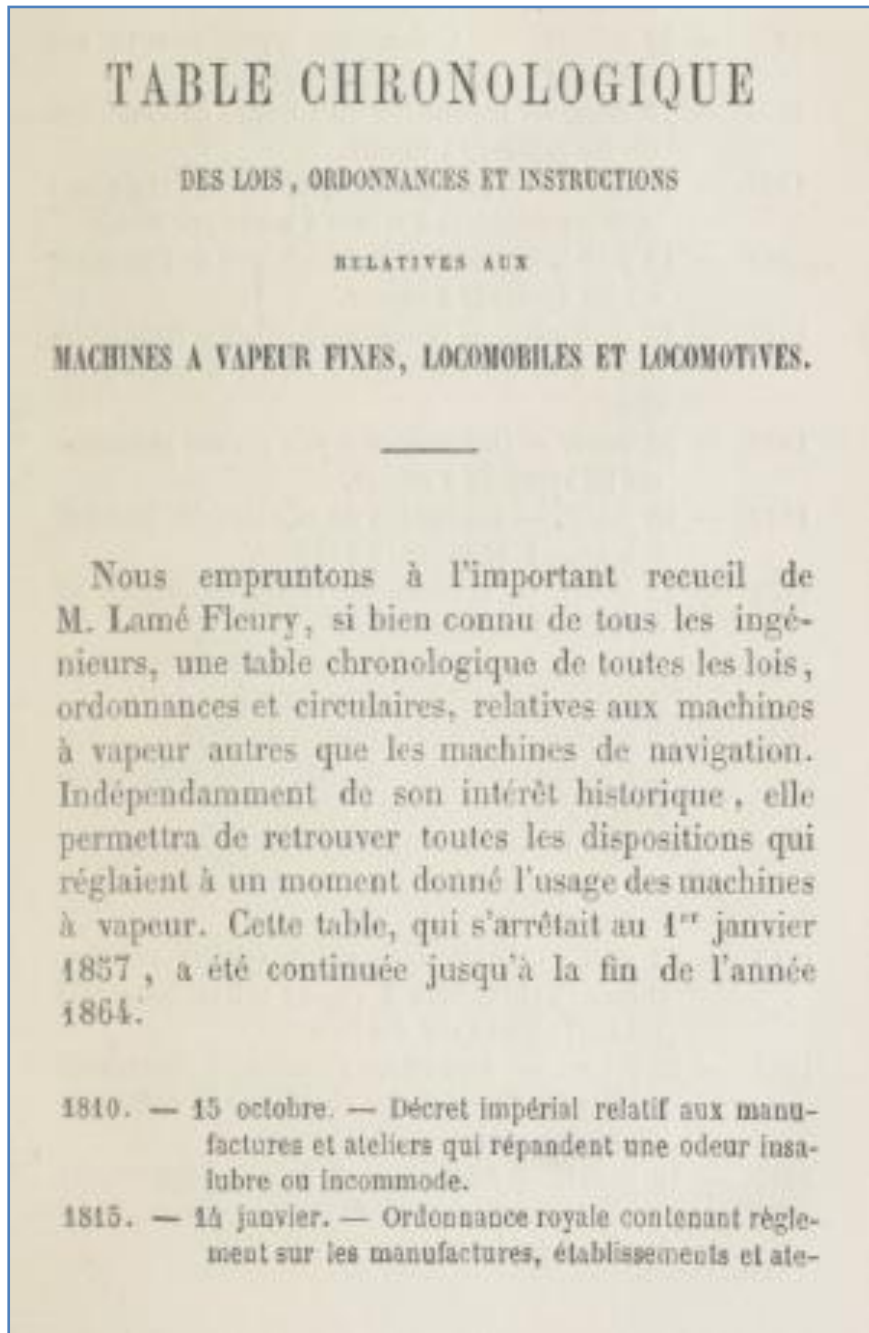
Por mandado del Escmo. Ayuntamiento,

Cayetana Ribó, secret.º int.º



10.8.-Tabla cronológica de las ordenanzas referentes a las máquinas de vapor fijas y a locomotoras en Francia 1865.

Vidal, V. (1865). Legislation des Machines a Vapeur. . Paris. Francia: Ingenieur civil, Ancien eleve de l'Ecole Polytechnique et de l'Ecole des mines.



- liers qui répandent une odeur insalubre ou incommode.
1823. — 29 octobre. — Ordonnance royale relative aux machines à vapeur à haute pression.
1824. — 19 mars. — Instruction du ministre de l'intérieur sur les appareils à vapeur.
1828. — 7 mai. — Ordonnance royale portant règlement pour les machines à vapeur à haute pression.
1828. — 12 juillet. — Instruction du ministre de l'intérieur sur les appareils à vapeur.
1829. — 23 septembre. — Ordonnance royale portant règlement pour les machines à vapeur à haute pression.
1830. — 25 mars. — Ordonnance royale portant règlement sur les appareils à vapeur.
1832. — 23 juillet. — Instruction du ministre de l'intérieur concernant les appareils à vapeur.
1839. — 22 juillet. — Ordonnance royale concernant les chaudières de locomotives.
1842. — 29 janvier. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Chaudières en fonte.
1842. — 12 octobre. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Action des eaux corrosives sur les chaudières à vapeur.
1842. — 27 octobre. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Explosions de chaudières à vapeur.
1843. — 22 mai. — Ordonnance royale relative aux machines et chaudières à vapeur autres que celles qui sont placées sur des bateaux.
1843. — 22 juillet. — Instruction du ministre des travaux publics sur l'emploi des chaudières à vapeur établies à demeure.
1843. — 23 juillet. — Instruction du ministre des travaux publics pour l'exécution de l'ordonnance royale du 22 mai précédent.

TABLE CHRONOLOGIQUE.

85

1843. — 24 juillet. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Envoi de l'ordonnance du 22 mai précédent et d'instructions relatives à son exécution.
1844. — 15 janvier. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Explosions de chaudières à vapeur.
1844. — 15 juin. — Ordonnance royale portant rectification de l'article 24 de l'ordonnance du 22 mai 1843.
1845. — 28 janvier. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Poinçonnage des poids et leviers servant à charger les soupapes de sûreté.
1845. — 30 janvier. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Cylindres sécheurs et autres récipients contenant de la vapeur.
1845. — 11 février. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Calorifères à eau.
1845. — 28 octobre. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Explosions de chaudières à vapeur.
1846. — 16 mars. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Appareils manométriques des chaudières de machines locomotives.
1846. — 18 mai. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Accidents d'appareils à vapeur.
1846. — 15 novembre. — Ordonnance royale concernant la police des chemins de fer.
1847. — 8 mars. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Explosions de chaudières à vapeur.
1847. — 20 juillet. — Circulaire du sous-secrétaire d'État des travaux publics. — Envoi d'une instruction pratique sur les manomètres et thermomanomètres applicables aux chaudières de machines locomotives.
1847. — 15 septembre. — Circulaire du sous-secrétaire

- d'État des travaux publics. — Exécution de l'article 29 de la loi du 22 mai 1843.
1847. — 4 octobre. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Indicateurs du niveau de l'eau. — Position de la cheminée du foyer.
1848. — 2 mars. — Décret du gouvernement provisoire relatif aux pouvoirs momentanément confiés aux ministres.
1848. — 11 mars. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Accidents d'appareils à vapeur.
1848. — 8 avril. — Arrêté du ministre de la guerre relatif aux machines et chaudières à vapeur employées sur terre en Algérie.
1848. — 12 juin. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Accidents d'appareils à vapeur.
1848. — 14 juin. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Appareils fumivores.
1848. — 9 décembre. — Arrêté du chef du pouvoir exécutif portant organisation de l'administration générale en Algérie.
1848. — 17 décembre. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Chaudières à foyer et conduits de flamme intérieurs.
1849. — 15 juin. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Chaudières de machines locomotives.
1849. — 15 décembre. — Instruction du ministre des travaux publics concernant les manomètres des chaudières à vapeur.
1849. — 17 décembre. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Introduction d'un régime de liberté à l'égard des manomètres.
1850. — 22 février. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Manomètres.
1850. — 15 avril. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Contrôle des chemins de fer en exploitation.

TABLE CHRONOLOGIQUE.

87

1852. — 6 janvier. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Épreuves des récipients mentionnés dans la circulaire du 30 janvier 1845.
1852. — 5 mars. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Cylindres sécheurs. — Emplacement et diamètre des soupapes de sûreté.
1852. — 24 août. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Accidents d'appareils à vapeur.
1852. — 26 août. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Épreuves aux manomètres. — Position de l'ajutage réglementaire de la chaudière.
1852. — 31 août. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Cylindres sécheurs et autres récipients de vapeur. — Simplification des formalités d'autorisation.
1852. — 30 novembre. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Tolérance d'un tiers accordée sur l'épaisseur des corps cylindriques des chaudières de machines locomotives. — Soupapes de sûreté.
1853. — 22 mars. — Circulaire du ministre des travaux publics. — Proscription des fonds en fonte dans la construction des bouilleurs de chaudières à vapeur.
1856. — 21 juillet. — Loi pénale concernant les appareils et bateaux à vapeur.
1856. — 10 décembre. — Circulaire du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. — Appareils employés dans les distilleries.
1856. — 10 décembre. — Circulaire relative aux chaudières tubulaires.
1858. — 24 mars. — Décret impérial qui rend exécutoires en Algérie divers décrets et ordonnances. — Établissements insalubres et incommodes.
1858. — 28 juin. — Circulaire relative aux calorifères à eau.
1858. — 13 juillet. — Circulaire relative aux appareils à vapeur. — Emploi du mastic de fonte.

88	TABLE CHRONOLOGIQUE.
1858.	— 27 octobre. — Décret impérial relatif à l'organisation administrative de l'Algérie.
1860.	— 12 juin. — Sénatus-consulte concernant la réunion à la France de la Savoie et de l'arrondissement de Nice.
1860.	— 30 juin. — Circulaire relative aux accidents occasionnés par les machines dans les usines et manufactures.
1860.	— 26 septembre. — Décret impérial relatif à la juridiction administrative des départements de la Savoie, de la Haute-Savoie et des Alpes-Maritimes.
1860.	— 17 novembre. — Décret impérial relatif à l'exécution dans les départements de la Savoie, de la Haute-Savoie et des Alpes-Maritimes des règlements sur les établissements insalubres, dangereux ou incommodes.
1860.	— 10 décembre. — Décret relatif à la haute administration de l'Algérie.
1861.	— 26 juillet. — Circulaire relative aux chaudières en tôle d'acier fondu (épaisseur).
1861.	— 21 décembre. — Circulaire relative aux chaudières en tôle d'acier fondu (rivets).
1861.	— 22 décembre. — Circulaire relative aux chaudières en tôle d'acier fondu (épaisseur).
1862.	— 27 juillet. — Décret impérial qui rend exécutoires en Algérie les lois et règlements sur la police, la sûreté et l'exploitation des chemins de fer.

