

EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y CARACTERIZACIÓN TIPOLOGICA-FUNCIONAL DEL PATRIMONIO HISTÓRICO INDUSTRIAL MINERO ESPAÑOL LIGADO A DIFERENTES PROCESOS DEL LABOREO DE MINAS

José Ignacio Rojas-Sola

Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos. Universidad de Jaén.
Campus de las Lagunillas, s/n. 23071 Jaén. jirojas@ujaen.es

RESUMEN

En este artículo se presenta una revisión de la evolución histórica y caracterización tipológica-funcional de las principales manifestaciones del patrimonio histórico industrial minero en España desde comienzos del siglo XIX hasta mediados del XX, en distintas etapas del laboreo de minas. Para ello, se han analizado dichas manifestaciones agrupadas en torno a dos temas bien diferenciados: el de los sondeos y la perforación del terreno, y el de la extracción vertical del mineral y del agua y sólidos de las minas. En concreto, se analizan los principios de funcionamiento y las principales aportaciones de dichas manifestaciones, basándose en bibliografía especializada así como en la información proporcionada por los expedientes sobre patentes de invención relacionadas con los sondeos y la perforación del terreno (1878-1966) presentes en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas del Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España. Finalmente, se realiza una discusión sobre los resultados obtenidos y se subraya que la evolución de las invenciones ha ido en paralelo con el desarrollo tecnológico de la época.

PALABRAS CLAVE: Patrimonio minero, evolución histórica, caracterización tipológica-funcional, archivo histórico, Oficina Española de Patentes y Marcas.

ABSTRACT

This article reviews the historical evolution and typological-functional characterization of the main manifestations of mining heritage in Spain from the early-nineteenth to the mid-twentieth century in various stages of mining tasks. With this in view, we have analyzed these manifestations grouped under two processes: the process of surveys and the drilling of shafts and galleries, and the process of vertical extraction of the mineral, water and solids from the mines. In particular, the principles governing the operation of these manifestations and their main contributions are discussed, basing the analysis on specific literature as well as on the information provided in the records on patents (1878-1966) related to surveys and drilling found in the Historical Archive of the Spanish Patent and Trademarks Office of the Ministry of Industry, Energy and Tourism. Finally, a discussion of the results is provided, highlighting that the evolution of inventions has gone hand in hand with the technological developments of each period.

KEY WORDS: Mining heritage, historical evolution, typological-functional characterization, historical archive, Spanish Patent and Trademark Office.

Recibido: 21 de abril, 2014 • Aceptado: 20 de febrero, 2015

INTRODUCCIÓN

El Patrimonio Histórico Industrial Minero (PHIM) ha sufrido una evolución histórica fruto de los avances tecnológicos de la época a la que ha pertenecido, que merece la pena ser estudiada en detalle, en toda su diversidad. En este sentido, una magnífica aproximación a la minería no energética ha sido tratada con anterioridad (Puche Riart, 2001).

Las manifestaciones del PHIM son muy diversas dependiendo de la actividad específica, y aunque existen clasificaciones mucho más detalladas en función del patrimonio mueble e inmueble, se pueden clasificar genéricamente en (Contreras Cortés y Dueñas Molina, 2010):

1. Vinculado a la extracción, como los desmontes, cortas, canteras y escombreras (explotación a cielo abierto), sondeos y perforación de pozos y galerías (explotación subterránea), castilletes, cabrias metálicas y de mampostería, casas de máquinas de extracción, desagüe, ventilación e iluminación, tolvas, ascensores, casa de máquinas de bombeo, casas de calderas, chimeneas, compresores, almacenes o subestaciones eléctricas (instalaciones de apoyo a la extracción), entre otros.
2. Vinculado al tratamiento del mineral, como las zonas de lavado, clasificación y transformación (lavado y compactación) o centrales térmicas y fundiciones (transformación).
3. Vinculado al transporte marítimo, fluvial o terrestre, como las líneas férreas o las estaciones de tren y cargaderos.
4. Vinculado a los usos sociales y administrativos, como barrios, cuarteles, viviendas obreras, casa de dirección y casa de técnicos (alojamientos) o escuelas, capillas, economatos, hospitales, oficinas, casinos e instalaciones deportivas (equipamientos).

Los objetivos de este artículo son dos claramente diferenciados: de una parte, realizar un recorrido histórico de dos de las principales operaciones del laboreo de minas (sondeos y perforación del terreno, así como la extracción vertical del mineral y el desagüe de las minas), y de otra realizar una caracterización tipológica-funcional de las distintas invenciones desarrolladas presentes en la bibliografía especializada y su comparación con las aportaciones de privilegios y patentes de invención del Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas. Para ello, el estudio se apoya en los expedientes ya publicados (Rojas-Sola *et al.*, 2014a, 2014b), así como en otras patentes de invención no publicadas con anterioridad sobre sondeos y perforación del terreno.

Estos objetivos forman parte del Proyecto de Investigación en el que se enmarca este trabajo, concedido en el seno del Plan Nacional de I+D+i (2008-2011), titulado “*El patrimonio histórico industrial minero: un estudio integral para su puesta en valor y difusión desde la ingeniería gráfica*” (HAR2012-30723), centrado fundamentalmente en el antiguo distrito minero de Linares-La Carolina (Jaén), y cuyo investigador principal es el autor del artículo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Dentro de las tipologías más características y singulares de este tipo de patrimonio vinculado al laboreo de minas se encuentran, sin lugar a dudas, las invenciones relativas a los procesos de extracción del mineral, así como las relacionadas con la extracción del agua (desagüe) de las minas. Un completo estudio de dicha evolución histórica, ha sido presentado en dos artículos de investigación (Rojas-Sola *et al.*, 2014a, 2014b), en los que se analizan los privilegios y patentes de invención más relevantes del Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Sin embargo, una visión global señala la conveniencia de profundizar en dicho estudio, tratando de cubrir otras operaciones del laboreo de minas, como los sondeos y la perforación del terreno, y por tanto, acudiendo de nuevo al Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas y a literatura especializada. Así pues, en primer lugar se han rescatado de dicho Archivo Histórico las patentes de invención más notables sobre sondeos y perforación del terreno, y después se ha acudido a bibliografía especializada de la época para completar el estudio, permitiendo finalmente establecer una relación entre las invenciones presentes en la Oficina Española de Patentes y Marcas, y las aportaciones que la bibliografía histórica especializada presenta, relacionadas con las dos etapas analizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Procedimientos de sondeos y perforación del terreno

En la Tabla 1 se presentan las invenciones más notables presentes en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas en el período 1878-1966, con información acerca del número de expediente, el título, el solicitante y la fecha de solicitud. Dentro de la Clasificación Internacional de Patentes, todas ellas pertenecen a la clasificación E02D (Hidráulica, cimentaciones, movimientos de tierra) incluida su subdivisión (E02D: cimentaciones, excavaciones, diques, terraplenes) y E21 (Perforación del suelo; explotación minera), incluidas sus subdivisiones (E21B: perforación del suelo; extracción de petróleo, agua, etc.; E21C: explotación de minas o canteras; E21D: pozos, túneles, galerías).

Seguidamente, se muestra un resumen de la aportación tecnológica de cada patente de invención, indicando su principio de funcionamiento así como los avances conseguidos, y su planimetría.

Expediente 278 (Perfeccionamiento en el aparato para la perforación de pozos artesianos y para investigaciones de minas)

En esta invención, la fuerza motora utilizada es el vapor generado en una caldera, que se transmite por tubos comunicados y provistos de las llaves de paso correspondientes (Fig. 1).

Mediante un sistema piñón-engranaje se transmite el movimiento a un tambor sobre el que enrolla o desenro-

Nº	Título	Solicitante	Fecha
278	Perfeccionamiento en el aparato para la perforación de pozos artesianos y para investigaciones de minas.	Richard-Gennay, Alphonse Frédéric	11-03-1879
1762	Perfeccionamientos en una máquina empleada para la explotación de las minas.	Lechner, Francis Marion	22-07-1881
7716	Un nuevo procedimiento para atacar las rocas en los trabajos marítimos, minas y otras excavaciones.	Lobnitz, Henry Christian	28-12-1887
12683	Procedimiento para la ejecución rápida de las excavaciones en roca dura, perforaciones de galerías y túneles, profundización de pozos, derrumbamientos y otro trabajos análogos, por medio de aparatos llamados "cureñas o ajustes expresos para baterías de perforadoras rotatorias".	Le Forage	13-11-1891
13331	Perfeccionamientos de los taladros mecánicos para los mineros.	Anderson, Henry William	14-05-1892
20070	Mejoras en el procedimiento para la perforación y obtención de testigos minerales y para elevarlos a la superficie por medio de los aparatos y herramientas de corte que se describen.	Davis, Francis Harley	07-12-1896
121631	Un aparato destinado a perforar toda clase de terrenos para descubrir minas de agua y a sondeos.	Candanedo Modino, Estanislao	10-02-1931
137858	Una máquina para abrir galerías o túneles.	J. de Miguel, S. A.	30-03-1935
162247	Un dispositivo picador en forma de cuña para la extracción de carbón y otros minerales.	Gewerkschaft Eisenhütte Westfalia	08-07-1943

Tabla 1. Patentes de invención (1878-1966) del Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas relacionadas con los sondeos y perforación del terreno.

lla un cable según el sentido de giro, contando con un sistema de frenado.

El sistema de perforación está diseñado como un sistema balancín, compuesto por dos travesaños de madera, de forma que al travesano superior se le comunica un movimiento de subida y bajada por medio de un cilindro bastidor de hierro dulce y fundido que trabaja con vapor y está situado en un extremo, recibiendo el movimiento en el otro extremo donde se encuentran los instrumentos de perforación.

Para la perforación se diseña una pieza denominada 'caída libre' que se atornilla en su extremo superior al travesano. Se trata de un cilindro hueco con una sonda en su interior, articulándose un deslizador provisto de un contrapeso, que mueve la misma imprimiendo el movimiento para perforar.

Las ventajas que presenta son que se trata de un sistema automatizado de perforación de minas en el que se necesita una mínima fuerza humana para su accionamiento, y que el instrumento de perforación puede ser reemplazado en función del tipo de terreno que se tenga. Sin embargo, el inconveniente principal es que la profundidad máxima de perforación es de 2 m.

Expediente 1762 (Perfeccionamientos en una máquina empleada para la explotación de las minas)

En esta patente, la máquina consta de una estructura formada por traviesas y montantes, a los que se fijan los distintos órganos que la componen (Fig. 2).

La rotación en el eje en el que se encuentran los dientes encargados de la perforación se transmite mediante unas cadenas que llegan a éste, y cuyo otro extremo está en el tambor que recibe el movimiento.

Asimismo, en el lateral de la máquina se disponen unos garfios de geometría específica que se mueven también por un mecanismo de palanca, penetrando en la tierra cuando la máquina avanza hacia delante y doblándose recogidos cuando retrocede.

Las principales ventajas son que los dientes encargados de la perforación son ajustables, y que se puede utilizar en dirección horizontal, vertical o en cualquier ángulo requerido.

Expediente 7716 (Un nuevo procedimiento para atacar las rocas en los trabajos marítimos, minas y otras excavaciones)

La invención tiene por objeto facilitar las operaciones de excavación y profundización de los ríos, canales y puertos, así como la apertura de zanjas al aire libre para ferrocarriles, carreteras, caminos o trabajos de minas cuando se hallan rocas, piedras, guijarros o tierras muy duras (Fig. 3).

El trabajo previo consiste en preparar y facilitar el arranque de los materiales comenzando por romper o dividir las partes duras que no podrían extraerse con las dragas y excavadoras ordinarias. Para ello se emplean mazas o estacas metálicas de grandes dimensiones provistas de uno o más útiles cortantes de hierro o acero,

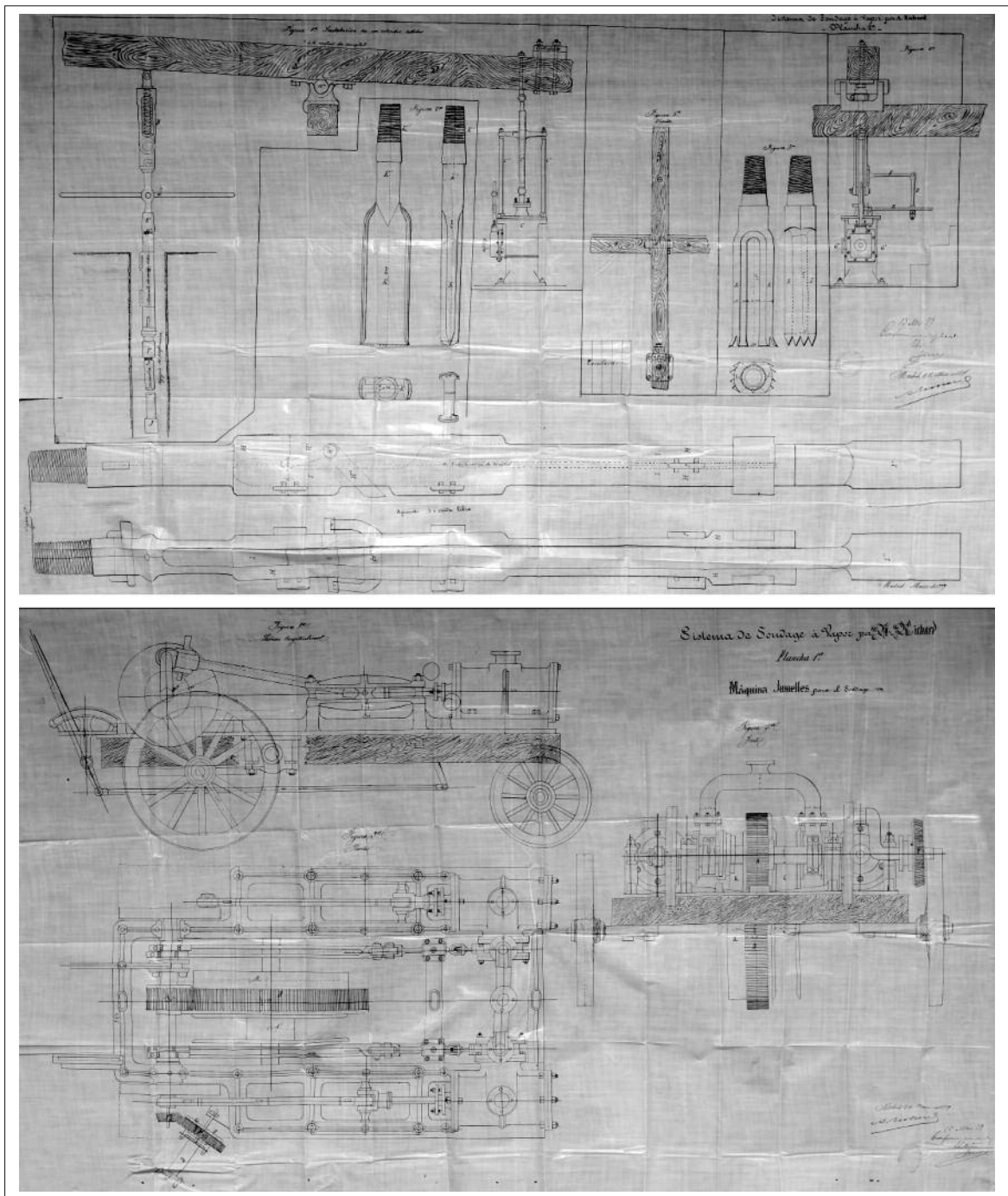


Figura 1. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 278.

que pueden ser solidarios a la maza y golpear a la vez que ella o estar separados para recibir el golpe de la misma.

Cuando el aparato debe funcionar bajo el agua se puede montar sobre una draga en un barco especial o cualquier otro soporte con las mazas situadas en los lados del pozo en el cual pasa la cadena para ser extraídas por la draga.

Cuando se trabaja al aire libre el mecanismo se coloca sobre unas plataformas movidas sobre raíles para el avance en la apertura del hueco. Asimismo, dos baterías de mazas se levantan y caen sucesivamente para romper la roca, levantándolas mediante ejes hidráulicos gracias a cadenas y poleas de retorno.

La principal ventaja es que se dispone un sistema de avance automático que rompe el terreno, pudiendo abordarse terrenos más inaccesibles debido al sistema de ruptura.

Por otro lado, aunque el sistema puede aplicarse a la apertura de minas, este invento está dirigido a la apertura de canales, donde la maquinaria se encuentre sobre una embarcación y la profundidad no sea muy grande como en el caso de una mina.

Expediente 12683 (Procedimiento para la ejecución rápida de las excavaciones en roca dura, perforación de galerías y túneles, profundización de pozos, derrumbamientos y otros trabajos análogos, por

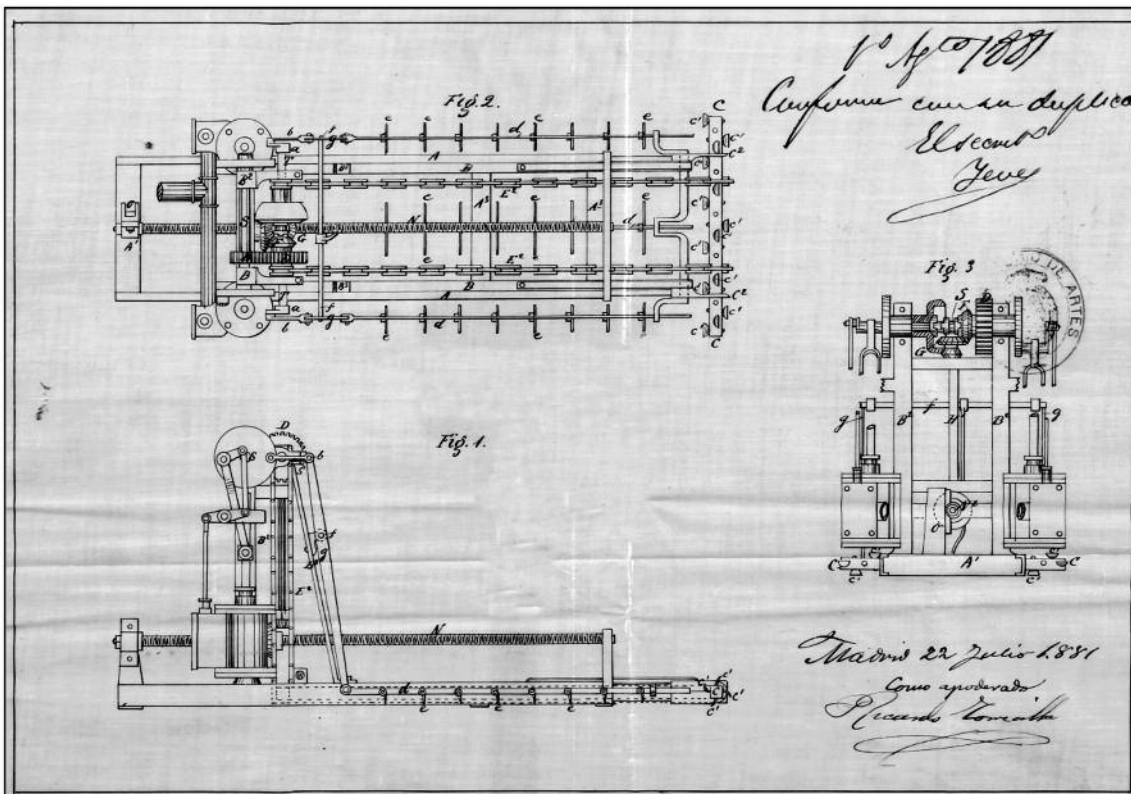


Figura 2. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 1762.

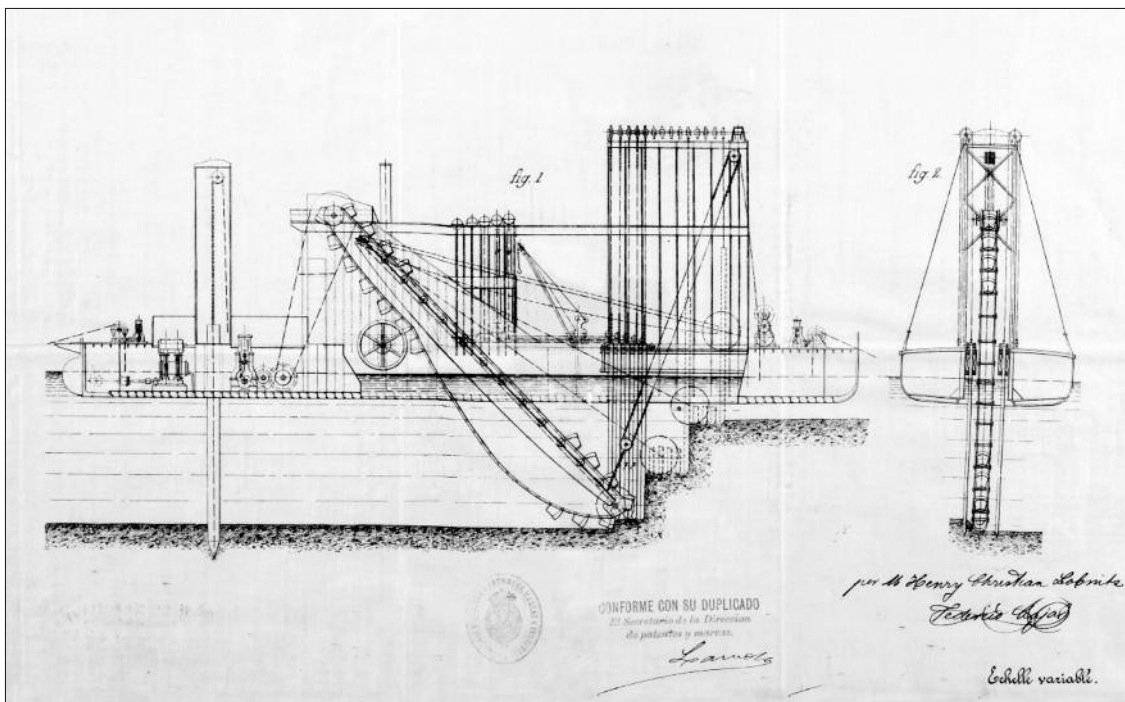


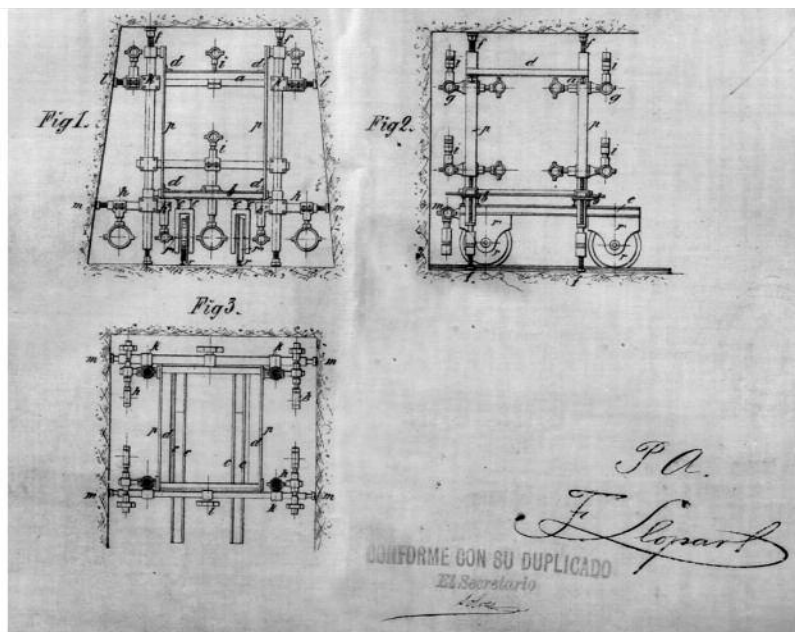
Figura 3. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 7716.

medio de aparatos llamados “cureñas o ajustes expresos para baterías de perforadoras rotatorias”)

Consiste en un armazón formado por traviesas, con forma de cuadrilátero en cuyas posiciones más extremas (superior y laterales), se encuentran dispuestos unos tornillos que servirán para fijar el armazón a las paredes del túnel, quedando sujeto para realizar la perforación

(Fig. 4). Cuando avanza el punto de perforación del túnel, el armazón se mueve con ruedas en la parte inferior, fijándose las mismas en el momento de la perforación.

Para realizar la perforación, se diseñan porta-collarines en los que van alojadas las perforadoras, pudiendo éstas resbalar sobre la traviesa que las sostiene para



variar el punto de ataque de la perforación. Asimismo, se disponen de perforadoras de dos dimensiones: las mayores para hacer agujeros de desprendimiento y las menores para hacer barrenos.

La perforación se hace de forma simétrica de modo que se repartan los esfuerzos, siendo las herramientas de corte refrigeradas por agua a presión, y facilitando así, la segregación de la roca. Para la perforación de túneles, se realiza primero una excavación siguiendo el contorno del túnel, y una vez dispuesto el aparato, se realiza el desprendimiento del túnel.

La fuerza motriz se obtiene mediante motores, pudiendo emplearse herramientas dinamo-receptoras, aparatos hidráulicos o de aire comprimido, que suponen un avance en comparación con la tecnología utilizada hasta el momento.

Las principales ventajas son la utilización de herramientas de corte dinamo-receptoras, hidráulicas o de aire comprimido, y que la refrigeración es mediante agua, abaratando el coste.

Expediente 13331 (Perfeccionamientos de los taladros mecánicos para los mineros)

Se trata de un taladro mecánico para barrenar y ensanchar. El taladro dispone de una base en cuyo extremo tiene un espolón utilizado para fijar el mecanismo y darle estabilidad, introduciéndolo en el suelo o la roca, y en el extremo opuesto se asegura un yugo y unido a éste, una caja guía (Fig. 5).

El eje motor tiene una ranura longitudinal, que se extiende de un extremo al otro del mismo, de forma que para transmitir el movimiento a la broca, una rueda situada en el eje engrana con un piñón que recibe el movimiento del mecanismo motor.

El taladro o cuchilla para barrenar se compone de dos piezas aproximadamente circulares con sus bordes interiores cortados de forma sesgada. La varilla transmite el movimiento en sentido longitudinal dentro de la caja y los miembros del taladro o cuchilla están articulados, de forma que pueden resbalar uno encima de otro.

Al emplearse el aparato, la base se coloca frente a la superficie que se desee taladrar y hallándose en la debida posición, se manipula el cigüeñal que hará girar el mecanismo rueda-piñón y por consiguiente el eje motor, girando hacia delante.

Cuando el agujero o barreno se abre hasta la profundidad deseada, el tornillo de presión de la grapa se aprieta para que dicha grapa se agarre al armazón e impida el movimiento hacia delante de la caja sin impedir que ésta gire. Así pues, los recortes, virutas o polvo producido en la operación de barrenar y ensanchar el agujero salen por la estría espiral de la caja.

Las principales ventajas son que el taladro se detiene al llegar a la profundidad deseada, y que tienen un soporte que le confiere estabilidad, lo que proporciona una correcta perforación.

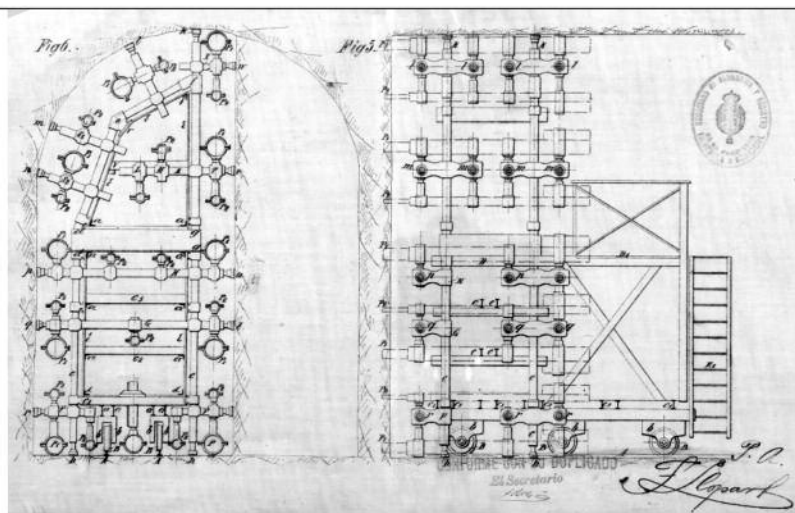
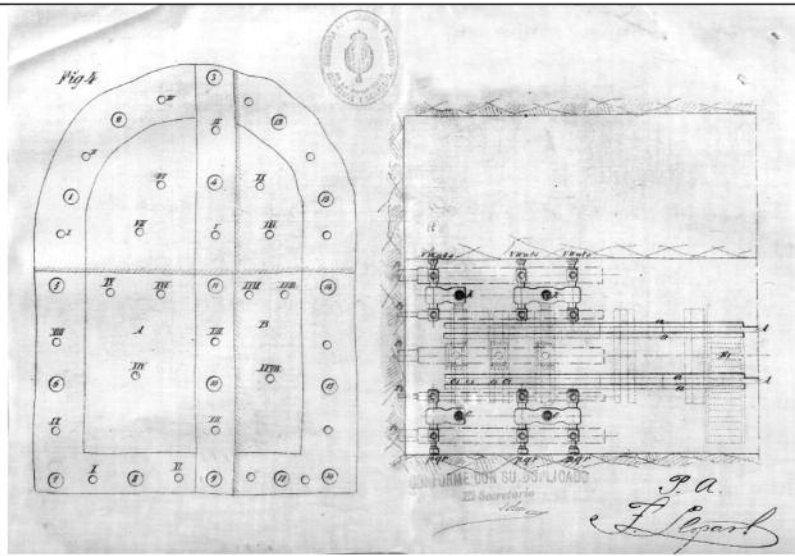


Figura 4. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 12683.

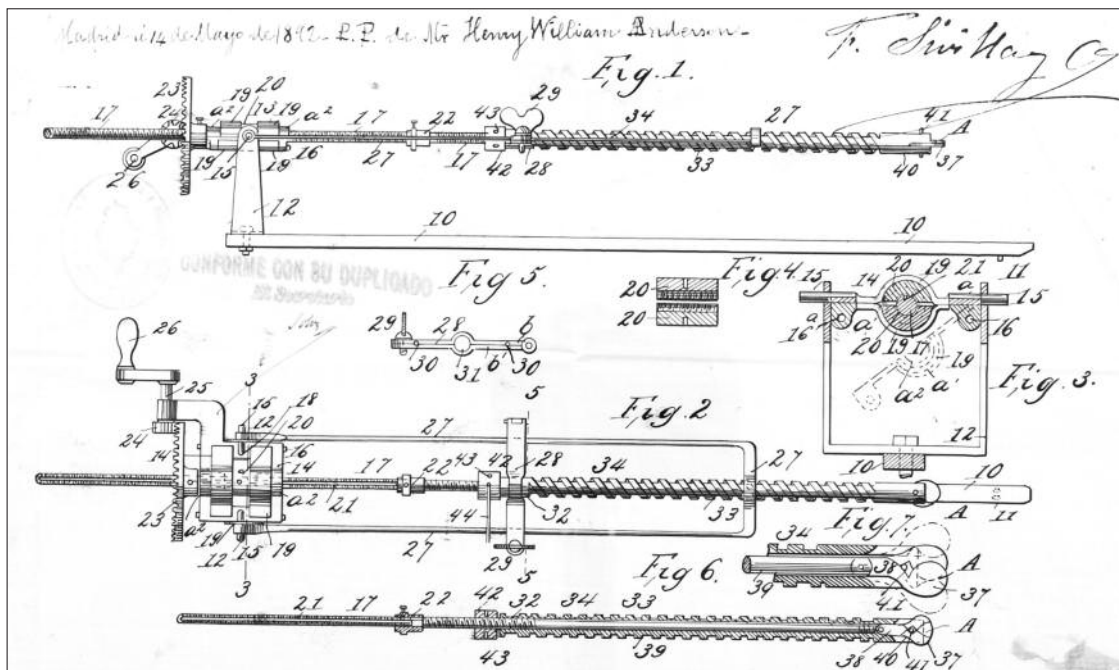


Figura 5. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 13331.

Expediente 20070 (Mejoras en el procedimiento para la perforación y obtención de testigos minerales y para elevarlos a la superficie por medio de los aparatos y herramientas de corte que se describen)

El invento describe un medio de perforación y obtención de testigos minerales. Para ello, se dispone un sistema compuesto en primer lugar, por una barra perforadora

huesa más pequeña que las otras, unida a una serie de tubos acoplados que se extienden hasta la superficie y que son los que reciben el movimiento giratorio para la perforación (Fig. 6).

Junto a esta serie de tubos se encuentra una segunda parte, a la que se le denomina 'taza', que es un cilindro hueco concéntrico respecto de los tubos anteriores

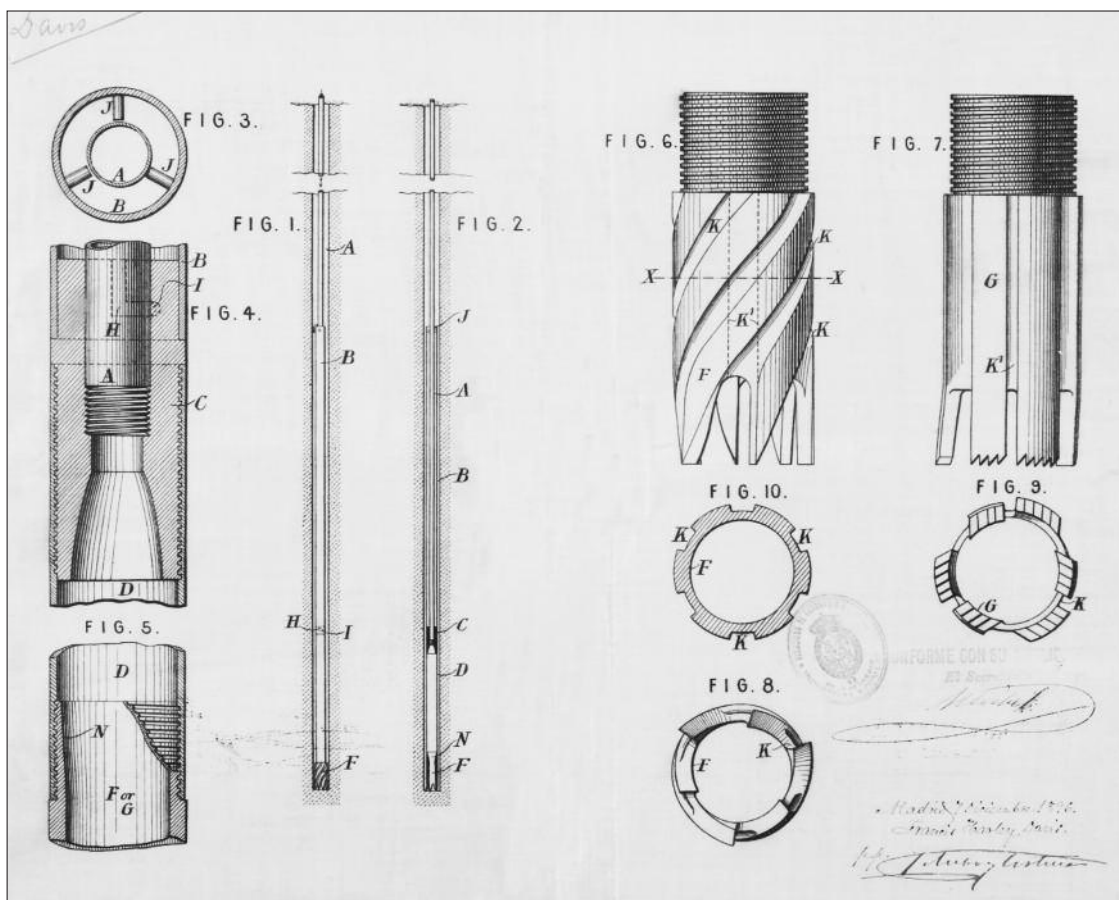


Figura 6. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 20070.

o una serie de cilindros unidos, de forma que queda un espacio para almacenar los residuos.

El siguiente tramo sería un obturador de conexión, atornillado en la parte superior del cañón y con una tuerca en la parte inferior que se atornilla al extremo inferior (testigo), y a éste se le acopla finalmente la herramienta de corte.

En la herramienta de corte hay una serie de ranuras en espiral o vertical, con tantas ranuras como dientes, que hacen a la vez de canales para el agua y para los residuos bien desmenuzados, con objeto de que asciendan las recortaduras grandes. Al mismo tiempo el agua es empujada por el interior de la llamada 'taza'.

La corriente producida es poco intensa, por lo que los residuos no se elevan muy por encima del barreno, llegando el agua a la superficie con pocas impurezas gracias a la taza, que tiene la longitud necesaria para retener todos los residuos mientras se está llenando de testigo, el cañón o cilindro de testigo. Además si esta taza está compuesta de cilindros separables, se facilita el vaciado y limpieza de la misma.

Las principales ventajas son que se trata de una operación económica en los gastos de explotación e instalación, y que se produce un registro más exacto de los estratos o capas al sondear los terrenos.

Expediente 121631 (Un aparato destinado a perforar toda clase de terrenos para descubrir minas de agua y a sondeos)

La invención está compuesta por un motor, un reductor de velocidad y una herramienta de corte (Fig. 7). El motor es eléctrico de inducción, cuyo estator, formado de láminas de palastro se encuentra sujeto a la carcasa del motor. El rotor, en cortocircuito, resulta muy alargado debido a las pequeñas dimensiones transversales.

Junto al motor eléctrico se encuentra el reductor de velocidad, compuesto de engranajes cilíndricos de dientes rectos y oblicuos, encontrándose apoyado inferiormente en un cojinete de empuje que separa el motor de la caja de velocidades.

Por último, desde la caja de velocidades se transmite el movimiento a la herramienta de corte. La herramienta se sujeta al eje motor por medio de un portaherramientas de mordaza, y su diámetro es mayor que el de la carcasa para facilitar la absorción de residuos, en un compartimento superior a la herramienta, donde se almacenan, y que será necesario vaciar cada cierto tiempo.

Para evitar en cierta clase de terrenos que, con la herramienta atrancada en la roca, el rotor del motor permanezca fijo y gire el estator, arrastrando en su movimiento la carcasa de la máquina, se colocan en la culata superior de la carcasa una serie de paletas o dientes que sujetos en el terreno impiden el movimiento de éste.

La principal novedad fue la introducción de motores de inducción para los sondeos mineros.

Expediente 137858 (Una máquina para abrir galerías o túneles)

La máquina que se describe está compuesta de un armazón metálico, en cuya cara anterior, se encuentran montados dos platos en ejes giratorios que van provistos en su borde de una corona de cuchillas recambiables (Fig. 8).

El armazón cuenta con tres pares de rodillos giratorios en su parte anterior y otros tres pares en su parte posterior, que pueden ser motores o no, recibiendo el movimiento del motor alojado en el armazón. Los rodillos son troncocónicos para adaptarse mejor a la curvatura de la pared, pudiendo su llanta ser lisa o con salientes para una mejor adherencia a la misma.

Los rodillos se disponen a una distancia diferente unos de otros, respecto al centro de la máquina que queda descentrada en relación a la galería que perfora, dando lugar a que la trayectoria que sigue la máquina y por tanto, la propia galería, sea curva.

La máquina la completan unas vasijas que giran con los trépanos y que recogen en su movimiento los materiales arrancados por estos, vertiéndolos en un transportador que corre a lo largo de la máquina, y portándolos

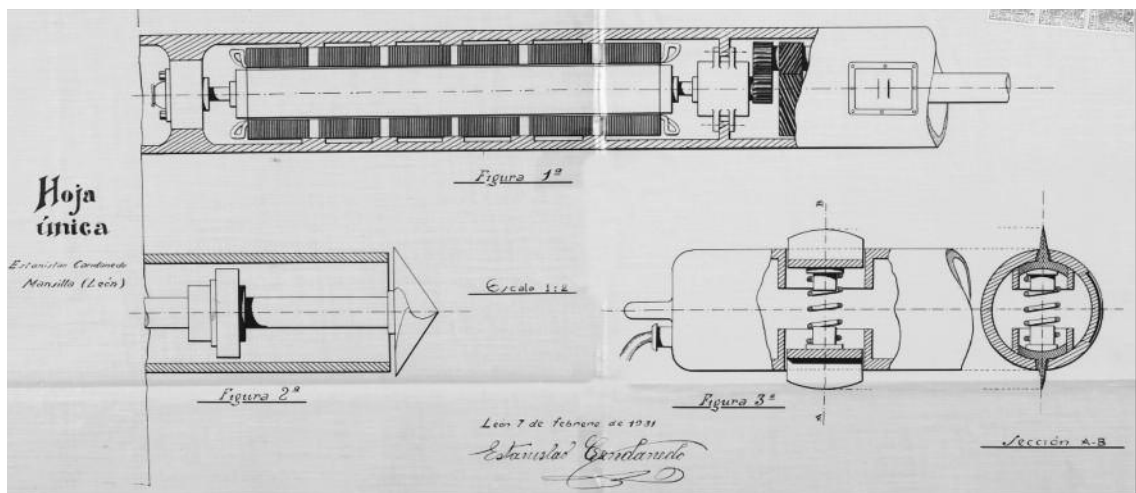


Figura 7. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 121631.

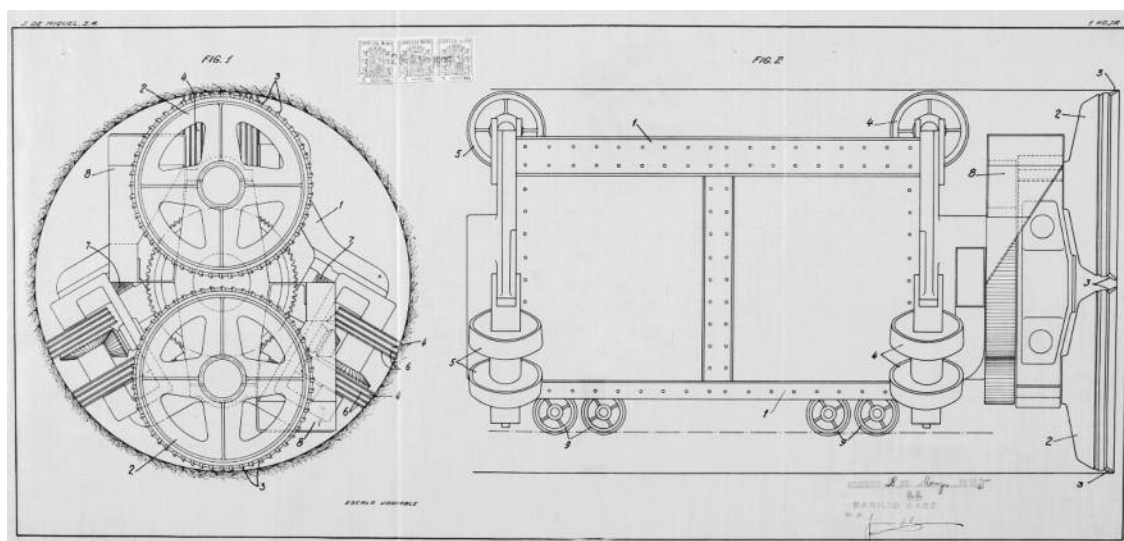


Figura 8. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 137858.

hasta la parte posterior de ésta. Asimismo, la máquina va provista de unas ruedas, para que pueda desplazarse sobre raíles de un punto a otro.

Las principales ventajas son que evita la desigualdad del desgaste de las cuchillas, aumentando el rendimiento de la máquina, y que provee a la máquina de ruedas, la posibilidad de eliminar la operación de parado del trépano para hacer avanzar la máquina, ya que ésta lo hace a la vez que va trabajando, eliminándose así los tiempos muertos.

Expediente 162247 (Un dispositivo picador en forma de cuña para la extracción de carbón y otros minerales)

Se trata de una cuña cortante que se oprime contra el tajo por medio de dos fuerzas, una elástica constante y una segunda alternativa que, actúa en contra de la primera suprimiendo la presión de la cuña, de modo que cuando ésta segunda deja de actuar, la cuña se lanza contra el tajo (Fig. 9).

El filo de la cuña está dividido en varios dientes o picos, de modo que puede retirarse sólo una parte de estos, mientras la otra está en contacto con el tajo. Para conseguir la aceleración del filo de la cuña se pueden emplear cuerpos de rotación, que se montan en la parte de la picadora de cuña y que periódicamente ha de avanzar y retroceder.

El cuerpo de cuña, está subdividido en picos con forma de cuña o dientes aislados, que son recambiables individualmente, siendo éste atraído constantemente por una fuerza en dirección de desprendimiento contra el tajo. A dicho cuerpo de cuña están fijos también unos cuerpos con distribución excéntrica de las masas que reciben la fuerza en dirección contraria a la anterior, lo que permite que se produzcan fuerzas centrífugas que se dirigen alternativamente en dirección de las puntas cuneiformes y en sentido opuesto. La principal ventaja es el alto rendimiento en el picado de minerales.

Por otro lado, la revisión de bibliografía histórica especializada ha permitido realizar un adecuado estado del arte.

En primer lugar, los sondeos mineros, ya fueran superficiales o profundos, se podían distinguir según su

finalidad en: sondeos para la localización de yacimientos (sondeos de prospección), sondeos para la investigación del terreno del recubrimiento, sondeos para la extracción de minerales aprovechables, y sondeos auxiliares. Otra clasificación de los procedimientos de sondeo atiende según sea la perforación por trépano, por percusión, por rotación o mixtos, según la extracción del detritus sea continua o discontinua, según sea hasta profundidades moderadas o grandes y desde el exterior o desde el interior de la mina (Fritzsche, 1961).

Una exposición de los antecedentes históricos de los sondeos, se puede encontrar en una magnífica y reciente monografía (López-Geta y Fornés Azcoiti, 2013). En dicha monografía, Puche Riart expone que con el avance supuesto por la revolución industrial había necesidad de captar más agua para atender a las poblaciones, y por ello se realizaron sondeos profundos. Así pues, en 1847 el ingeniero francés Joseph Degousée realiza el primer sondeo de percusión con un trépano suspendido de una cuerda, y a través de ella se transmitía el movimiento de ascenso y descenso por medio de un balancín gracias a un mecanismo de biela-manivela, alcanzando profundidades de hasta varios centenares de metros. Posteriormente se introdujo el vapor, y la cuerda fue sustituida por una serie de varillas de abeto, y aparecieron más innovaciones en los sondeos pues se empezaron a construir, a partir de 1855, los pozos de petróleo en EE.UU. Asimismo, se introdujeron las varillas huecas (Fauvelle en 1834) y la perforación hidráulica (1844). También se desarrollaron el sistema de corredera para que el vástago no recibiera el impacto (Oeynhaus en 1834) y el trépano de caída libre (Kind en 1846). Además se dota de giro al trépano (Richard en 1860), se crea la perforación de rotación con la sonda de diamantes (Leschot en 1862), y la aportación española la desarrolla el ingeniero Amador Villar y Pérez Castropol que inventó una herramienta que realizaba al mismo tiempo la función de trépano, ensanchador y limpiador.

Asimismo, de la citada monografía (López-Geta y Fornés Azcoiti, 2013), se exponen seguidamente unos antecedentes históricos de la perforación. López Jimeno *et al.* (en López-Geta y Fornés Azcoiti, 2013) explican que a lo largo del tiempo se han producido avances

Fig.1

162247

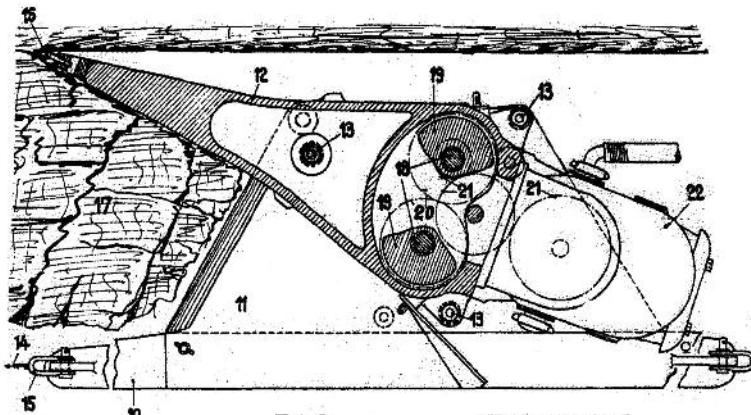
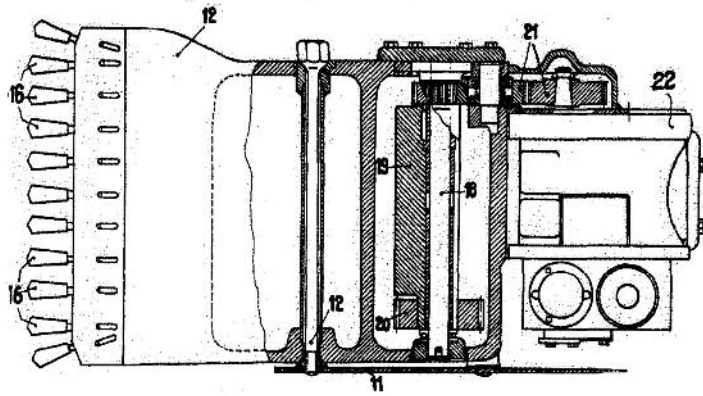


Fig.2

Figura 9. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Oficina Española de Patentes y Marcas. Archivo Histórico. Expediente nº 162247.

significativos en las diferentes técnicas de perforación: excavación, rotación, percusión y rotopercusión.

La perforación de los pozos abiertos se ha realizado dependiendo del tipo del mismo. Los pozos abiertos de diámetro entre 1 y 3 m, se perforaban a mano y presentaban pocas decenas de metros de profundidad; posteriormente, los pozos de anillo de hincia o pozos de cajón indio con diámetros de hasta 6 m se construían mediante una serie de revestimientos que se iban haciendo bajar a medida que se excavaba en su interior, y ya en 1972 se introdujo en España la construcción de estos pozos con hormigón armado con encofrados metálicos deslizantes. Una variante se introdujo con el pozo realizado con taladros, colectores o drenes radiales. En la actualidad, se suelen realizar mediante cucharas bivalvas y métodos rotativos con tubos helicoidales, permitiendo llegar hasta los 3 m de diámetro y profundidades de 100 m.

Sin embargo, cuando se realizaban sondeos a profundidades superiores a los 250 m, fue necesario apoyarse en la rotación y el empleo de lodos, con diámetros de entubación entre 100 y 500 mm.

El método más antiguo es el de la perforación a percusión con cable, golpeando el suelo y extrayendo el detritus. En un principio, las máquinas eran construidas de madera accionadas con motor a sangre, y luego, pasaron a ser de acero accionadas mediante vapor. Así pues, el trépano en su caída vertical transfiere su energía potencial al taladro provocando la fractura de la roca, siendo el método más empleado hasta la irrupción de la rotopercusión, a pesar de su limitada velocidad de avance.

Por su parte, la perforación rotativa alcanzó su popularidad a principios del siglo XX. En 1860, el francés Leschot, inventó un equipo de perforación a rotación, y en 1866 el americano Sweeney patentó un sistema de perforación de piedras por el método rotativo. Ya en el año 1880 se empieza a generalizar la perforación a rotación tanto en EE.UU como en Europa, y en 1900 Lucas usa por primera vez los lodos de perforación. En estos sistemas la roca se desagrega, y se extrae el detritus por medio de un fluido con presión hidráulica.

Otros elementos importantes que incorporaba esta técnica eran los triconos y trépanos, empleados por primera vez en los años 30 del siglo XX, sufriendo modificaciones posteriores como los insertos de carburo de tungsteno (1951) y los sistemas de lubricación sellados (1969). Por último, el sistema de perforación rotativo con lodos es el principal método en la industria petrolera, tanto en circuito de circulación directa como inversa.

Por otro lado, se encontraba la perforación a rotopercusión, denominada también percusión con martillo en fondo, y es desarrollada a partir de los años 50 del siglo XX. Surge para hacer pozos de diámetros superiores a los que se obtenían con las perforadoras neumáticas en cabeza y para atravesar materiales de dureza media y extrema, no requiriendo además elevados momentos de rotación.

Por último, los sistemas de perforación mixtos, fueron empleados a finales de los años 80 y principios de los 90, y son sistemas basados en la rotación y en la rotopercusión, que disponen del equipo necesario para recuperar el detritus, trabajando con aire tanto en un circuito de circulación tanto inversa como directa, y permitiendo perforar con diámetros de hasta 900 mm y hasta los 1.000 m de profundidad.

Pero todavía, se puede realizar un repaso histórico más profundo para completar la información acerca del arranque de la roca del terreno y de la perforación propiamente dicha. Del manejo de bibliografía de la época (Ezquerro del Bayo, 1839; Richardson, 1875; Hermosa, 1889; Malo de Molina, 1893; Moncada y Ferro, 1912; Heise y Herbst, 1940), se desprende que existía una primera fase de arranque manual de la roca. Obviando los medios manuales de arranque (cava, pala, azadón, pico, legón y raedera), los medios utilizados habitualmente para las rocas de dureza media, duras y muy duras, eran la punterola y el martillo, que previa introducción de unas cuñas y por golpeo de éstas, provocaban la desagregación de la roca.

Seguidamente aparecieron una serie de máquinas que sólo se podían emplear para materiales blandos y

favorables. En primer lugar, figuraba el martillo picador que incorporaba una pica (barra cilíndrica de 20 ó 30 mm de diámetro y de unos 40 cm de altura) accionada por aire comprimido. Los tipos de martillos se basaban en su peso, número de golpes y carrera, pudiendo ser ligeros (con pesos entre 6 y 8 kg y de entre 1.200 y 1.500 golpes por minuto), medios (con pesos entre 8 y 10 kg y de 700 a 1.200 golpes por minuto) y los pesados (con pesos entre 10 y 14 kg y de entre 500 y 700 golpes por minuto). Su potencia variaba de 0,6 a 1 CV y su rendimiento neumático era muy bajo. Posteriormente, aparecieron las rozadoras que creaban una superficie libre que ayudaba al trabajo con explosivos o con martillo picador, aunque sólo eran eficaces en rocas blandas y homogéneas, y podían ser de frente largo, de frente corto, y universales. Le siguieron las rozadoras arrancadoras, las rozadoras integrales, las cortadoras-cargadoras y los cepillos (Cuadra Irizar, 1974).

Otra forma de arranque de la roca consistía en la utilización de barrenos o explosivos, lo que implicaba previamente la perforación de los agujeros o barrenos. Asimismo, como procedimientos especiales de arranque, en situaciones en las que el uso de explosivos se desaconsejaba, se encontraban: la cuña hidráulica de Levet bastante usada en las minas de hulla, la torrefacción o la perforación mecánica, siendo este último muy utilizado por el ahorro de tiempo que suponía, o mediante excavadoras (Moncada y Ferro, 1912).

Dentro de las perforadoras mecánicas, destacaban la de Dubois-François, la de Siemens-Schuckert, la de Temple-Ingersoll, y la de motor de petróleo o gasolina. La primera de ellas, pertenecía al tipo de las que actuaban por golpe y utilizaban como motor el aire comprimido, proporcionando de 200 a 250 golpes por minuto con un motor de 3 CV. La segunda de ellas, utilizaba un motor eléctrico proporcionando 450 golpes por minuto y unos barrenos de 3,5 cm de diámetro. La tercera constituía un sistema mixto electro-neumático, en el que la herramienta de percusión se movía por el aire comprimido, procediendo éste de un pequeño compresor accionado por motor eléctrico. La última, utilizaba un motor de explosión, por lo que los gases de la combustión, limitaban su aplicación a excavaciones a cielo abierto. Por último, se encontraban las excavadoras que se aplicaban al arranque mecánico de los minerales, sin emplear explosivos. Entre ellas, destacaban la excavadora de Winstanley & Barkers, la máquina de Blanz y la excavadora de Beaumont (Moncada y Ferro, 1912).

Asimismo, se disponía de herramientas como el martillo perforador accionado por aire comprimido, y podían ser ligeros (los más usuales con un peso inferior a 18 kg) empleados en la perforación de galerías de minas y en el arranque, medios (entre 18 y 24 kg) utilizados en los transversales y labores preparatorias, y pesados con pesos (superior a los 28 kg) empleados en la profundización de pozos y túneles. A diferencia del martillo picador, presentaba un diámetro de barrena de entre 65 y 75 mm, y un régimen de entre 2.000 y 3.500 golpes por minuto.

Las perforadoras rotativas, hacían girar y avanzar la barrena helicoidal, y podían ser manuales o de empuje mecanizado. Sin embargo, el accionamiento más usual era mediante aire comprimido o energía eléctrica, llegando el motor a alcanzar velocidades angulares de 6.000 a 8.000 rpm. La velocidad de la barrena oscilaba entre los 250 y 800 rpm dependiendo del tipo de roca (Cuadra Irizar, 1974). Los sondeos por rotación utilizaban una sonda de corona que perforaba el espacio anular y dejaba en el interior un testigo que debía ser retirado con frecuencia. Estas sondas utilizaban siempre la inyección de agua, y las coronas podían ser de diamantes, granallas, dientes de acero o metales duros. Sin embargo, por su elevado coste, sólo se empleaban para sondeos a grandes profundidades y cuando fuera necesario obtener los testigos. Asimismo, el sondeo por el método Rotary, utilizaba la inyección de aguas arcillosas y con una herramienta de corte en forma de cola de pescado, pudiendo alcanzar grandes profundidades sin necesidad de entubado y con una velocidad angular de la sonda de entre 60 y 100 rpm (Heise y Herbst, 1940).

Por otra parte, las perforadoras de percusión rotativas, conseguían valores de 3.000 a 5.000 golpes por minuto y velocidades de rotación de la barrena entre 80 y 300 rpm (Cuadra Irizar, 1974).

Por último, otra clasificación de las máquinas de perforación fue la presentada por Pla Ortíz de Urbina (1994), que la establecía en función de alguna de las siguientes características: de la máquina empleada, de la transmisión, de la boca o útil, del fluido, del tamaño, por su montaje o por su energía, aunque la más usual es por el tipo de máquina. Así pues, existiría la máquina percutiva (martillo en cabeza, martillo en fondo DTH, hidráulica) y las máquinas rotativa y térmica (trépano, tricono y Jet Piercing o soplete). En el caso de perforación subterránea, se usaban perforadoras especiales con accionamientos hidráulicos para barrenos largos y martillos de fondo para la perforación de barrenos muy largos de gran diámetro, de tal manera que la exactitud de la perforación sería de suma importancia para los buenos resultados de la voladura. Asimismo, la perforación horizontal o de galerías, utilizaba un sistema de perforación rotativa, de percusión o un sistema mixto, y habitualmente era realizada mediante perforadoras neumáticas del tipo 'Jumbo', con cargadoras 'Joy' y 'Einco', lo que permitía avances de varias decenas de metros al día (Taton, 1981).

Procedimientos de extracción vertical del mineral y del agua y sólidos de las minas

Revisando de nuevo la bibliografía especializada de la época (Ezquerro del Bayo, 1839; Hermosa, 1889; Malo de Molina, 1893; Moncada y Ferro, 1912), se muestra a continuación la evolución de las técnicas de extracción de mineral según la dirección vertical de un pozo.

Así pues, al principio se empleaban tanto los tornos como los malacates, por su economía y por su facilidad de montaje, pudiendo llegar a una profundidad de hasta 100 ó 150 m en terrenos secos, y en torno a 50 ó 60 m,

si había mucha agua (Shepherd, 1993). Estos últimos, se clasificaban en malacates de caballos, de agua o de vapor (Ezquerro del Bayo, 1839).

Moncada y Ferro (1912) profundiza en la explicación. Así pues, cuando se trataba de pozos poco profundos y la cantidad de material a extraer era pequeña, se empleaba el torno de mano o cilindro de madera provisto de un eje apoyado en dos cojinetes.

Posteriormente se introdujo el torno compuesto, un torno mecánico en el cual se transmitía el movimiento desde unas manivelas al árbol gracias a unas ruedas de engranaje. Más tarde, apareció el malacate que consistía en un árbol vertical que en su parte superior llevaba un tambor cilíndrico en el que se enrollaban los cables que pasando por las poleas, sostenían las vasijas de extracción, estando accionado por una caballería.

Heise y Herbst (1940) señalaban que la extracción se podía realizar mediante vasijas (skips) (sistema de extracción más antiguo) y mediante jaulas. El primero de ellos, presentaba la ventaja frente al segundo de reducir considerablemente el peso muerto transportado pues los vagones empleados para el transporte en las galerías no tenían que ser elevados, y además, se simplificaba la maniobra de los enganches y se reducía su coste, lo que le hacía especialmente conveniente en grandes profundidades y con grandes masas. Por el contrario, la extracción mediante jaulas requería de unos elementos con características especiales, tanto en los cables como en las jaulas y aparatos de enganche exteriores e interiores, guideras y mecanismos de seguridad, como los paracaídas.

Luego se implantaron las máquinas de extracción, cuando la profundidad del pozo o la cantidad de material era considerable. Podían ser máquinas de tambores, donde cada uno de los cables de cada una de las jaulas iban unidos por un extremo a un tambor sobre el cual se enrollaban, o máquinas de polea Köepe que arrastraban el cable exclusivamente por resistencia, y por tanto, empleaban un único cable de cuyos extremos colgaban las dos jaulas. Éstas últimas presentaban la ventaja frente a las de tambor, de ser más baratas y ligeras, y eran siempre las máquinas montadas sobre los castilletes (Heise y Herbst, 1940).

El accionamiento de los aparatos de extracción se producía gracias a la energía hidráulica, eléctrica o vapor, siguiendo en este último caso, la tecnología desarrollada por James Watt (Law, 1965). Todas las máquinas de extracción iban provistas de una corredera para el cambio de movimiento, de un potente freno sobre el volante y con frecuencia, otro montado sobre el árbol de las bobinas que enrollaban los cables, aunque merece la pena reseñar la extracción neumática ideada por el ingeniero francés Blanchet. Podía ser de simple o doble efecto, y su principal ventaja era que se suprimían los cables y sus accesorios, facilitando la ventilación de la mina, aunque la instalación era muy costosa (Moncada y Ferro, 1912).

Asimismo, las máquinas de extracción podían ser de arrollamiento constante o variable. Las primeras basan su funcionamiento en dos jaulas o skips suspendidos de

dos cables que se enrollan en un tambor cilíndrico (uno enrolla y otro desenrolla), con un par de arranque muy fuerte, que puede regularse con un cable de equilibrio. También es frecuente el empleo de la polea Köepe para grandes cargas o profundidades. Las segundas, incorporan tres cilindros unidos por dos troncos de cono, y no llevan cable de equilibrio (Cuadra Irizar, 1974).

Posteriormente, aparecieron los castilletes, que son los soportes en la boca del pozo que se utilizan para sostener las poleas sobre las cuales pasan los cables a las cuales iban sujetas las vasijas de extracción (skips) y posteriormente las jaulas, estando construidos de forma que los tornapuntas resistan los esfuerzos de tracción de la máquina de extracción. Los de cierta importancia se construían de acero, y podían ser sencillos con 2 poleas o dobles con 4 poleas, dependiendo de que la extracción fuera sencilla o doble (Heise y Herbst, 1940).

Los castilletes presentaban una altura que oscilaba entre los 12 y los 35 m, y se distinguían hasta 3 niveles: el superior, donde se encuentran las poleas y el cable guía, el intermedio, para vaciar o volcar los skips o vasijas de extracción (con capacidad de entre 1.000 y 1.500 litros), y el inferior, utilizado como enganche del exterior y donde se cierra el pozo por medio de compuertas. Por su parte, las máquinas de extracción de accionamiento eléctrico utilizaban motores asíncronos con colector de anillos. La velocidad de extracción del material era pequeña oscilando entre 10 y 15 m/s, empleándose para profundidades pequeñas máquinas de entre 40 y 70 kw de potencia, y para profundidades mayores de entre 400 a 500 Kw y superiores (Fritzsche, 1961), de forma que el cable se enrollaba y desenrollaba en dispositivos solidarios con el eje de la máquina como las bobinas (sólo con cable plano), los tambores o las poleas Köepe (Cuadra Irizar, 1974).

Una buena clasificación de los castilletes (Prados Rosales, 2005), permite distinguir entre castilletes metálicos y no metálicos, es decir, de mampostería o mixtos (metálicos y mampostería). Pero además, se pueden subrayar otras tipologías adicionales, como los castilletes de madera o los de hormigón.

Las cabrias de mampostería han sido las primeras en ser desarrolladas, construidas con sillares de piedra para levantar muros alrededor del pozo maestro, generalmente coronadas por un castillete metálico, que sostenía las poleas de circulación con los cables de extracción.

En un interesante y clarificador artículo, se presentan hasta doce tipologías de castilletes repartidos por la geografía nacional (Menéndez Suárez, 2010), que es una buena aproximación a la evolución histórica sufrida por los mismos.

La tipología 1 presenta un castillete de los más elementales, con 2 montantes verticales y 2 tornapuntas, con 2 poleas yuxtapuestas de mayor diámetro a mayor profundidad del pozo, y con el tiro volado con cables metálicos.

La tipología 2 presenta una gran proliferación por su bajo coste y sencillez, y consta de 2 sencillos muros de fábrica en forma trapezoidal (de mampostería o de

ladrillo) que sostienen al eje de las poleas, presentando también el tiro volado.

La tipología 3 es una tipología poco frecuente que se compone de una estructura metálica de hierro o acero laminado y roblonado muy resistente, en el que el eje de las poleas no estaba en el vértice de la estructura triangular.

La tipología 4 está constituida por una fábrica de mampostería o de ladrillo es muy similar a la tipología 2, pero mucho más resistente sin necesidad de tornapuntas.

La tipología 5 no es usual y la tipología 6 son estructuras hiperestáticas de celosía de hierro o acero laminado roblonado parecidas a las presentes en pozos mineros franceses.

La tipología 7 es una de las más extendidas en España. Se trata de un castillete muy resistente estructura hiperestática de celosía roblonada y con sus tornapuntas divergentes para aumentar la base de sustentación.

La tipología 8 es la de un castillete de hormigón que no es frecuente en España de estructuras muy esbeltas pero con grandes inconvenientes a la hora de su desmonte.

La tipología 9 corresponde a los castilletes contruidos por la empresa Duro Felguera. Son estructuras isostáticas que son visualmente reconocibles por las articulaciones que unen la estructura de los montantes y los tornapuntas. Se presentan en gran número en el norte de España (Gutiérrez, 2011).

La tipología 10 es la de una estructura hiperestática que presenta una doble máquina de extracción que no es habitual en España.

La tipología 11 es la de un castillete tipo 'torre' que presenta una estructura con cuatro montantes unidos con vigas a diferentes alturas, pudiendo ser metálicos o de hormigón.

Por último, la tipología 12 corresponde a una estructura muy estilizada hiperestática de fabricación moderna, formada por dos tornapuntas, ménsulas y cuatro montantes, pero con poca presencia en la geografía española.

Ejemplos de algunas de dichas tipologías, situadas todas ellas en el antiguo distrito minero de Linares-La Carolina (Jaén), se pueden observar en la figura 10.

Seguidamente, se muestra la evolución histórica sufrida por los procedimientos de extracción de agua y sólidos de las minas.

Actualmente, las aguas y sólidos generados en la mina de interior se canalizan a las balsas convenientemente acondicionadas mediante bombeo al exterior, y en función de las características de la explotación, este bombeo se puede realizar con clarificación previa o no (separación de lodos generados por detritus de perforación, por polvos y finos generados por las voladuras, por la degradación del mineral durante la carga y descarga, por el polvo generado en las estaciones de machaqueo, por la degradación de las capas de rodadura en galerías y rampas, y por los finos procedentes del relleno de huecos de explotación). Aunque esta decisión depende fundamentalmente de la profundidad de las labores, del

caudal a bombear y del contenido de sólidos en suspensión, habitualmente se clarifica previamente pues el bombeo directo es una operación con elevado coste (Herrera Herbert y Ortiz de Urbina, 2007).

De forma análoga, manejando la citada bibliografía histórica (Ezquerro del Bayo, 1839; Hermosa, 1889; Moncada y Ferro, 1912), el desagüe se ha clasificado tradicionalmente entre desagüe natural (cuando el relieve del terreno permite dar salida a través de las galerías, caños o socavones), o artificial (cuando es necesario elevar las aguas desde el interior de la mina hasta la superficie), siendo éste último el más usual. Un medio histórico utilizado por los romanos para la desecación de las minas, fueron tanto los tornillos de Arquímedes o cocleas, las norias y las bombas de Ctesibio, dependiendo de la profundidad (Hodges, 1964).

Dentro del desagüe artificial, las máquinas más empleadas eran el torno y las bombas. El torno era un árbol o cilindro de madera de 12 a 14 pulgadas de diámetro y 2 o 3 varas de longitud con dos codos de hierro o cigüeñas sujetas en sus dos bases en la dirección del eje del cilindro. En el árbol del torno se enrollaba una sogá o maroma delgada en cuyos extremos se suspendían dos vasijas que subían o bajaban por la acción de dos o más hombres sobre las cigüeñas, y por esa razón, se llamaba torno de mano. Era utilizado en pozos verticales y con poca profundidad (Ezquerro del Bayo, 1839).

Las bombas de émbolo se clasificaban en tres clases: impelentes, aspirantes y mixtas. Solían estar accionadas por una rueda hidráulica, una máquina de vapor o una máquina de columna de agua (Ezquerro del Bayo, 1839), con todas sus piezas de hierro, salvo el émbolo que era de bronce para que no se viera afectado del agua ácida, y las válvulas de cuero o de metal. Subían alturas de hasta 30 m y se disponían por tramos de dicha altura para ascender hasta alturas superiores (Hermosa, 1889).

Así pues, cuando la cantidad de agua era pequeña, se recurría a medios sencillos como cubos de mano para alturas de un metro; a cubos accionados por una pértiga, tornos, norias o aparatos de rosario para alturas de entre 3 y 6 metros, o por último, a sifones para alturas hasta 10 metros, y para casos de emergencia o provisionales, era posible acudir a bombas de vapor, pulsómetros o inyectoros.

Asimismo, la necesidad de mantener limpias y desagüadas las minas, impulsó el desarrollo de innovaciones como la de los ingenieros españoles Andrés Manuel del Río y Fausto Elhuyar, que proyectaron e instalaron las más potentes máquinas de columna de agua, y Francisco de Garza instaló una máquina de Watt o una bomba de fuego que quemaba retama para desaguar las minas de Almadén (Pendás Fernández, en López-Geta y Fornés Azcoiti, 2013).

Cuando la cantidad de agua a desaguar requería de un servicio permanente, dicha evacuación de agua se efectúa gracias a bombas movidas por máquinas hidráulicas, de aire comprimido, de vapor o eléctricas.

Sin embargo, el vapor adquirió un papel protagonista, y así Jerónimo de Ayanz y Beaumont en 1606 paten-



Tipología 1. Pozo Rico (Linares)



Tipología 2. Pozo Cañete (Linares)



Tipología 3. Pozo San Luis (Guarromán)



Tipología 4. Pozo San Vicente (Linares)



Tipología 7. Pozo nº 1 (Bailén)



Tipología 9. Pozo La Esmeralda (Bailén)

Figura 10. Tipologías de castilletes mineros en el antiguo distrito minero Linares-La Carolina.

tó una máquina de vapor para el desagüe de las minas de Potosí, antes de que en 1698 el inglés Thomas Savery desarrollara otra máquina con una caldera de vapor dentro de la mina. Posteriormente, le siguieron Thomas Newcomen que en 1712 desarrollaría otra máquina de vapor pero con la caldera en el exterior para evitar problemas de ventilación cuando se realizaba la combustión en el interior de la mina, y finalmente James Watt en 1765 mejora la máquina de Savery, y con ella aparecería la primera revolución industrial (Puche Riart, en López-Geta y Fornés Azcoiti, 2013).

Por último, se desarrollaron las instalaciones de desagüe, accionadas por motores de vapor, que se aplicaban por medio de tirantes (órganos que comunican el movimiento desde la máquina a las bombas). Las bom-

bas de simple efecto podían ser movidas por una máquina de simple efecto, instalada en la boca del pozo, y denominada de tracción directa porque el vástago del pistón se unía directamente al tirante maestro. Con la misma disposición de las bombas podía emplearse una máquina de tracción indirecta (o de balancín), cuyo tipo clásico es conocido con el nombre de máquina de Cornwall, estando uno de los extremos del balancín unido al tirante maestro y otro al vástago del pistón (Moncada y Ferro, 1912).

Respecto a las casas de máquinas de bombeo e instalaciones auxiliares hay que decir, que las casas más extendidas en España provenían de la región inglesa de Cornwall (de ahí su denominación, "Cornish"), pues había allí una gran tradición de máquinas de vapor dise-

ñadas por el ingeniero Richard Trevithick. Se caracterizaban fundamentalmente por ser máquinas de simple efecto con condensador que presentaban un balancín que permitía la aspiración y drenaje del agua que inundaba la mina, gracias a su movimiento de vaivén.

Esta importante tecnología ha sido ampliamente estudiada desde el punto de vista histórico, técnico y gráfico (Brown y Acton, 1997; Brown *et al.*, 2005; Cano Sanchís, 2010; Davies, 1894; Laws, 1978; Rojas Sola *et al.*, 2013).

Asimismo, también se desarrolló otra tipología de casa de máquinas de bombeo como la 'Bull', en la que la máquina de vapor también de acción directa, disponía el cilindro directamente colgado sobre el pozo, accionando hacia arriba la barra de bombas. Sin embargo, y a pesar de que su construcción era menos exigente que la de la casa Cornish, pues sus muros no debían soportar grandes vibraciones y pesos, no tuvo tanta profusión como aquélla. En la actualidad, tan sólo existe un ejemplar en el distrito minero de Linares-La Carolina ubicado en el pozo de San Andrés (Guarromán, Jaén), siendo uno de los pocos existentes en todo el mundo. Sin embargo, el empuje desarrollado por los motores eléctricos propició el abandono de la tecnología de vapor utilizada durante más de un siglo.

Estas máquinas se denominan de simple efecto porque el vapor sólo ejerce su esfuerzo sobre una de las caras del pistón, la inferior en las máquinas de tracción directa, y la superior en las de tracción indirecta o de balancín, aunque también existían las máquinas de doble efecto, es decir, aquellas en las que el vapor actúa sobre las dos caras del émbolo, y podían ser de movimiento intermitente o de rotación y con varias disposiciones. Un ejemplo de ellas, es la máquina de Kley (Moncada y Ferro, 1912).

Heise y Herbst (1940), inciden especialmente en esta fase. Indican que con el paso del tiempo, el desagüe en las minas profundas se realizaba en primer lugar, mediante la colocación de pozos colectores de los que se suplían las bombas de aspiración o aparatos de desagüe, aunque los principales mecanismos para dicho desagüe eran las bombas de émbolo y las centrífugas, y de menor importancia, el desagüe con varillas, las vasijas, los inyectores, las bombas Mammuth y los pulsómetros.

Por su parte, las bombas de varillas, presentaban la ventaja de que al estar en el exterior, el motor de accionamiento nunca quedaba sumergido en caso de inundación, y las bombas podían seguir trabajando bajo el agua. Por el contrario, presentaban los inconvenientes de que ocupaban mucho espacio en los pozos, se averiaban por rotura de las varillas, y presentaban un elevado coste y escaso rendimiento (de 6 a 10 emboladas por minuto).

Otro sistema de desagüe eran las vasijas, que se utilizaban para pequeños caudales, así como el sistema de agotamiento Tomson (con vasijas elevadas por máquinas de extracción), alcanzando rendimientos de unos 4 m³ por minuto a una profundidad de 600 m. Asimismo, los inyectores que podían funcionar con agua a presión,

vapor o aire comprimido, presentaban un rendimiento muy escaso que no excedía del 10 ó 20%.

Por otro lado, las bombas Mammuth con un rendimiento muy pequeño, se basaban en la inyección de aire comprimido en dos columnas líquidas comunicantes y en equilibrio, para que una de ellas elevara su nivel, siendo especialmente utilizadas para elevar aguas con fangos y arenas en suspensión.

Y por último, los pulsómetros cuyo principal inconveniente estribaba en que el consumo de vapor era bastante elevado de 30 a 50 kg de vapor por CV/hora (Heise y Herbst, 1940).

Otras bombas utilizadas en las instalaciones de desagüe subterráneas, fueron las bombas de émbolo-buzo (émbolo cerrado) accionadas por vapor o energía eléctrica. Las bombas de émbolo con accionamiento eléctrico se utilizaron para presiones importantes entre 6 y 8 atmósferas, pero fueron sustituidas por las bombas centrífugas o turbobombas (de varios rodets de presión y con grandes motores eléctricos (Cuadra Irizar, 1974)), que expulsaban el agua a gran velocidad angular y la absorbían por su zona axial. Su principal inconveniente era que su rendimiento era menor que el de las bombas de émbolo, pero por el contrario, presentaban la ventaja de que ocupaban mucho menos espacio y su coste de adquisición era menor.

Por otro lado, las bombas utilizadas en el transporte de hidromezclas fueron las centrífugas horizontales para presiones medias y normales, y las de desplazamiento positivo para altas presiones, aunque existían pequeñas bombas de inmersión para operaciones de drenaje o desagüe muy populares válidas hasta 10 kg/cm² y de hasta un 20% de sólidos (Pla Ortíz de Urbina, 1994).

Por último, para finalizar este apartado se comentan globalmente los resultados aportados en cuanto al patrimonio científico y tecnológico en relación con las patentes de invención de este artículo como con los privilegios y patentes de invención expuestos en artículos anteriores (Rojas-Sola *et al.*, 2014a, 2014b), así como las invenciones expuestas en este artículo sobre la evolución histórica presentada basada en bibliografía especializada.

Así pues, en la etapa de extracción vertical de mineral y de agua y sólidos de las minas, se observa que los privilegios de invención (1826-1878) relacionados se han centrado fundamentalmente en el desarrollo de malacates simples y perfeccionados así como en máquinas que utilizan su principio de funcionamiento, y que han utilizado diferentes accionamientos (a sangre, con perfeccionamientos mecánicos y a vapor) (expedientes 499, 1712, 4088 y 4419), aunque también otros ingenios muy curiosos para la desecación de las minas con cucharas (1235) o un sifón autoregulado (4421), para la extracción del mineral (926) o alguna invención relacionada con mejoras en las cuerdas sinfín (674) y en los ganchos de seguridad (5626). Sin embargo, resulta curioso que no se haya encontrado ninguna aportación relevante relacionada con la etapa de sondeos y perforación del terreno.

Por el contrario, si se analizan las patentes de inven-

ción (1878-1966), se observa que las aportaciones relacionadas con las etapas objeto de estudio, se han centrado fundamentalmente en el desarrollo de sistemas que mejorasen el desagüe de las minas. Así pues, se encuentran invenciones como balancines de extracción continua (1291), bombas de émbolo (3244), elevadores hidráulicos con diseño de válvulas flotador (11012), motor a presión hidráulica puesto en funcionamiento por acción del vapor que accionaba unos pistones hidráulicos (21179) o sistemas de desecación sin desagüe previo ni sondeos basado en la diferencia de presiones de la artificial con la hidrostática (160204). También aunque en menor medida, se desarrollaron invenciones relacionadas con la extracción del mineral, como por ejemplo, un sistema para regular los esfuerzos en los aparejos de las cabrias (8416) o el diseño de una cabria o pluma giratoria (199580).

Sin embargo, en este período sí se desarrollaron las invenciones relacionadas con los sondeos y la perforación del terreno, que han consistido en el desarrollo de diversas mejoras como el diseño de sistemas de perforación basados en sistemas de balancín con herramientas perforadoras intercambiables y de avance automático; sistemas con herramientas de corte con dientes ajustables que pueden trabajar en cualquier ángulo; sistemas con herramientas de corte dinamo-receptoras, hidráulicas o de aire comprimido refrigeradas por agua; sistemas sobre perfeccionamientos en el diseño de los taladros mecánicos y de sus útiles; diseño de máquinas provistas de motor, reductor de velocidad y herramientas incorporadas; la introducción de motores de inducción en las máquinas destinadas a los sondeos; la incorporación de rodillos giratorios que se adaptan a la curvatura de la pared, o el diseño de cuñas cortantes con geometría específica.

CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha puesto de manifiesto cuál ha sido la evolución histórica y caracterización tipológica-funcional de las diferentes manifestaciones del patrimonio histórico industrial minero en España desde comienzos del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, ligado a dos procesos fundamentales del laboreo de minas: los sondeos y perforación del terreno, y la extracción vertical del mineral y la extracción de agua y sólidos de las minas.

En los procesos de sondeos y perforación de pozos y galerías, han visto la luz las patentes de invención más relevantes registradas en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, y se ha expuesto cómo ha sido su evolución tecnológica. Así pues, se ha mostrado que se pasó de métodos manuales de arranque de la roca (cava, pala, azadón, pico, legón, raedera, punterola y martillo), pasando por el martillo picador accionado por aire comprimido, la rozadora, los cepillos, los barrenos o explosivos, las perforadoras mecánicas accionadas por aire comprimido, por electricidad o por sistemas mixtos eléctrico-neumático, finalizando con las excavadoras para el arranque mecánico de los

minerales sin emplear explosivos. Hablando ya de los sondeos, el más antiguo fue el de percusión por cable, seguido por los martillos perforadores accionados por aire comprimido, y posteriormente las máquinas perforadoras rotativas (incluido el sondeo con el método Rotary con inyección de aguas arcillosas), las máquinas de rotopercusión y las mixtas.

Análogamente, en los procesos de extracción del mineral y del agua y sólidos de las minas, se han desarrollado invenciones históricas como el torno y el malacate, pasando por las máquinas de extracción con skips o jaulas, las poleas Koëpe y posteriormente los castilletes con sus distintas tipologías y máquinas de extracción con accionamiento eléctrico, con mejores prestaciones atendiendo a los esfuerzos a realizar en función del terreno y de la profundidad del pozo, así como a consideraciones de tipo estructural (comportamiento isostático e hiperestático).

Asimismo, respecto al desagüe de las minas se diseñaron desde malacates y tornos, hasta ingeniosos sistemas de evacuación como las bombas de émbolo accionadas por vapor o máquinas de columna de agua, sifones reguladores, bombas de vapor, pulsómetros, bombas Mammut o inyectoras. Sin embargo, el vapor adquirió un papel protagonista a finales del siglo XVIII con las invenciones de Thomas Savery, Thomas Newcomen y James Watt, y fruto de ese desarrollo surgieron posteriormente, las conocidas casas de máquinas de bombeo Cornish, tan extendidas por el paisaje del antiguo distrito minero de Linares-La Carolina.

Por último, cuando el vapor dejó paso a la electricidad, surgieron las grandes turbobombas o bombas centrífugas de varios rodetes que alcanzaban grandes alturas de elevación.

Por tanto, se puede concluir que las modificaciones sufridas en el desarrollo tecnológico van en paralelo con el desarrollo de nuevas fuentes de energía más eficientes.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España, como organismo financiador del Proyecto de Investigación Fundamental no Orientada del Plan Nacional de I+D+i (2008-2011) titulado "El patrimonio histórico industrial minero: un estudio integral para su puesta en valor y difusión desde la ingeniería gráfica" (HAR2012-30723). Asimismo, a Isis Palomares Muñoz por el trabajo realizado en el marco de su beca de colaboración con el Departamento.

BIBLIOGRAFÍA

- Brown, K. y Acton, B. 1997. *Exploring Cornish Mines: Five guided tours*. Landfall, 200 pp.
- Brown, K., Morris, J.H., Pérez, A.A y Critchley, M. 2005. *Interpreting the ruins of Cornish design engine houses*. Europa-mines, Dublin, 49 pp.
- Cano Sanchís, J.M. 2010. Tecnología cónica para el desagüe de minas: motores y casas tipo Cornish. *De Re Metallica*, 15, 13-20.

- Contreras Cortés, F. y Dueñas Molina, J. (Coord.) 2010. *La minería y metalurgia del Alto Guadalquivir: Desde sus orígenes hasta nuestros días*. Instituto de Estudios Giennenses, Jaén, 428 pp.
- Cuadra Irizar, L. 1974. *Curso de laboreo de minas*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Madrid, 579 pp.
- Davies, E.H. 1894. *Machinery for metalliferous mines*. Crosby Lokwood, London, 673 pp.
- Ezquerro del Bayo, J. 1839. *Elementos de laboreo de minas*. Imprenta de don Salvador Albert, Madrid, 484 pp.
- Fritzsche, C.H. 1961. *Tratado de laboreo de minas*. Traducido del alemán por J. Castells. Tomos I y II. Labor, Madrid. Tomo I (840 pp) y Tomo II (680 pp).
- Gutiérrez, A.V. 2011. *Castilletes de pozos mineros de la montaña central asturiana*. Ediciones Trabe, Oviedo, 144 pp.
- Heise, F. y Herbst, F. 1940. *Compendio de laboreo de minas*. Traducido del alemán por J. Castells. Labor, Barcelona, 319 pp.
- Hermosa, F.P. 1889. *Manual de laboreo de minas y beneficio de metales*. Librería de Ch. Bouret, París, 394 pp.
- Herrera Herbert, J. 2007. *Elementos de minería*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Madrid, 83 pp.
- Hodges, H. 1964. *Artifacts: an introduction to early materials and technology*. J. Baker, London, 248 pp.
- Law, R.J. 1965. *The Steam Engine*. H.M. Stationery Office, London, 32 pp.
- Laws, P. 1978. *Cornish Engines and Engine Houses*. The National Trust, Plymouth, 32 pp.
- López-Geta, J.M. y Fornés Azcoiti, J.M. (Eds.) 2013. *100 años de Hidrogeología en España (1900-2000)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 814 pp.
- Malo de Molina, M. 1893. *Laboreo de minas*. Establecimiento tipográfico de Marcial Ventura, Cartagena, 2 vols.
- Menéndez Suárez, C. 2010. Los castilletes mineros: una aproximación a su tipología. *Energía & Minas*, 8, 46-53.
- Moncada y Ferro, G. 1912. *Elementos de laboreo de minas*. Librería Gutenberg de José Ruiz, Madrid, 371 pp.
- Pla Ortiz de Urbina, F. 1994. *Fundamentos de laboreo de minas*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Madrid, 383 pp.
- Prados Rosales, L.M. 2005. Patrimonio, memoria e industria: Castilletes y Pozos de la Minería del Carbón en el Valle del Alto Guadiato (Córdoba). *Atrio*, 10/11, 93-104.
- Puche Riart, O, 2001. La minería no energética. En: F.J. Ayala-Carcedo (Dir.), *Historia de la tecnología en España* (vol. 1). Valatenea, Barcelona, 119-232.
- Richardson, J. 1875. *Tratado de máquinas para abrir pozos en las minas y para el laboreo de ellas*. Lincoln, Londres, 30 pp.
- Rojas-Sola, J.I., Montalvo-Gil, J.M. y Castro-García, M. 2013. Geometric documentation of mining industrial historical heritage: application to a Cornish pumping engine house from the ancient mining district in Linares-La Carolina (Jaen). *XXIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Madrid. Actas en CD.
- Rojas-Sola, J.I., Lupiáñez-Cruz, P. y Carranza-Cañadas, M^a.P. 2014a. Caracterización tecnológica de las invenciones del Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas relacionadas con la fase extractiva del mineral: Privilegios de Invención (1826-1878). *De Re Metallica*, 22, 93-104.
- Rojas-Sola, J.I., Lupiáñez-Cruz, P. y Carranza-Cañadas, M^a.P. 2014b. Caracterización tecnológica de las invenciones del Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas relacionadas con la fase extractiva del mineral: Patentes de Invención (1878-1966). *De Re Metallica*, 23, 69-78.
- Shepherd, R. 1993. *Ancient mining*. Institution of Mining and Metallurgy, London, 494 pp.
- Taton, R. 1981. *Minería: topografía subterránea, galerías, túneles, subsuelo*. Paraninfo, Madrid, 190 pp.

