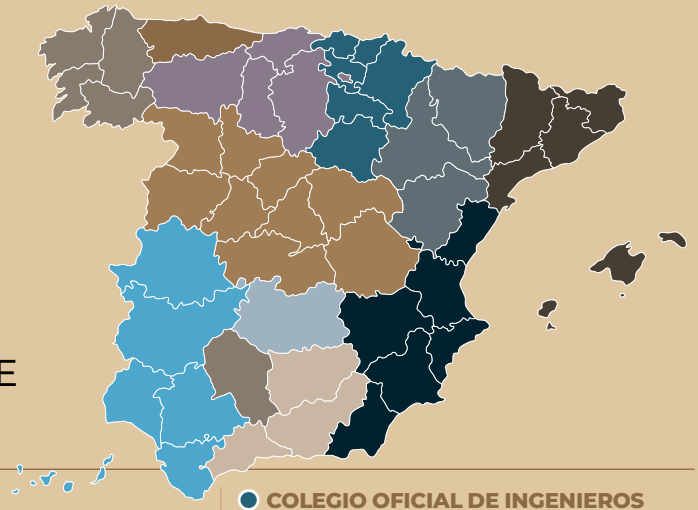
CONSEJO GENERAL DE COLEGIOS OFICIALES
DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS Y GRADOS EN MINAS Y ENERGÍA

DIC 2025

21

ENERGÍA&MINAS

RELACIÓN DE COLEGIOS OFICIALES
DEL CONSEJO GENERAL DE COLEGIOS OFICIALES DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS Y GRADOS EN MINAS Y ENERGÍA



COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE ARAGÓN
DECANO: EMILIO QUEROL MONFIL
Pº Mª Agustín, 4-6, ofic. 14 50004 Zaragoza
- 976 442 400
- C.A. de Aragón.
- Zaragoza.
- http://www.coitma.com
- coitma@coitma.com

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE CATALUÑA Y BALEARES
DECANO: JUAN IGNACIO NAVARRO VILLANUEVA
C/ Rosellón, 214. 08008 Barcelona
- 93 215 13 59 / 93 215 98 09
- C.C.A.A, de Cataluña y Baleares.
- Barcelona.
- http://www.colegiominas.com
- barcelona@colegiominas.com

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE CARTAGENA, CASTELLÓN, VALENCIA, ALBACETE, MURCIA, ALICANTE Y ALMERÍA
DECANO: ANDRÉS JEREZ GARCÍA
C/ Salitre, 33. 30205 Cartagena (Murcia)
- 968 50 41 10 / 968 50 41 85
- C.A. de Murcia, Comunidad Valenciana, y Provincias de Albacete y Almería.
- Cartagena.
- http://www.coitminas.com
- cartagena@coitminas.com

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE GALICIA
DECANO: FRANCISCO JAVIER AMORRORTU BARREDA
C/ Alejandro Novo González, 4 bajo. 15706 Santiago de Compostela (A Coruña)
- 981 534 356 - Fax: 981 534 357
- C.A. de Galicia.
- Santiago de Compostela
- http://www.coitmgalicia.com
- correo@coitmgalicia.com

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE HUELVA, SEVILLA, CÁDIZ, BADAJOZ, CÁCERES Y CANARIAS
DECANO: JOSÉ LUIS LEANDRO RODRÍGUEZ
Avda. Martín Alonso Pinzón, 11. 21003 Huelva
- 959 24 82 13 / 959 24 82 13 Fax: 959 25 79 10
- Provincias de Huelva, Sevilla, y Cádiz, y C.C.A.A, de Extremadura y Canarias.
- Huelva
- http://www.cminas.com
- huelva@cminas.com

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE CASTILLA Y LEÓN - NORTE Y CANTABRIA
DECANO: VICTOR AITOR ÁLVAREZ GONZÁLEZ
Pza. Sto. Domingo, 4-7º 24001 León
- 987 23 19 37 / 987 27 29 65
- Provincias de Castilla y León - Norte y C.A. de Cantabria.
- León
- http://www.coitminasleon.com
- colegio@coitminasleon.com

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE LINARES, JAÉN, GRANADA Y MÁLAGA
DECANO: RAFAEL PARRA SALMERÓN
C/ Isaac Peral, 10, 1º. 23700 Linares (Jaén)
- 953 60 63 12 / Fax: 953 65 38 20
- Provincias de Jaén, Granada y Málaga.
- Linares
- http://www.colegiominaslinares.com
- colegio@minaslinares.com

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DEMINAS DE MADRID, AVILA, CUENCA, GUADALAJARA, SALAMANCA, SEGOVIA, TOLEDO, VALLADOLID Y ZAMORA
DECANO: JUSTO PAULINO TEJERINA PRIETO
C/ Almagro, 28-5º 28010 Madrid)
- 91 308 28 42 / 91 319 35 56
- C.A. de Madrid y provincias de Toledo, Guadalajara, Cuenca, Segovia, Avila, Salamanca, Valladolid y Zamora.
- Madrid
- http://www.coitm.org
- secretaria@coitm.org

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DEL PAÍS VASCO, NAVARRA, LA RIOJA Y SORIA
DECANO: JONATAN RODRÍGUEZ CALZADA
C/ José Mª Olabarri, 6. 48001 Bilbao
94 423 76 67 / 94 423 76 67
- C.C.A.A, de País Vasco, Navarra y La Rioja y la Provincia de Soria.
- Bilbao.
- http://www.colminasbi.org
- colegio@colminasbi.org

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS
DECANO: JOSÉ AUGUSTO SUÁREZ GARCÍA
C/ Caveda, 14. 33002 Oviedo
- 98 521 77 47 y 521 77 51 / 98 522 96 74
- C.A. del Principado de Asturias.
- Oviedo
- http://www.colminas.es
- correo@colminas.es

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE CIUDAD REAL
DECANA: ROSINA MARÍA MARTÍN GONZÁLEZ
Pza. de la Constitución, 13 - 1º 13400 Almadén (Ciudad Real)
- 926 710 517 / 600 579 698 - Fax: 926 098 080
- Provincia de Ciudad Real.
- Almadén.
- http://www.icoitma.com
- secretaria@icoitma.com

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA
DECANO: JOSÉ ANTONIO CAÑABATE MONTERROSO
Pza. Sta. Bárbara, 26. 14200 Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba)
- 957 56 06 95 / Fax: 957 56 70 77
- Provincia de Córdoba.
- Peñarroya - Pueblo Nuevo (Córdoba)
- http:// www. comincor.com
- jacanabate@gmail.com

EDITA:
Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos de Minas y Grados en Minas y Energía

C/ Don Ramón de la Cruz, 88. Oficina 55.
28006 Madrid.
Tfno: 91 402 50 25 / Fax: 91 402 50 63
www.consejominas.org
consejominas@consejominas.org

COMITÉ EJECUTIVO:

PRESIDENTE:
José Luis Leandro Rodríguez

VICEPRESIDENTE:
Emilio Querol Monfil

SECRETARIO:
Andrés Jerez García

TESORERO:
Víctor Aitor Álvarez Gonzalez

CONSEJEROS:
Juan Ignacio Navarro Villanueva
Francisco Javier Amorrortu Barreda
Víctor Aitor Álvarez González
Rafael Parra Salmerón
Justo Paulino Tejerina Prieto
Jonatan Rodríguez Calzada
José Augusto Suárez García
Rosina María Martín González
Jose Antonio Cañabate Monterroso

DIRECTORA DE LA PUBLICACIÓN:
Nuria Yagües Pérez

COLABORAN EN ESTE NÚMERO:
Andrés Jerez García, Miguel Ortiz Mateo, Modesto Úbeda Rivera, Nuria Yagües Perez, Maria de los Remedios Gil Ortega, Emilio Querol Monfil, Junior Villanueva-Rosario, Cristobal García-García, Jesús A. Teva Córdoba.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN:
CulBuks

ISSN: 1699-7743
Depósito legal: AS-3.629/2004

Prohibida la reproducción total o parcial del contenido de esta revista sin previa autorización. Los artículos e informaciones firmadas expresan la opinión de sus autores, con la que Energía y Minas no se identifica necesariamente.

SUMARIO

Nº 21

EDITORIAL
José Luis Leandro Rodríguez 02

EXPLOTACIÓN DE UNA FORMACIÓN SALINA POR DISOLUCIÓN EN CAVIDADES PROFUNDAS
ANDRÉS JEREZ GARCÍA 04

EL MEDIOAMBIENTE EN RIOTINTO DURANTE EL SIGLO XIX HASTA LA VENTA DE LAS MINAS A LA *RIO TINTO COMPANY LIMITED* (1873)
MIGUEL ORTIZ MATEO 12

DURÍSIMAS CONDICIONES DE TRABAJO MINERO EN EL TÚNEL FERROVIARIO DE SAN GOTARDO (SUIZA)
NURIA YAGUES PEREZ 16

DRENAJE DE TALUDES EN EXPLOTACIÓN DE LIGNITO NEGRO A CIELO ABIERTO
MODESTO ÚBEDA RIVERA 28

LA LITOTECA DE PEÑARROYA-PUEBLONUEVO
MARIA DE LOS REMEDIOS GIL ORTEGA 34

EL CONSEJO GENERAL ADVIRTIÓ SOBRE UN APAGÓN INMINENTE
EMILIO QUEROL MONFIL 40

GEOPOLÍTICA DEL HIDRÓGENO VERDE. LA NUEVA CARRERA ENERGÉTICA ENTRE CHINA Y EE.UU.
JUNIOR VILLANUEVA-ROSARIO Y CRISTOBAL GARCÍA-GARCÍA 46

IMPLANTACIÓN DE DRONES EN LA GESTIÓN DE LA SEGURIDAD PORTUARIA.
JESÚS A. TEVA CÓRDOBA. 52

ACTUALIDAD 58

EDITORIAL

REIVINDICAR LA MINERÍA DEL PRESENTE Y EL FUTURO

José Luis Leandro Rodríguez
Ingeniero Técnico de Minas y Economista.
Presidente del Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía.

LA NECESARIA VISIBILIDAD DE LA ACTIVIDAD MINERA EN LA SOCIEDAD ACTUAL Y FUTURA

Es muy importante para nuestro colectivo que mostremos la cara más amable de nuestra actividad profesional, tantas veces denostada por determinados agentes sociales y alguna que otra Administración Pública.

De nada sirve que nos mantengamos callados y en nuestras obligaciones si no somos capaces de proyectar a la sociedad que realizamos una actividad esencial para el desarrollo de nuestro país.

Por eso es tan importante la labor que realiza la Fundación Minería y Vida, de la que somos

patronos. De ahí que en este número de nuestra Revista le hayamos dedicado un espacio para recordar el buen trabajo que realiza desde que se creó hace ya más de tres años. Como hemos tenido la ocasión de decir en varias ocasiones, si no existiera, estaríamos reuniéndonos para crearla.

Es una fundación donde afortunadamente estamos casi todos los que tenemos que estar desde las Administraciones, Asociaciones empresariales, Consejos de Colegios de Ingenieros de Minas, Ingenieros Técnicos y Grados en Minas, Colegio de Geólogos y varias organizaciones y entidades que engloban al Medio Ambiente y a los medios de comunicación. Todos unidos con el propósito de que la Minería sea respetada por la sociedad.

Prueba palpable de la proyección que se está teniendo es que el número de matriculados en prácticamente todas nuestras Escuelas de Minas, en el presente curso académico de 2025-2026, se ha multiplicado por dos y en algunas por tres en los últimos años, debido al resurgir del sector minero, que hace más atractiva nuestra profesión.

Dicho sea de paso, prácticamente se alcanza el pleno empleo entre los egresados de las Universidades donde radican las Escuelas, además de la ingente labor que viene realizando la propia Fundación Minería y Vida al respecto.

Atrás quedaron los tiempos donde a veces no se alcanzaban casi los mínimos exigidos para la supervivencia de nuestros estudios, que llegaron a amenazar incluso con la desaparición de Minas del catálogo de algunas Universidades.

Queremos acabar con una petición a nuestro colectivo profesional, y es que, en la medida de lo posible, debemos seguir fomentando en nuestros entornos la esencialidad de nuestra actividad, animando a que se estudie nuestra carrera y de esa manera colaboraremos con nuestra permanente presencia favorable en la Sociedad. ●

MINERÍA

Imagen 1. Detalle de una cabeza de disolución de tres vías

EXPLOTACIÓN DE UNA FORMACIÓN SALINA POR DISOLUCIÓN EN CAVIDADES PROFUNDAS

SALT PRODUCTION BY SOLUTION MINING

ANDRÉS JEREZ GARCÍA
Ingeniero Técnico de Minas. Director General en Jumsal S.A.
Secretario General del Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía

SUMARIO

El sistema de explotación del yacimiento es el denominado "lixiviación o disolución en caverna profunda" que consiste en que reactivos o agentes lixiviantes, se ponen en contacto a través de un lecho estático con la mena a tratar. En nuestro caso, el agente lixiviante es el agua y la mena a tratar es el criadero mineral de halita donde crearemos las cavidades.

Este sistema de explotación consiste en la perforación de uno o varios sondeos que atraviesen el yacimiento salino hasta la base de este o hasta la profundidad deseada en función de las características de bombeo. Los equipos constan de tres tuberías concéntricas suspendidas desde la cabeza del sondeo. La primera tubería es utilizada para la inyección de agua a presión, suficiente para vencer las pérdidas de carga y la presión derivada de la diferencia de densidad entre el agua dulce y el agua salada. Se extrae el mineral disuelto bajo forma de salmuera mediante una segunda tubería y, por último, una tercera tubería que sirve para introducir el fluido de control de la disolución.

ABSTRACT

The mining process used is known as "leaching or dissolution in deep cavern". It consists of leaching agents which are put in contact through a static bed with the salt ore to be dissolved. In our case, the leaching agent is fresh water and the ore to be treated is the halite mineral farm from which the caverns will be developed.

This system basically consists of the perforation of one or twice probes across the saline depot to reach the lower part or the required depth depending on the pumping system used. The arrangement consists of three concentric pipes hanging from the head of the probe. The first pipe is used to inject pressurized fresh water; the pressure must be enough to compensate for the pressure drop losses and the pressure derived from the density difference between fresh water and brine. The second pipe is used to pull out the brine, and the third pipe serves to inject the control fluid in the dissolution.

PRODUCCIÓN DE SAL POR DISOLUCIÓN EN CAVIDADES ESTABLES

Se entiende por "cavidad estable" un hueco subterráneo cuya existencia no arrastrará ninguna consecuencia práctica significativa para su entorno desde el punto de vista químico, hidrogeológico y mecánico.

Aunque la producción de sal por medio de procesos de disolución en mina (disolución de sal de roca) se ha venido desarrollándose desde hace más de 2.000 años, en las últimas décadas se ha producido una rápida aceleración en la aplicación de nuevas técnicas. Antiguamente la disolución de la sal era prácticamente realizada en la superficie de los depósitos de sal y más tarde, cuando la perforación de sondeos fue posible, incluso llegando a estratos más profundos. La necesidad de agua en el proceso para generar la disolución originariamente desde la superficie del depósito de sal o desde acuíferos cercanos. La salmuera se produce cuando sale naturalmente a la superficie o por medio de pozos.

Desde mediados del siglo pasado las investigaciones llevadas a cabo por científicos para evaluar el comportamiento físico-químico de los diferentes depósitos de sal durante la disolución, programas de simulación numérica, experiencia sobre la mecánica de rocas aplicada al mineral de sal, el desarrollo de la aplicación de leyes de materiales para describirlos, y la disponibilidad de los avances en teoremas matemáticos como de cálculos de elementos finitos han permitido a los ingenieros explotar las reservas de sal desde las restricciones de los datos geológicos con:

- Máxima recuperación de sal.
- Seguridad a largo plazo en la superficie para todos los elementos, equipos y sistemas.
- Control estricto del comportamiento de las cavidades permitiendo en cada momento un conocimiento de esta.
- Diseño de equipos de una manera racional con un menor coste económico.

La gran cantidad de avances tecnológicos de la disolución en mina de sal de roca requiere, sin embargo, el uso de una variedad de mediciones, análisis, métodos de control, etc., tal como se exponen a continuación.

TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

El sistema de explotación de sal por disolución en cámaras aisladas es un método ampliamente conocido y desarrollado tanto en España (donde existen en actividad en Cantabria, Alicante, Murcia, Huesca), como en los países de nuestro entorno: Francia, Alemania, Holanda, Portugal, Reino Unido, Estados Unidos, etc.

Este sistema de explotación consiste básicamente en la perforación de uno o varios sondeos que atraviesen el yacimiento salino hasta la base del mismo o hasta la profundidad deseada en función de las características de los equipos de bombeo, que se equipa con dos tuberías concéntricas suspendidas desde la cabeza del sondeo, una para la inyección de agua a presión suficiente para vencer las pérdidas de

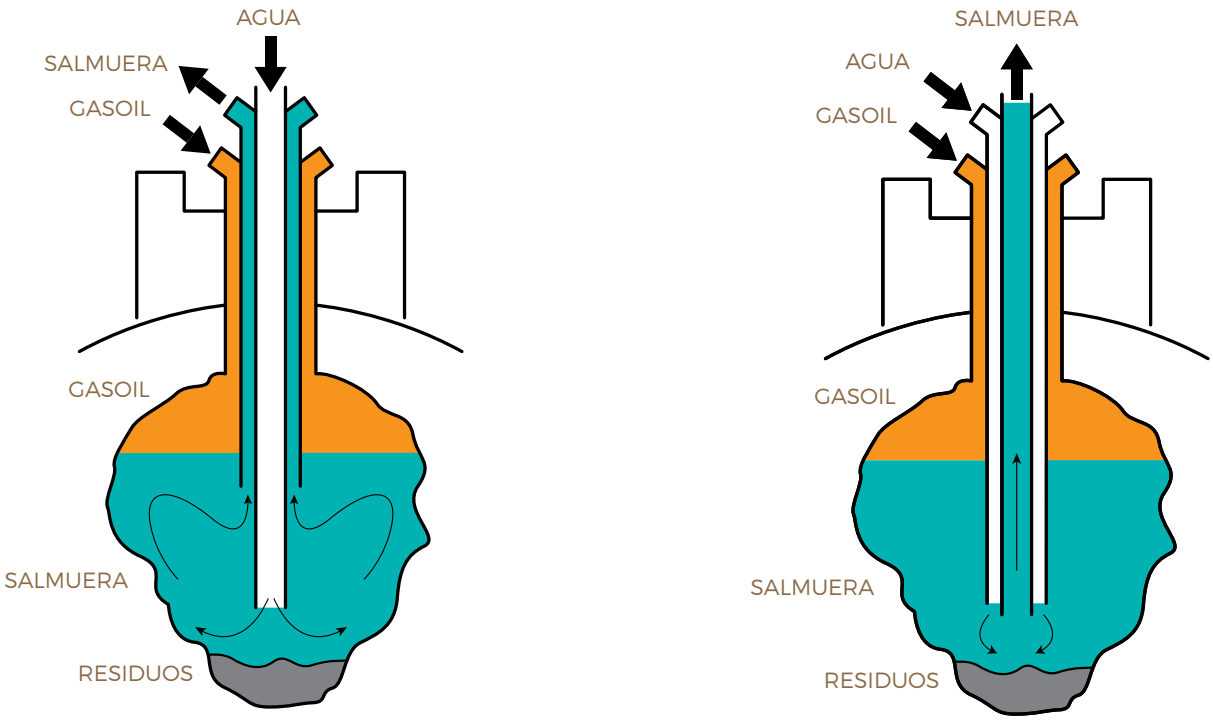


Imagen 2. Esquemas de métodos de disolución directo e indirecto

carga y la presión derivada de la diferencia de densidad entre el agua dulce la salmuera y otra por donde se extrae la sal disuelta bajo forma de salmuera. Una tercera tubería sirve para introducir el fluido de control o de interfase de la disolución (blanket).

El agua disuelve las paredes y el techo de la cavidad, produciendo una salmuera, con una concentración compatible con la necesidad de evitar cristalizaciones en el circuito de tuberías, que retorna a la superficie por la presión de inyección. Los insolubles que no son arrastrados por la corriente de salmuera quedan depositados en el fondo de la cavidad.

Por analogía con los métodos de perforación con "circulación directa" o "circulación inversa", la circulación del fluido con inyección del agua y la salida de salmuera se pueden denominar también como circulación directa (también denominada inyección central) cuando la inyección del agua dulce a presión se hace por la tubería central, o con circulación inversa, cuando la inyección se hace a través del espacio anular entre las dos tuberías (también llamada por esta razón inyección anular).

En la **Imagen 2** se representan dos esquemas de ambos tipos de disolución, fuera de escala y con la capa de blanket de unos cm, ampliamente sobredimensionada, sobre la que destacan las siguientes características:

1. La disolución se produce desde una distancia muy corta por debajo del punto de inyección hacia arriba, de varios decímetros o metros, en función del caudal y de las dimensiones de la cavidad. Por debajo de esa distancia de la inyección el agua inyectada o la salmuera débil que pueda producirse no alcanza las paredes de la cavidad y no se produce disolución.

2. Por debajo de la zona de disolución la cavidad está llena de salmuera saturada.

3. El fondo de la cavidad se va rellenando con los insolubles que no han sido arrastrados por la salmuera.

4. La formación de la cavidad debe comenzar con inyección central, para mantener abierta la circulación, abriendo una cavidad de un diámetro cada vez mayor. Una inyección anular, sin disolución por debajo de la tubería de inyección, daría lugar al cierre inmediato de la circulación, al depositarse los insolubles en el espacio entre la tubería y el sondeo.

5. La fase de formación es crítica, ya que una parada de la inyección puede dar lugar a que los sondeos se depositen en el fondo y cierren el paso a la circulación.

6. Como regla de principio se puede considerar que el avance en el radio es igual al avance en altura. Si se desea frenar el avance en altura, se debe inyectar una mayor cantidad de líquido pantalla (blanket).

7. Una vez alcanzado un volumen de cavidad suficiente se elevan los pies de ambas tuberías, pudiendo continuar con la inyección central o pasar a inyección anular, según el programa de apertura del sondeo.

8. La inyección anular da lugar a una salmuera no saturada, especialmente con cavidades pequeñas y poca separación entre los pies de las columnas. La inyección central permite alcanzar una mayor saturación de la sal con una menor separación entre los pies de las columnas. No es aconsejable una saturación total de la salmuera, pues puede dar lugar a la formación de cristales de yeso en las tuberías.

9. La columna cementada está representada por la tubería exterior al liquido pantalla (blanket).

10. El espesor de la capa de protección del blanket dentro de la cámara es de unos milímetros.

11. Para controlar el volumen de sal disuelta se debe integrar el caudal de salmuera y su concentración. Este control se verifica con mediciones periódicas con sonar, que muestran la forma de la cavidad, además del volumen.

12. Existen diversos programas computerizados para el cálculo del volumen de sal disuelto y predecir la forma teórica de la cavidad.

13. La disolución de la sal origina un cambio en la distribución de tensiones en las rocas colindantes debido al comportamiento visco-plástico de la sal y la convergencia resultante, que, en condiciones desfavorables puede dar lugar a subsidencias y colapsos, por lo que es necesario adoptar unas dimensiones de las cámaras, de los pilares entre cámaras y de la viga de sal al techo, suficientes y avalados por la experiencia, que eliminen completamente el riesgo de subsidencias que afecten de forma significativa a la superficie.

14. El sistema de explotación adoptado puede considerarse como el método más seguro y fiable para la producción de la salmuera, siempre que se utilice la tecnología existente y se lleven a cabo las mediciones y los controles periódicos necesarios.

La salmuera extraída se clarifica y se somete a una evaporación para la obtención de la sal cristalizada.

La viabilidad de este sistema necesita de un yacimiento de sal de potencia suficiente para poder desarrollar esta disolución, normalmente de varios centenares de metros, y de unas reservas adecuadas para mantener la producción durante varias decenas de años.

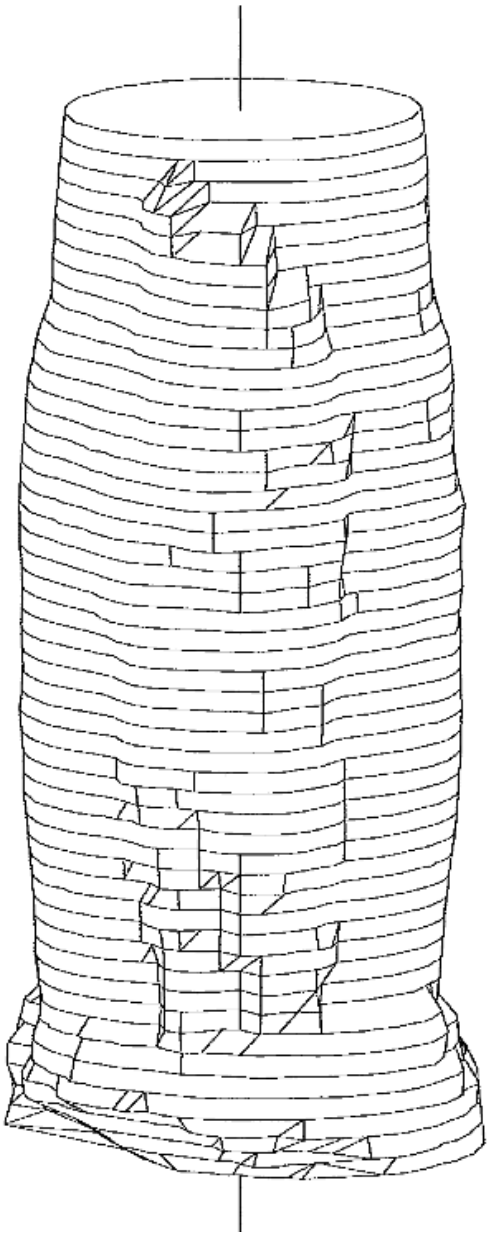


Imagen 3. Esquema disolución en etapa única

PROCESOS DE DISOLUCIÓN

Para la construcción de cavidades hay un gran número de alternativas disponibles, dependiendo de la geología encontrada o prevista y las condiciones químicas, así como la planificación de estas, el periodo de disolución prescrito y el volumen de sal masa/cavidad final deseado. Siendo estos los siguientes:

- Disolución mediante etapa única.
- Disolución con un sumidero en la caverna.
- Disolución por multietapa.
- Líquido pantalla

Disolución mediante etapa única

Cuando el blanket se establece para una profundidad única sobre la totalidad del periodo de lixiviación hasta el inicio de la fase de techo, se conoce como disolución mediante etapa única (Imagen 3).

En el procedimiento de construcción de varias cavidades, la disolución mediante etapa única es el proceso más usado para condiciones geológicas homogéneas. Siendo las ventajas de este método las siguientes:

- Construcción de una caverna de forma uniforme.
- Alta concentración de sal debido a una extendida altura de disolución.
- Cortos periodos de disolución debido a la alta concentración de sal.

Disolución con un sumidero en la cavidad

Para cavidades construidas en zonas salinas con un elevado contenido en insolubles, disolución corta, se recomienda construir un ancho sumidero para contener esos sólidos para evitar bajadas de profundidad debido a sedimentación de insolubles en las zonas más bajas de la cavidad.

Para lixiviar el sumidero de la cavidad, el nivel del blanket esta inicialmente mucho más profundo que la fase de lixiviación principal. Poco antes de finalizar la fase del sumidero de la cavidad, el nivel del blanket es elevado a la profundidad actual para la fase de lixiviación. Estos agrandamientos del pozo proporcionan una forma más favorable durante el desarrollo subsiguiente de la construcción de la cavidad. Presentando las siguientes ventajas:

- Bajas perdidas de profundidad en la cavidad con altos contenidos en insolubles.
- Mejor aprovechamiento de la sal en las zonas bajas de la cavidad.
- Por otra parte, las desventajas que presentan este tipo de desarrollos son las siguientes:
- Un techo provisional, que puede tener una influencia perjudicial sobre el desarrollo de la forma de la cavidad, que se crea cuando se lixivia el sumidero de la cavidad.
- Dependiendo de la velocidad de disolución, la pequeña distancia entre la tubería interior y exterior de lixiviación podría descender el incremento de concentración de sal y por lo tanto, haciendo que el periodo de lixiviación se alargue.

Lixiviación multietapa

Cabe la posibilidad de que en algún nivel de lixiviación exista una mayor solubilidad o estratos que contienen arcilla (insolubles), por lo que se podrán producir lixiviaciones incontroladas y/o generación de una forma irregular de la cavidad. Por lo que se recomienda la lixiviación multietapa (Imagen 4).

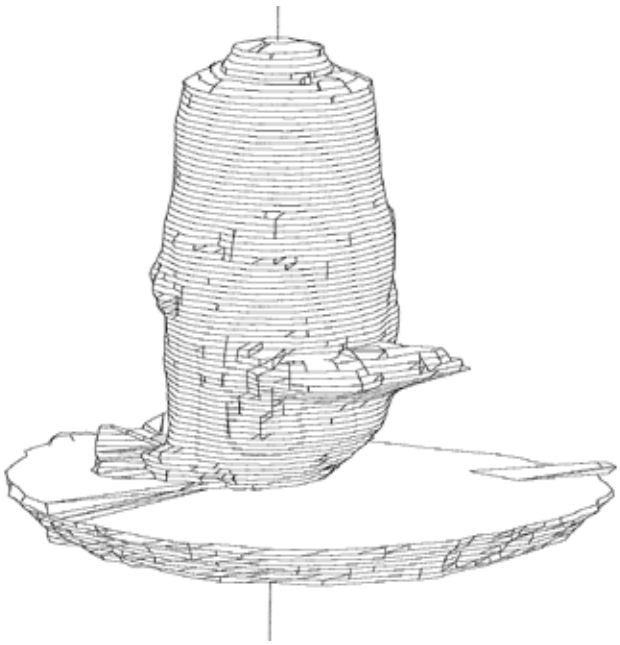


Imagen 4. Esquema disolución multietapa

Si los estratos que contienen arcilla son lixiviados durante la etapa de lixiviación única (la sección superior es el caso más desfavorable), la forma de la cavidad podría alcanzar límites mecánicos de la roca antes de que zonas salinas inferiores se disuelvan impidiendo alcanzar el volumen máximo. Este peligro es contrarrestado por la lixiviación multietapa, proceso este que presenta las siguientes desventajas:

- Posible desarrollo no uniforme de la forma de la cavidad debido a las lixiviaciones intermedias de techo.
- Una concentración de salmuera menos favorable, dependiendo de la velocidad de disolución, debido a la baja distancia entre la tubería interior y exterior de lixiviación. Esto lleva a periodos de lixiviación largos.

Liquido pantalla (Blanket)

El proceso de lixiviación de la sal está restringido en la dirección vertical, esto es debido a la utilización de un medio protector (liquido pantalla). El líquido pantalla es inyectado por el espacio anular del casing cementado y forma una barrera entre la salmuera y el techo de la cavidad. Aportando este proceso las siguientes ventajas:

- Posibilidad de controlar la lixiviación del depósito salino por aumentos graduales del nivel del líquido pantalla.
- Prevención de la lixiviación.
- Controlar la lixiviación en el techo y así tener la posibilidad de crear una forma del techo favorable desde el punto de vista de mecánica de rocas.
- Prevención de la lixiviación más allá del casing cementado.

El medio protector puede estar compuesto por algunos de los siguientes elementos:

- Petróleo crudo, diésel, gasolina, GLP.
- Gases como aire, nitrógeno, etc.

El líquido pantalla seleccionado, deberá presentar la totalidad de las siguientes propiedades:

- No disolverse por la roca salina.
- Peso específico más ligero que el agua.
- Baja solubilidad en agua.
- Menor comprensión posible.
- Fácil de bombear, fácil de manejar.
- Fácilmente disponible.
- Económico.

En el caso de medios comprensibles (por ejemplo aire, nitrógeno) para liquido pantalla, hay que tener en cuenta cualquier cambio en la presión de inyección de agua dulce durante la fase de lixiviación, ya que podría causar cambios en el volumen del blanket. A consecuencia se producen cambios de profundidad en el contacto liquido pantalla-salmuera. Esto hace una capa de protección poco uniforme en el techo de la cavidad.

Por lo tanto, a pesar de la ventaja de los costos, el uso de aire comprimido no se recomienda por su compresibilidad y el problema de la corrosión en tubos de acero.

El uso de nitrógeno podría eliminar el problema de la corrosión, pero es altamente comprensible y tiene un precio relativamente alto, no es recomendable.

El GLP es líquido bajo las condiciones que se presentan durante el uso y es un buen líquido pantalla. El manejo es, sin embargo, relativamente peligroso, el almacenamiento requiere recipientes a presión y bombas especiales para la inyección.

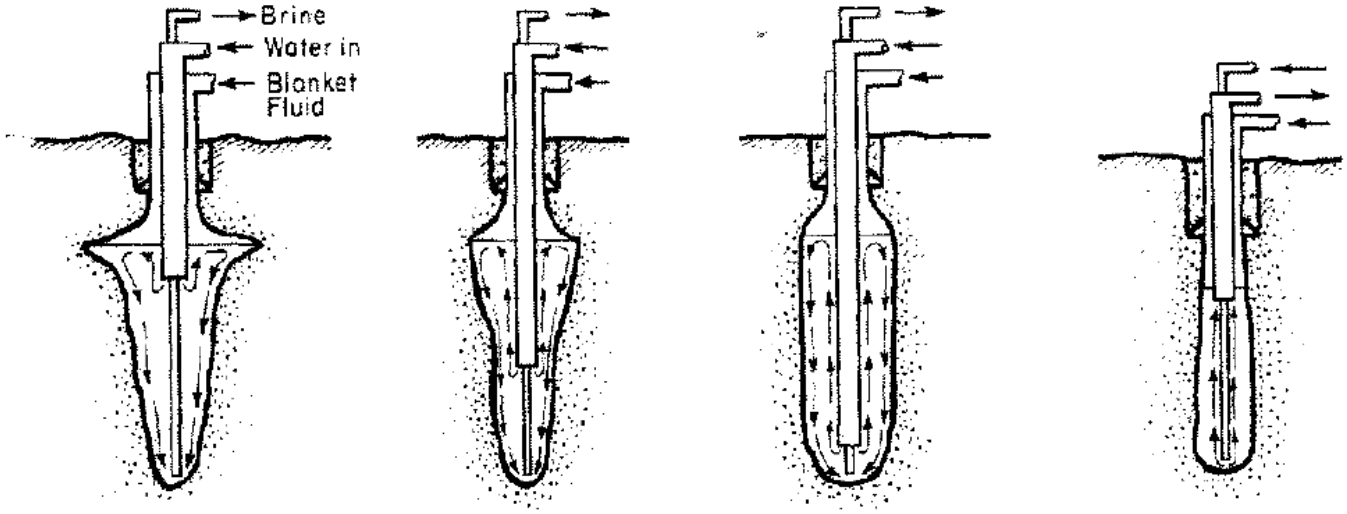


Figure 2 (a). Effects of Pipe Positioning on Cavity Shape Using the Reverse Circulation Method.

Figure 2 (b). Direct Circulation.

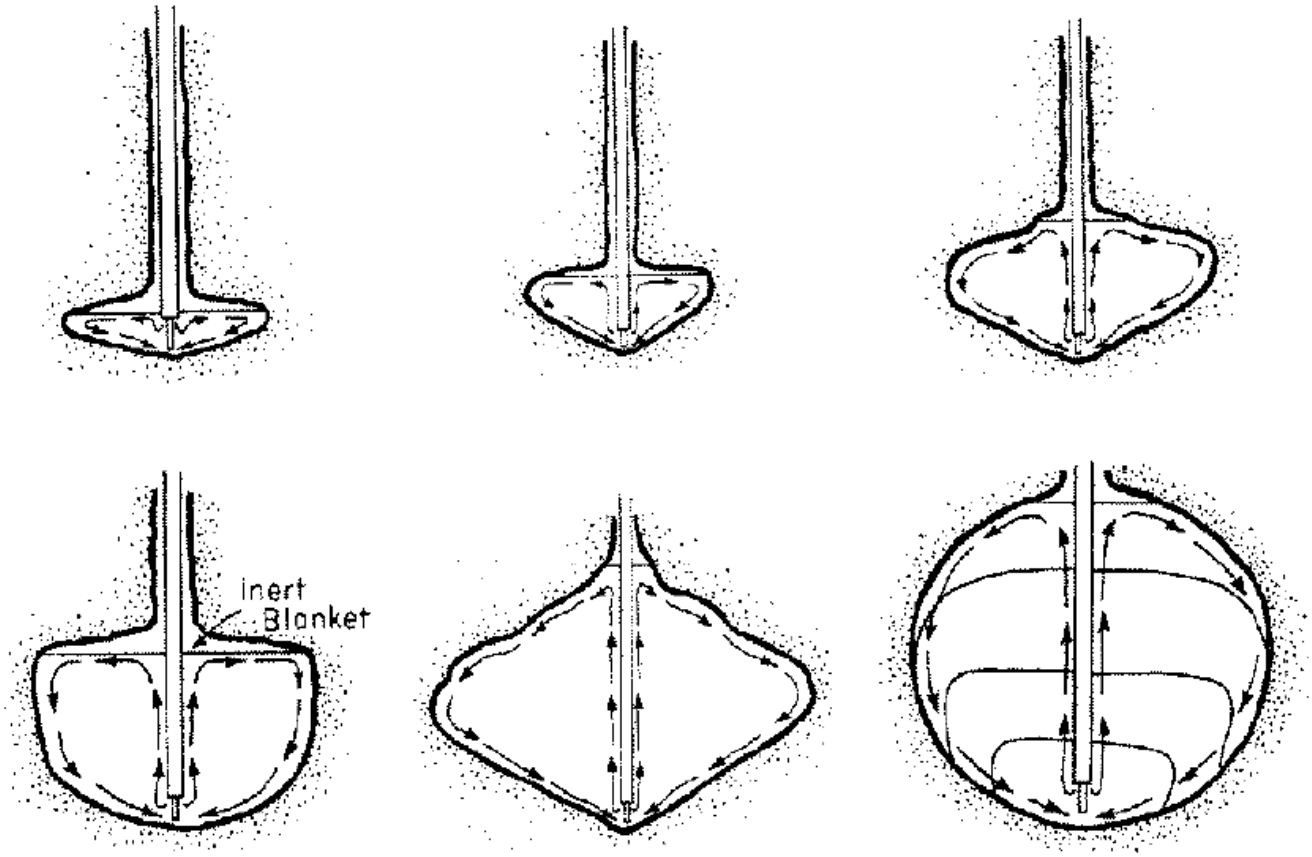


Imagen 5. Esquemas tipo de desarrollo de las cavidades según el sistema de circulación, separación entre los pies de las columnas, movimiento de las columnas, fluido de control al techo, insolubles, etc. Extraídos del artículo "Techniques for Developing Predetermined Shaped Cavities in Solution Minino", por D. R. Remson, G. B. Dommers y F. W. Jessen. (The University of Texas, Austin, Texas).

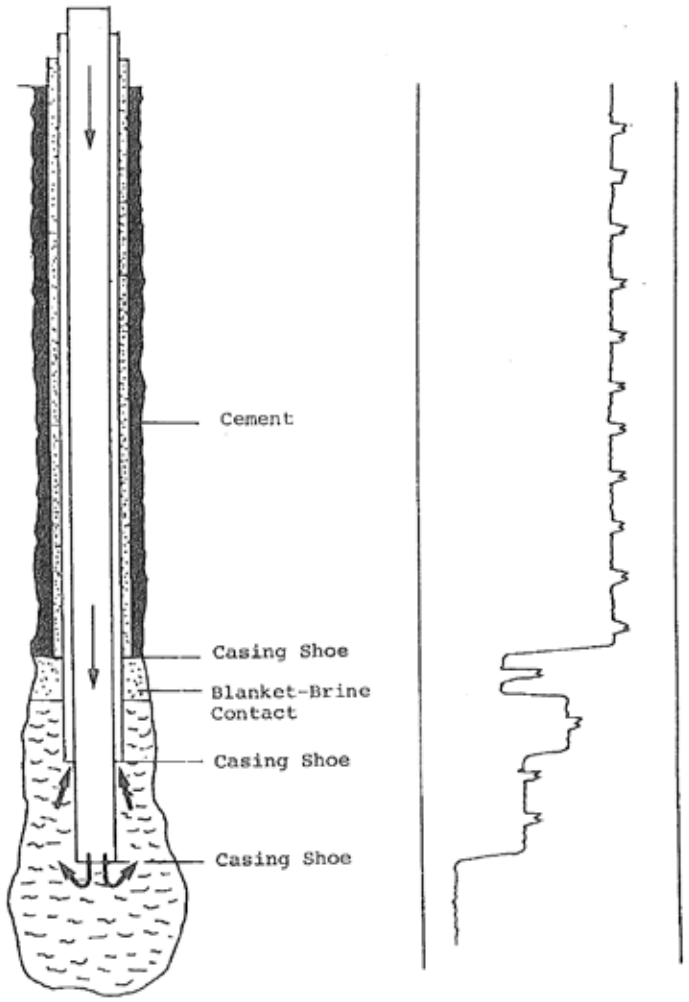


Imagen 6. Control del líquido pantalla (gamma-gamma)

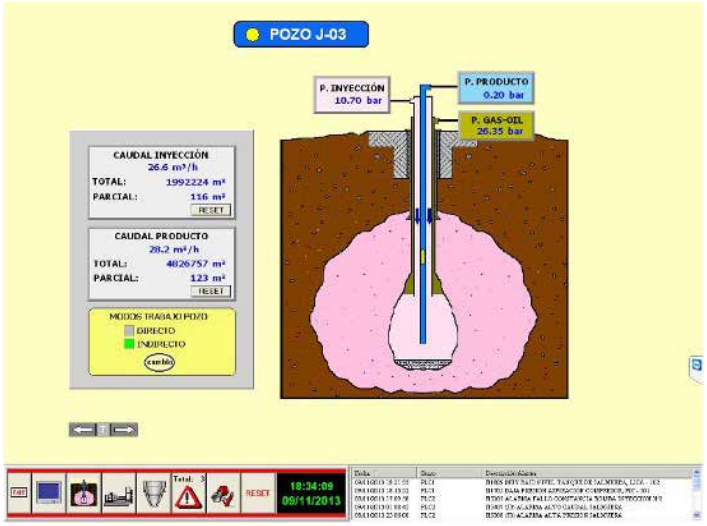


Imagen 7. Ejemplo monitorización control cavidad

Normalmente, el petróleo crudo contiene un número de componentes de hidrocarburos que son solubles en la salmuera. Nosotros sin embargo no recomendamos el uso de petróleo crudo.

Los dos medios restantes (gasóleo y gasolina) son bastante similares. La elección de uno u otro se basa en el precio.

Finalmente, mencionar que el desarrollo de la disolución se iniciará en el muro, ascendiendo hasta alcanzar el techo de la cavidad, de esta forma la cantidad de líquido pantalla será la menor posible.

De iniciarse al contrario (de techo a muro), estas cantidades deberían de ir incrementándose continuamente para poder ir avanzando hacia niveles inferiores. Este caso, se presenta cuando la cavidad tiene un uso simultaneo y/o previsto en su final (almacén de hidrocarburos) de esta forma al final de su producción de salmuera saturada ya se encuentra rellena de hidrocarburos.

El control del nivel del líquido pantalla puede ser realizado durante la lixiviación por el método de estudio de la interfase gamma-gamma.

No es posible la determinación del nivel del blanket usando el gamma log natural porque no hay diferencia virtual entre la intensidad de la radiación natural del líquido pantalla y la salmuera.

El propósito de la interfase del log gamma-gamma es identificar la interfase entre la salmuera y el líquido pantalla durante el proceso de disolución.

La salmuera tiene una densidad (>1000Kg/m^3) más alta que el blanket, que es normalmente GLP (560Kg/m^3), aceite o petróleo (850 Kg/m^3).

Para estos logs, el instrumento básico es un delgado rayo gamma. El instrumento tiene una fuente radiactiva que se usa para el logging. Esta fuente de haces de rayos gamma se introduce en los diferentes medios y el contador de la herramienta detecta los cambios de intensidad de reflexión de los rayos gamma.

Las diferentes densidades del blanket y la salmuera permite la interfase salmuera/blanket que se ha determinado alrededor de +/-20 cm de precisión, presentado las siguientes ventajas e inconvenientes:

- No necesita control adicional de las instalaciones en el espacio anular del blanket y por lo tanto se usa un casing cementado como tubería para introducir este.
- No hay problemas para ejecutar las mediciones, si existe un contenido alto de insolubles.
- Gran carga de trabajo.
- Ciclo de medición largo.
- Interpretación normalmente difícil de los resultados.
- Caro cuando se realiza mediante compañía de servicios.

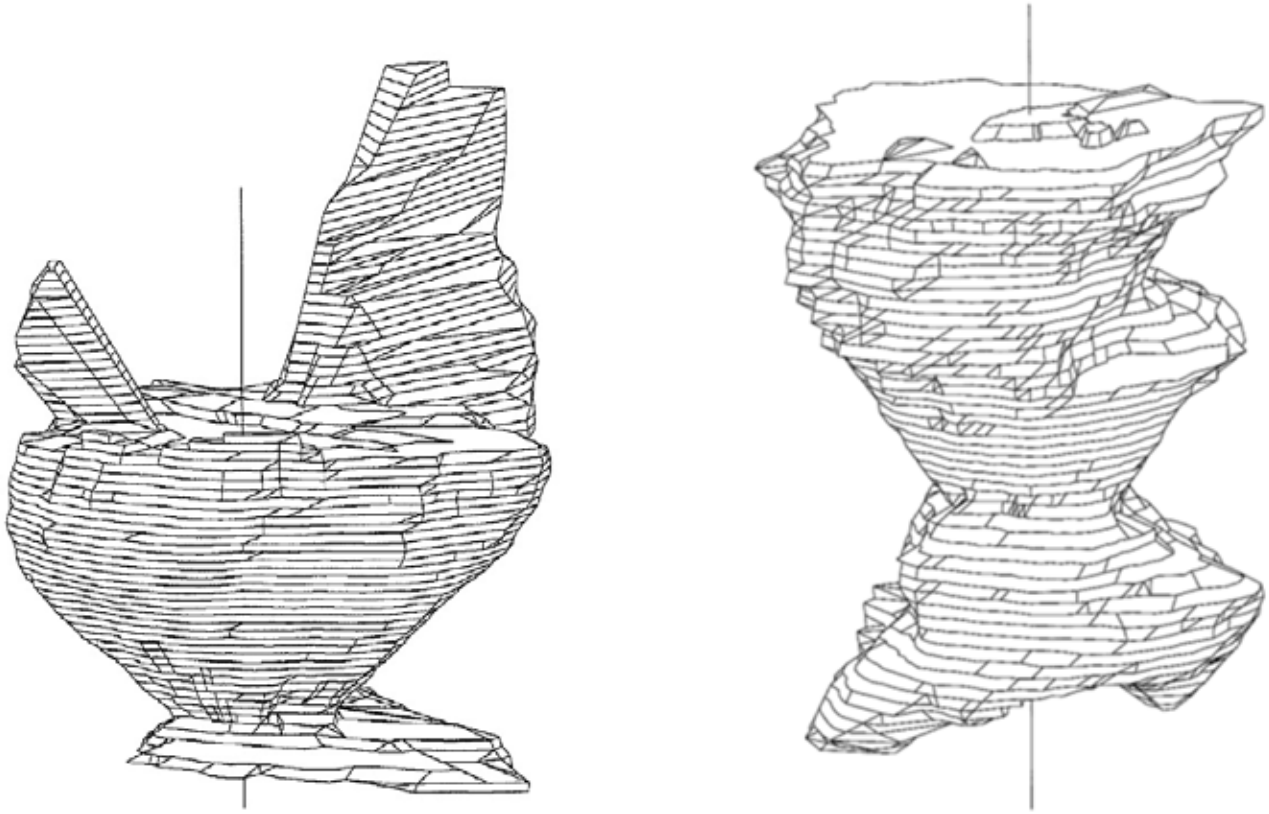


Imagen 8. Ejemplo de control de cavidades por sonar

Como actualmente en España hay muy pocas posibilidades de ejecutar el log gamma-gamma, la determinación del nivel del líquido pantalla se puede hacer con cálculos diferenciales de presión. Este método de determinación del nivel del líquido pantalla es relativamente inexacto y hay riesgo de que el proceso de disolución pueda perder el control y no recuperarlo.

Control de las cavidades

El control del volumen de sal disuelta se realiza por medidas diarias de la densidad de la salmuera y de los caudales de circulación. Este volumen nos da una idea de las dimensiones de la cavidad y del momento de proceder a la maniobra de las tuberías.

Estas dimensiones se verifican con mediciones mediante sonar, mediante las cuales se alcanza una visión clara y exacta de la cavidad. Los últimos desarrollos en estos equipos permiten conocer las dimensiones de la cavidad en cualquiera de sus puntos.

Este control con sonar se realiza en el momento de las maniobras, aprovechando la retirada de la tubería de 4 1/2". Las dimensiones y forma de la cavidad determinan la colocación de los pies de la tubería para proseguir con la disolución.. ●

BIBLIOGRAFIA

La bibliografía específica sobre la explotación de sal por disolución es muy extensa, en particular auspiciada por el desarrollo de cavidades para almacenamiento subterráneo tanto de hidrocarburos como de residuos.

Se trata de una tecnología muy desarrollada, ampliamente experimentada y segura dentro de las actuales exigencias y normativas. Como ejemplos extraídos de la amplia bibliografía existente y sólo a efectos de referencias, podemos señalar, entre otros los siguientes estudios relacionados con esta materia:

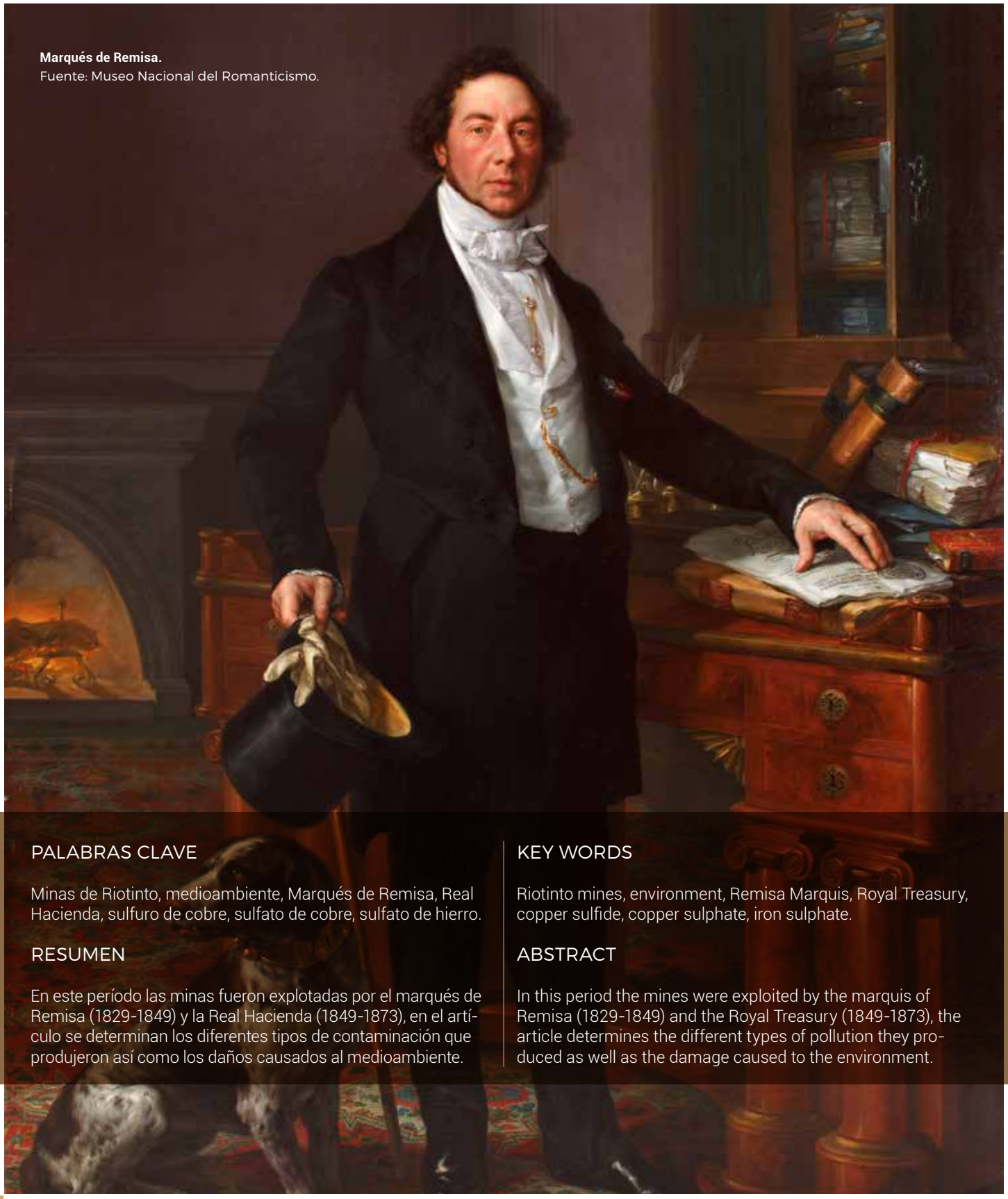
Pierre Bérest, Bill Diamond, Antoine Duquesnoy, Gérard Durup, Bernard Feuga, Lothar Lhoff, avec la collaboration d'Ignace Salpeteur Les méthodes d'exploitation du domaine salifère. Une expertise internationale. Annales des mines. Avril 2004.

P. Berest, B. Brouard. Safety of Salt Caverns Used for Underground Storage. Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP. Vol 58 (2003) pp. 361-384. Éditions Technip.

Briggs P., Sanford K. (2000) - The Ups and Downs of Post-Closure Subsidence Monitoring at the Tully Valley Brine Field, New York. Proc. SMRI Tech. Class and Tech. Meeting, San Antonio, p. 57-74.

KAVERNEN BAU-UND BETRIEBS-Gmbh (KBB)

MINERÍA



Marqués de Remisa.
Fuente: Museo Nacional del Romanticismo.

PALABRAS CLAVE

Minas de Riotinto, medioambiente, Marqués de Remisa, Real Hacienda, sulfuro de cobre, sulfato de cobre, sulfato de hierro.

RESUMEN

En este período las minas fueron explotadas por el marqués de Remisa (1829-1849) y la Real Hacienda (1849-1873), en el artículo se determinan los diferentes tipos de contaminación que produjeron así como los daños causados al medioambiente.

KEY WORDS

Riotinto mines, environment, Remisa Marquis, Royal Treasury, copper sulfide, copper sulphate, iron sulphate.

ABSTRACT

In this period the mines were exploited by the marquis of Remisa (1829-1849) and the Royal Treasury (1849-1873), the article determines the different types of pollution they produced as well as the damage caused to the environment.

EL MEDIOAMBIENTE EN RIOTINTO

DURANTE EL SIGLO XIX HASTA LA VENTA DE LAS MINAS A LA *RIO TINTO COMPANY LIMITED* (1873)

THE ENVIRONMENT IN RIOTINTO DURING THE 19TH CENTURY UNTIL THE SALE OF THE MINES TO THE *RIO TINTO COMPANY LIMITED* (1873).

MIGUEL ORTIZ MATEO
Dr. Ingeniero de Minas. Ingeniero Técnico de Minas

LAS MINAS DE RIOTINTO VIENEN SIENDO EXPLOTADAS PARA LA PRODUCCIÓN DE COBRE DESDE HACE MÁS DE 5000 AÑOS. EN EL ARTÍCULO SE ANALIZA LA EXPLOTACIÓN EN EL SIGLO XIX POR EL MARQUÉS DE REMISA (1829-1849) Y LA REAL HACIENDA (1849-1873), LAS PRODUCCIONES DE COBRE ASÍ COMO LOS DAÑOS CAUSADOS AL MEDIOAMBIENTE Y SU CUANTIFICACIÓN EN LA COMARCA.

LA CONTAMINACIÓN DURANTE LA EXPLOTACIÓN DE LAS MINAS POR EL MARQUÉS DE REMISA

Las minas fueron alquiladas al marqués de Remisa por un periodo de 20 años con una serie de condiciones, p.e. plantar tres pinos por cada uno talado, que nunca cumplió basado en las buenas relaciones que tenía en la corte, procedió a la tala indiscriminada de la arboleda, viéndose obligado a cambiar en 1845 el método metalúrgico de fundición, vía seca, por la cementación artificial, que consistía en poner al nivel del suelo una cama de jara y encima el mineral en montones con forma tronco-piramidal, con conductos para que la combustión progresara, iniciada la combustión de la jara comenzaban las reacciones químicas pasando los sulfuros de cobre a sulfatos, una vez consumida la jara, como las reacciones eran exotérmicas progresaban solas sin necesidad de más combustible, la calcinación podía durar varios meses en función de su volumen, terminada la calcinación el mineral tenía la forma de un pan de la zona llamado telera, a continuación el mineral calcinado pasaba a los pilones del hierro que contenían agua y chatarra de hierro, donde los sulfatos de cobre por intercambio iónico pasaban a sulfatos de hierro precipitando el cobre en forma de cascara, de aquí las aguas pasaban a un sistema de canaleos con chatarra de hierro, donde se terminaba de agotar el cobre que llevaban las aguas precipitando.

En 1837 realizó una visita al establecimiento (1) Esquerra del Bayo, ingeniero de la Real Hacienda, que comprobó la abusiva tala de pinos, reduciendo las talas anuales de pinos en el término, debido a este control, la empresa trata de encontrar soluciones a la escasez de combustible, como consecuencia de ello en 1839 se establece la calcinación en teleras, cuya puesta a punto se debe al ingeniero Goyanes, que sustituyen a los hornos cónicos, el procedimiento seguía siendo la vía seca, consiguiéndose un ahorro de madera de 8,5 kg por tonelada de mineral a calcinar, o 390 kg por tonelada de cobre refinado. La vía seca consistía en la tostación a muerte del mineral, pasando los sulfuros a óxidos de cobre que se reducían con carbón para obtener cobre negro que posteriormente refinaba.

Calcinaciones al aire libre, década de 1880.
Fuente: Archivo Fundación Riotinto

Explotador	Mineral beneficiado (tm)	Azufre sulfuroso emitido a la atmósfera (Nm^3)	Anhídrido sulfuroso emitido a la atmósfera (Nm^3)
REMISA 1/4/1829 A 23/4/1849	165.811 (más vitriolos y tierras vitriólicas)	67.666	47.366.620
ESTADO 2ª ETAPA 24/4/1849 A 31/12/1872	1.250.427	425.145	297.601.500
TOTAL	1.416.238	492.811	30.233.816

En 1845 (2) se estableció la cementación artificial que sustituyó a la vía seca, lo que supuso una fuerte disminución de la presión sobre el bosque y la solución a la falta de combustible de REMISA, debido a que este método metalúrgico sólo consumía jara en la calcinación de los minerales. La cantidad de jara necesaria para iniciar la combustión del azufre de las piritas era de 14 o 15 kg por tonelada de mineral y como excepción 20 o 25 kg dependiendo de la mayor o menor facilidad con que las piritas ardían.

La cementación artificial emitía un 13% menos de azufre a la atmósfera que la vía seca, donde la calcinación era a muerte, mientras que en aquélla quedaba en el mineral calcinado parte del azufre formando sulfatos. Los graves daños a los bosques y a la agricultura producidos por la cementación artificial, se deben al fuerte incremento de los minerales calcinados, como consecuencia del aumento de la producción de cobre y a realizarse esta calcinación casi a nivel del suelo, lo que dificultaba la dilución de los gases en la atmósfera.

La cementación artificial como consecuencia de la lixiviación del calcinado, aumentaba la carga de contaminantes de las aguas vertidas al río, no su volumen, pues procedían del socavón de desagüe y de la Cueva del Lago, que después de rendir el cobre que contenían por cementación natural, posteriormente hacían de motor moviendo las ruedas hidráulicas, que activaban los fuelles de los hornos de afino y posteriormente de los de derretido.

LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA EN LA EXPLOTACIÓN DE LAS MINAS DURANTE LA REAL HACIENDA (1849-1873).

En Abril de 1849, vencido el contrato de alquiler, al hacerse cargo de nuevo el Estado de las minas, se realizó un inventario, comprobándose que los 444.000 pinos entregados en 1829 se habían convertido en 95.784, es decir un 21,60% del pinar inicial; se valoraron en 287.684 reales los montes que veinte años antes lo habían sido en 1.521.100 reales, es decir que se había reducido su valor a un 18,91% del originario. El número de pinos perdidos fue de 348.216, que no coincide con la calculada por nosotros de 527.700 pies, que creemos se debe a que la madera de pino que falta, debió de ser sustituida por leña de encina (no hemos encontrado la cifra que refleje el número de encinas al finalizar el contrato de REMISA, existiendo la posibilidad de que hubiese acabado con todas.) y brezo, hasta obtener las calorías necesarias para los procesos metalúrgicos.

Continuó el Estado con el método de cementación artificial de los minerales y el natural aplicado a las aguas del socavón de San Luis y Cueva del Lago, a los vitriolos y tierras vitriólicas, hasta la venta de las minas a los ingleses.

La cantidad de mineral que se calcinaba iba aumentando cada día, en una progresión muy rápida, aun cuando no aumentaba en la misma proporción la cantidad de cobre obtenido; por lo que los efectos de la gran cantidad de humos se hacían notar sobre los vegetales, dejándolos como abrasados por el fuego.

Los habitantes de Riotinto (3) respiraban a todas horas del día una atmósfera cargada de ácido sulfúrico, de ácido arsenioso y de los vapores menos perjudiciales, aunque molestos de anhídrido sulfuroso y de azufre. Los humos más densos excitaban con fuerza la tos, y hacían estornudar y llorar al mismo tiempo.

La situación de los montes, pese a la lluvia ácida debida a las teleras, había mejorado respecto a cómo las dejó el marqués de Remisa en 1849; con un incremento del 18,64% en el número de pies de pinar, otro tanto debió de ocurrir respecto a los alcornoques y encinas, pero debido a carecer del dato de 1849 no podemos compararlos.

Conforme al Boletín de Ventas de Bienes Nacionales de 1871, existían 113.641 pies de pinar, lo que suponía un incremento respecto a 1849 de 17.857 pies, es decir un 18,64% correspondiendo en superficie a 42,9254 hectáreas; en cuanto a encinas y alcornoques su número era de 12.409 pies, que hemos comparado con el año 1829, pues carecemos del dato de 1849, suponiendo un incremento de 10.709 pies, lo que representa un 629,94%, equivalente a una superficie de 178,4833 Ha; lo que demuestra que los alcornoques y encinas eran más resistentes a la lluvia ácida.

En un informe de 1854 (4) del médico titular del establecimiento, D. Miguel Ortiz de Herboso Batiz dice que: "Ningún pueblo como el de las Minas de Rio-Tinto tiene en tan alta escala las causas permanentes de insalubridad; en la espalda de cada casa se ven grandes montones de basura e inmundia que infestan con sus malos olores la población; el número de almas es tan excesivo que basta decir que hay habitación que en el reducido número de diez y seis varas duermen dieciséis trabajadores en el mayor desaseo, el ganado de cerda reconocido como perjudicial a la salud pública, no sólo pulula por las calles, sino que duerme dentro de las mismas casas; el cementerio sumamente reducido, sin empadronar, sin tierra caliza, con sólo una ligera capa de tierra mineral, da lugar a que los cadáveres, casi a flor de tierra exhalen los

Emisiones a la atmósfera de CO2 (Nm³)	Potencial lluvia ácida (tm)	Hierro vertido al río, procedente de la cementación en forma de sulfatos (kg)	Madera consumida (kg)		Número de pies		Posible superficie desforestada (ha)	
			PINO	ENCINA	PINO	ENCINA	PINO	ENCINA
58.769.928	203.001	6.930.800	62.190.478	-	525.700	-	1.263	-
-	1.275.435	51.214.295	-	-	-	-	-	-
58.769.928	1.478.436	58.145.095	62.190.478	-	525.700	-	1.265	-

miasmas nada salubres que muchas veces en la estación de verano se han notado en población, de la que sólo dista el citado cementerio 15 ó 20 varas" (Gil Varón, 1988, 796).

Dado el hacinamiento (5) y falta de higiene en que vivía la población, los gases sulfurosos al parecer tenían su parte positiva, como que nunca hubiese entrado en Riotinto el cólera morbo, la fiebre amarilla, ni el vómito negro, (6) aunque indudablemente para los humanos con enfermedades respiratorias, los animales y las plantas era sumamente dañino.

El cuadro (7) refleja un resumen de las emisiones a la atmósfera de azufre, anhídrido sulfuroso y carbónico, potencial ácido sulfúrico generado, hierro de la cementación que pasó a las aguas como sulfato, madera y número de pies consumidos, y posible superficie desforestada durante el periodo estudiado.

El gran volumen generado de escorias, escombreras y otros materiales lixiviables que quedaron abandonados (no sólo del periodo estudiado) continúan hoy en día aportando aguas ácidas y elementos contaminantes a las aguas superficiales y subterráneas. Los parámetros físico-químicos más afectados por la contaminación hídrica han sido el pH (los valores del río Tinto son inferiores a 3), las concentraciones de iones (sulfatos y metales tales como hierro, manganeso, cobre, plomo y cinc) y sólidos en suspensión.

CONCLUSIONES

Las minas de Riotinto estuvieron paralizadas, como consecuencia de la guerra de la independencia, hasta 1829, en que se otorgan en alquiler por 20 años al marqués de Remisa, este incumplió las condiciones establecidas en su contrato, utilizó hasta 1845 la vía seca que necesitaba gran cantidad de madera para los hornos, en este año puso en marcha el beneficio del mineral por cementación artificial, que solo consumía jara como combustible lo que supuso un gran alivio para el bosque, como consecuencia de todo ello se produjo una gran deforestación, emisiones de gases a la atmósfera, lluvia acida y vertidos al río (véase en el cuadro los valores para estos parámetros).

Durante la explotación de las minas por la Real Hacienda no se utilizó la vía seca, por lo que no hubo consumo de madera, se continuo con la cementación artificial que consumía jara, el bosque mejoró también debido a la reforestación realizada por la Real Hacienda, durante esta etapa continuaron las emisiones gases a la atmósfera la lluvia ácida que arrasaba las cosechas y los vertidos al río (véase el cuadro para esta etapa).

Tal como describe en un informe de 1854 el médico del establecimiento minero, las condiciones de insalubridad de Riotinto eran extremas debido a las inmundicias, el cementerio, las afecciones respiratorias debidas a los gases, las condiciones de hacinamiento de las viviendas, la lluvia ácida y la falta de higiene, pero podemos pensar como parte positiva, que nunca entró el cólera morbo y la peste negra, que en ocasiones asolaban otras poblaciones. ●

BIBLIOGRAFÍA

(1) EZQUERRA DEL BAYO (1851): "Observaciones sobre el estado y mejoras que admiten las labores de beneficio de Río-Tinto". Revista Minera, Tomo II. Madrid.

(2) GONZALO TARÍN, J. (1888): Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva. Madrid.

(3) ANÓNIMO (1852): "Caracteres particulares de los vapores que se desprenden en la calcinación de las piritas cobrizas de Río-Tinto, sus efectos en la vegetación y en la salud pública". Revista Minera, Tomo III. Madrid.

(4) GIL VARÓN (1988). Tesis Doctoral. Informe del médico del establecimiento de Riotinto de 1854, p. 796.

(5) CORTAZAR, D. (1888): La mina de Río Tinto y sus calcinaciones. Madrid.

(6) ALDANA, L. (1855): "Preservativo contra el cólera morbo". Revista Minera, Tomo VI. Madrid.

(7) ORTIZ MATEO, M. (2003) Tesis Doctoral, ETS de Ingenieros de Minas, Madrid. pp 401-418.

MINERÍA

1872-1882 DURÍSIMAS CONDICIONES DE TRABAJO MINERO EN EL TÚNEL FERROVIARIO DE SAN GOTARDO (SUIZA)

NURIA YAGÜES PÉREZ
Periodista

RESUMEN:

Nos ocupamos con algún detalle de algunos aspectos importantes del antiguo y notable túnel ferroviario de San Gotardo (Suiza), construido entre 1872 y 1882, en el que la ventilación durante la fase de construcción fue de extrema importancia.
Las dificultades contractuales y constructivas a las que tuvo que enfrentarse el contratista, Louis Favre, son parte muy destacada del trabajo minero en los antiguos túneles, ferroviario en el caso del túnel de San Gotardo.
Veremos las durísimas condiciones de vida y de trabajo de los miles de mineros que trabajaron en ese túnel, y de enfermedad laboral conocida como "anemia de los mineros", que agravó aún más esas condiciones de trabajo.

PALABRAS CLAVE:

túnel, Gotardo, Favre, anemia

ABSTRACT:

We study in some detail important aspects of the old and remarkable Gotthard railway tunnel (Switzerland), built between 1872 and 1882, where ventilation during the construction phase was extremely important.
The contractual and construction difficulties faced by the contractor, Louis Favre, are a very prominent part of mining work in old tunnels, railway tunnel in the case of the Gotthard.
We will examine the extremely harsh living and working conditions of the thousands of miners who worked in that tunnel, and the occupational disease known as "miners' anemia," which further aggravated these working conditions.

KEYWORDS:

tunnel, Gotthard, Favre, anemia

BREVE HISTORIA DE LA CONTRATACIÓN Y PLAZOS.

Como trabajo especialmente complicado y sacrificado en el mundo minero tunelero suele recordarse el de aquellos que, entre los años 1872 y 1882, construyeron el túnel ferroviario suizo de "San Gotardo" (**Figura 1**). El túnel atraviesa el Macizo de San Gotardo (Alpes Lepontinos), entre Göschenen (Cantón de Uri, a 1106 msnm) y Airolo (Cantón de Tesino, a 1142 msnm), Suiza:

- Longitud 15 km. En su momento fue el túnel más largo del Mundo.
- Túnel de doble vía; acho de vía de 1435 mm. Sección total de excavación 45,8 m^2.
- Construido entre el 1 de Octubre de 1872 y 1881. Se puso en servicio provisional el 1 de Enero de 1882, siendo inaugurado el 23 de Mayo de 1882.

El túnel forma parte de la de la Línea Ferroviaria Immensee (Cantón de Schwyz) a Chiasso (Cantón del Tesino) de 206 km. La estación de Immensee se considera el punto de partida de la línea principal del Ferrocarril de San Gotardo (en alemán "Gotthardbahn"; en italiano "Ferrovia del Gottardo"). El proyecto ferroviario de finales de Abril de 1865, examinado por las autoridades, con algunas modificaciones, estas firman el 15 de Septiembre de 1869 un "Acuerdo Internacional" (ratificado por Suiza en 1870 y por el Reich alemán e Italia en 1871). Según el mismo se preveía la construcción de la Línea Ferroviaria Immensee-Chiasso (ésta es el "Ferrocarril de San Gotardo"), así como de los ramales Zug-Goldau, Bellinzona-Dirinella y Bellinzona-Locarno, con una longitud total de 265 km, e importe de 187 millones de CHF. El 28,4% de dicho presupuesto era para el túnel de San Gotardo.

Entre las 8 ofertas que se presentaron el 18 de Mayo de 1872 (el anuncio de la licitación se había hecho tan sólo 1 mes antes) para la construcción del túnel a la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB (Compañía de Ferrocarriles de San Gotardo)", fundada el 6 de Diciembre de 1871, descartadas unas y retiradas otras, finalmente el adjudicatario sería la "Entreprise du Grand Tunnel du Gothard L. Favre & Cie" de Ginebra. Su oferta tenía una Baja del 21,0%. El Contrato, firmado el 7 de Agosto de 1872, estipulaba que la firma de Louis Favre (**Figura 2**) se comprometía a realizar las obras en 8 años, por un importe de 42 millones de CHF. Se fijó un bonus y penalización de 5000 CHF/día, que a partir del sexto mes ascendería a 10000 CHF/día. A su costa serán todas las instalaciones que estime necesarias; las que precisen para obtener la fuerza motriz, compresores, taladros, andamios, vías de servicio, talleres, almacenes, casas para los trabajadores, hospitales, etc., todos los imprevistos, etc. (ver más adelante el epígrafe *"Penosas condiciones de trabajo"*). Su oferta era extremadamente arriesgada.

CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL.

Los trabajos (**Figura 3**) comenzaron el 13 de Septiembre de 1872 por Airolo (Boca Sur) y el 24 de Octubre de ese mismo año Göschenen (Boca la Norte). Se iniciaron las labores en las galerías piloto (de 2,4·2,4 m), por ambas bocas, con perforación manual durante 2 años, con rendimientos entre 0,6 y 0,8 m/día, y con un avance total en ese tiempo de 308 m.

Figura 1. Situación del Túnel ferroviario de San Gotardo en los Alpes (Suiza).

Figura 2. Ingeniero suizo Louis Favre (1826-1879), constructor del túnel. (Bibliothèque de Gèneve, Suiza)[i]

Boca Sur (Airolo).

Boca Norte (Göschenen).

Figura 3. 1872- Inicio de los trabajos por las dos bocas del túnel. (Figuier, Louis. 1883?)[ii]

Figura 4. Boca Norte (Göschenen)- Instalaciones durante la construcción:
- En el centro de la imagen el edificio de compresores.
- El edificio de oficinas es el ubicado más cerca de la boca.
https://www.zdf.de/filme/gotthard/bilder/historische-bilderserie-100.html

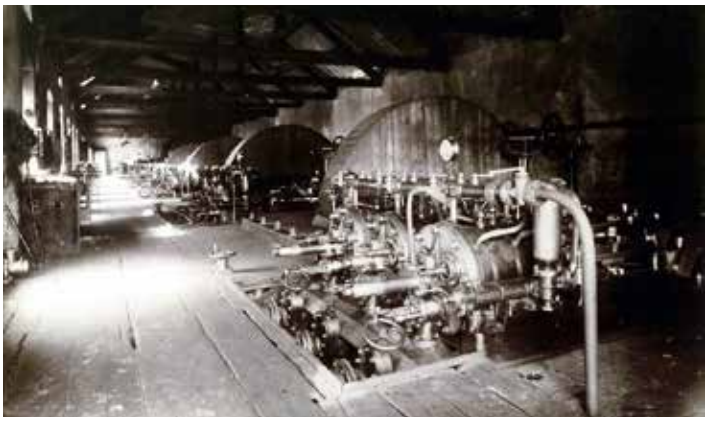


Figura 5. 1875 Boca Norte (Göschenen)- Interior del edificio de compresores. (AlpTransit San Gottardo SA)[iii]

Simultáneamente se prepararon las instalaciones necesarias en el exterior de ambas bocas (**Figura 4**), y, entre ellas, las importantes obras hidráulicas precisas para abastecer de agua a las instalaciones de compresores que producirían el aire comprimido para las perforadoras (**Figura 5**).

En la boca Sur se derivaron las aguas del río Tremola, que desciende con fuerte pendiente del lago Sella, a unos 4 km al Norte de Airolo, con un salto de 165 mca (16 atm), y caudal mínimo de 400 l/s para generar la suficiente energía. Y, posteriormente, realizando esa derivación a cota más alta, logra tener 180 mca (17,5 atm). Como quiera que en los años 1873 y 1874 ese caudal descendió con frecuencia a los 100 l/s, hubo de proceder a una nueva captación, ahora del río Tesino (en italiano Ticino), a unos 3 km aguas arriba del edificio de compresores de Airolo, obteniendo un salto de 90 mca (8,7 atm) cerca de los talleres. En la Norte se derivaron del río del Reuss. La energía que podían suministrar para producir el aire comprimido podía ser suficiente para las perforadoras (**Figura 6**), no así para lograr una correcta ventilación cuando la excavación avanzara cierta longitud. El aire comprimido estuvo disponible a mediados de 1873 (**Figura 7**). En la boca Norte el 4 de Abril de 1873; en la Sur el 1 de Julio de ese mismo año.

Louis Favre optó por el "Método Belga" de construcción, es decir, excavar la sección del túnel de arriba (galería piloto) hacia abajo (**Figura 8**). Con el aire comprimido los avances de la galería piloto (ahora con secciones variables entre 4,9 y 7,0 m^2) pasaron a ser muy superiores, con rendimientos de 3 m/día, y en terrenos favorables 4,0 m/día y hasta 5,0 m/día.

FALLECIMIENTO DE LOUIS FAVRE Y RUINA DE SU EMPRESA.

Como quiera que las estimaciones de costes que se habían realizado en 1869 eran demasiado bajas, en 1875 la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB" entró en crisis financiera, especialmente cuando la mala situación financiera del Ferrocarril de San Gotardo se hizo evidente en la primavera de 1876. Los costes (y únicamente nos referiremos a los

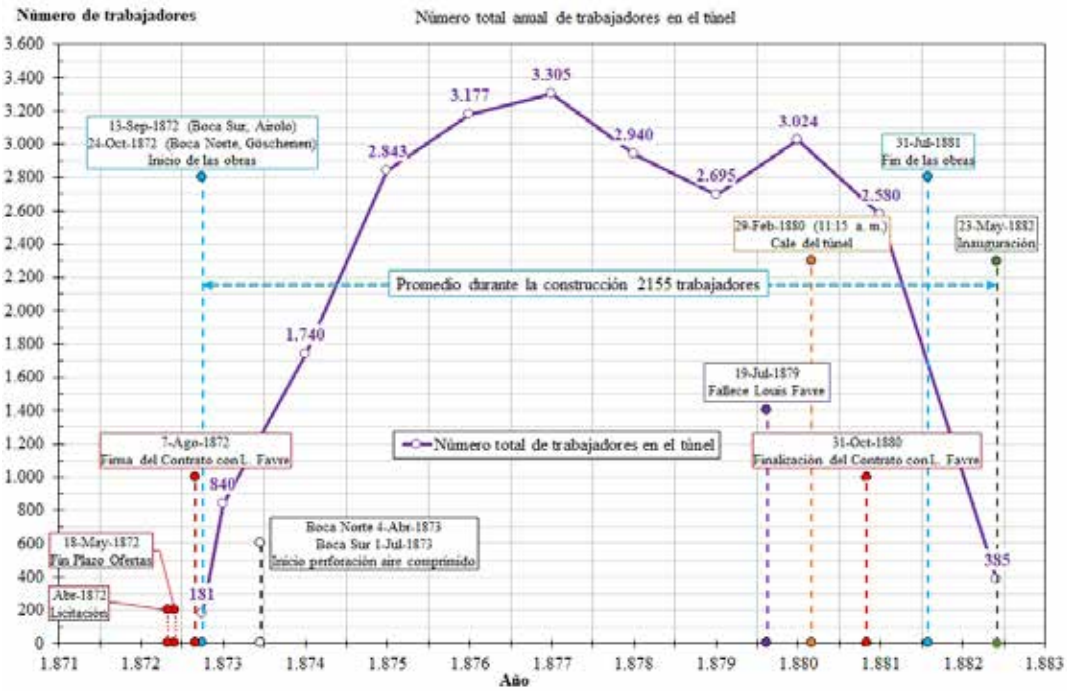


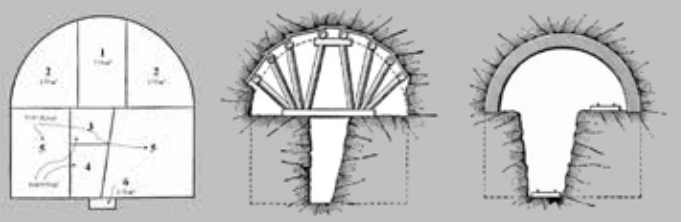
Figura 7. Número total anual de trabajadores en el túnel.
Fuentes: (Die Geschichte der Gotthardbahn)[iv], (Maffioletti, Ugo. Mayo de 1982)[v] y (Moro, Reto. 2004)[vi]

del túnel; también hubo importantes sobrecostes en las igualmente difíciles obras de la Línea que se estaba construyendo) eran mayores a los previstos debido a:

- Cálculos técnicos poco precisos o incorrectos. En túneles a gran profundidad y largos el conocimiento adecuado de la geología y geotecnia es muy difícil pues el coste de las investigaciones es muy elevado.
- Salarios y costes de materiales más elevados.
- Inundaciones en el túnel y en accesos, con importantes filtraciones. Especialmente las de la boca Airolo. La media entre 1874 y 1877 resultó de 233 l/s; la máxima de 348 l/s el 1 de Julio de 1875. Una vez perforado el túnel descendió a 173 l/s.
- Falta de experiencia en el macizo de granito/gneis y cuarcitas por el que discurre el túnel.
- etc.
- Además, y es importante, tal y como ya dijimos, el plazo para presentar las ofertas para la tan importante construcción fue de tan sólo un mes.

Como consecuencia de dicha crisis, las relaciones de Louis Favre con la dirección de la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB" empeoraron, y así continuó hasta el fallecimiento de éste en 1879, sufriendo el Contratista ingentes ataques y menosprecios. Del mismo modo, Alfred Escher (1819-1882) también en esos tiempos sería vilipendiado. El que fuera la figura más destacada -y controvertida- de la vida política y económica de la Suiza del siglo XIX cuyas contribuciones ayudaron a ese País a alcanzar una trayectoria ascendente insospechada, el verdadero "alma máter" de los ferrocarriles Suizos, y en particular del Ferrocarril de San Gotardo, Presidente entonces de la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB" sería apartado de su cargo y más o menos considerado "persona non grata". Alfred Escher no sería invitado a la inauguración del túnel en 1880: grave error histórico.

El trabajo resultó ser mucho más difícil de lo esperado. El Contrato firmado el 7 de Agosto de 1872 establecía un plazo final de las obras



"Método Belga" de excavación- Secuencia de excavación:
- Sección total de excavación 45,8 m2.
- Número total de taladros 30 a 43.
- El "Método" se modificaba si era necesario por el tipo de terreno atravesado.
En el "Método Belga" se require el encofrado inmediato de la bóveda para impeder el desplazamiento del macizo:
- Una vez excavada completamente la mitad superior del túnel, los albañiles construían la bóveda.
- Una vez completada la bóveda se procedía a la excavación de la mitad inferior del túnel.

Figura 8. (Prelini, Charles. 1912)[vii]

Figura 6. Perforadora Ferroux. (Figuier, Louis. 1883?)

Figura 9. 19 de Julio de 1879- Fallecimiento de Louis Favre por un aneurisma aórtico abdominal durante una de las visitas a las obras. (Bibliothèque de Gèneve, Suiza)

Figura 10. El 29 de Febrero de 1880 se "caló" el túnel. (Beaver, Patrick. 1972)[ix]

Tabla 1. 21 de Agosto de 1873: Programa de trabajos estimado por Louis Favre (Jung, Joseph. 2022)[viii]

AÑO	EJECUTADO (M)
1973-1974	1.800
1974-1975	1.900
1975-1976	2.100
1976-1977	2.200
1977-1978	2.300
1978-1979	2.400
1979-1980	1.580
Suma	14.280

el 31 de Octubre de 1880. Las obras se concluyeron el 31 de Julio de 1881. La inauguración fue el 23 de Mayo de 1882. El 21 de Agosto de 1873, prácticamente cuando se empezó a trabajar con la perforación con aire comprimido por ambas bocas (ver la **Figura 7**), Louis Favre había estimado que las obras concluirían en 1880 (**Tabla 1**). Nos permitimos sugerir al lector interesado en más aspectos de la relación epistolar entre Louis Favre y Alfred Escher en los años 1872 a 1878 la consulta de la referencia citada de Jung Joseph, con abundante información de los problemas relativos a la construcción.

Louis Favre puntualizaba que no podía dar plazos respecto al revestimiento pues dependía de las instrucciones que le diera el Comité de Dirección de la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB" (Presidente Alfred Escher), si bien, si las recibía a tiempo podría continuar la perforación y no se producirían retrasos. En principio, su compromiso era el de revestir un máximo de la tercera parte del túnel, aproximadamente 4973 m. Se necesitaron 10 años de muy penoso trabajo, los plazos no se pudieron cumplir. El coste del túnel aumentó el 58,7% respecto a lo ofertado por Louis Favre. La firma y familia Favre se arruinaron. La empresa cerraría el 9 de Septiembre de 1885. Louis Favre moriría el 19 de Julio de 1879 (**Figura 9**), antes de finalizar las obras.

A su muerte (según el Contrato, los herederos de Louis Favre asumirían sus derechos y obligaciones contractuales) las riendas de la empresa las tomó su hija, Marie Augustine Favre (1854-1912). En el interín siguen como responsables los Ingenieros Jefes de Obra Ernest von Stockalper (1838-1919) para el lado Norte (Göschenen), y Édouard Bossi (1829-1905) para el lado Sur (Airolo), así como el abogado Henri Louis Rambert (1839-1919) representando a la empresa en sus largas y enconadas batallas legales hasta su liquidación en 1885. Tras la toma de responsabilidades de Marie Augustine Favre, Édouard Bossi pasa a ser el Director General, siendo sustituido para el lado Sur (Airolo) por el Ingeniero Arthur Maury. Finalizadas las obras, y la familia arruinada, la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB" tuvo la deferencia en 1855 de conceder una pensión anual vitalicia de 10000 CHF a su hija Marie Augustine.

Como en otras realizaciones muy importantes, tenemos justificadas razones para impresionarnos por la maravillosa obra que hubo de realizarse. Hemos de señalar que el importante cúmulo de problemas que hemos ido viendo y que veremos durante la ejecución de las obras, han querido poner repetidas veces a sus constructores como únicos responsables y punto de mira de las iras de unos y otros, y nada más lejos de la realidad. Los problemas eran enormes para todos, y aquellos no podían arriesgar sus capitales en empresa semejante sin algunas garantías de su cobro. En el caso que nos ocupa, el riesgo de esa importante obra tunelera, con una geología muy incierta, se distribuyó de manera unilateral y, según los estándares actuales, injusta. El "Pliego de Condiciones Contractuales" estipulado en el Contrato era absolutamente favorable para la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB". Pensamos que una parte importante de los problemas que se generaron durante la construcción se debieron a las diferencias de criterios relativos a las partidas y cantidades que deberían o no abonarse por parte de la Propiedad ("Gotthardbahn-Gesellschaft, GB") a las Constructoras (fundamentalmente la "Entreprise du Grand Tunnel du Gothard L. Favre & Cie") y que inicialmente no estaban previstas. Pero no fue únicamente eso. También hay que tener en cuenta que los problemas de Favre se incrementaron por el retraso de los pagos mensuales que por Contrato tenían que ser abonados o los descuentos que imponía la propiedad por razones diversas, en muchos casos injustificadas.

Germania, Helvetia, Italia
Viribus unitis

En italiano: Ai lavoranti al traforo del Gottardo.
En alemán: Den Arbeitern am Gotthard tunnel. Marzo 1880

Figura 11. Marzo de 1880- Medalla a los trabajadores del túnel.

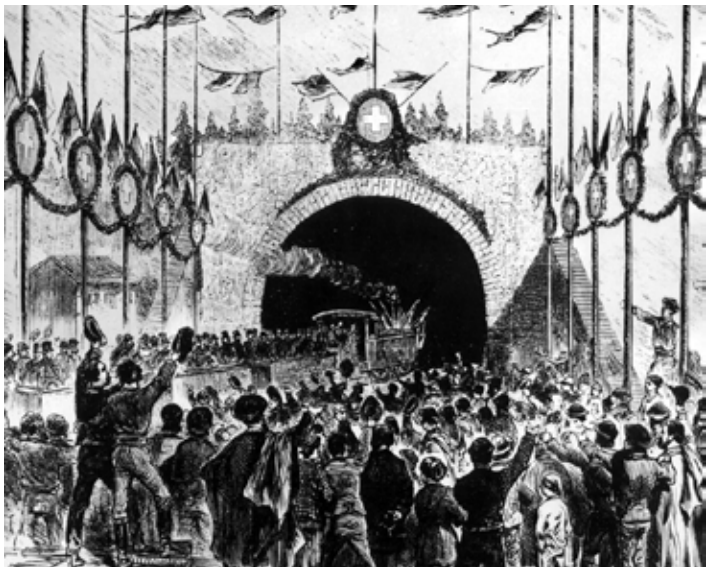


Figura 12. 23 de Mayo de 1882- Tren inaugural del "Ferrocarril de San Gotardo" (Línea Ferroviaria Immensee-Chiasso).

CALE DEL TÚNEL.

El 28 de Febrero de 1880, a las 6 h 25 min, un taladro de 8 m de longitud (realizado con la perforadora Mac Kean-Séguin) atravesó el macizo que aun separaba la Suiza de habla alemana (Norte, Göschenen) de la Suiza de habla italiana (Sur, Airolo). La última voladura, la del "cale" (**Figura 10**) del túnel se realizó al día siguiente, a las 11 h 30 min, el 29 de Febrero de 1880. La pega la dio Vercelli, minero que había trabajado en el túnel del Mont-Cenis, reservando el honor póstumo de pasar el primero a Luis Favre, que los trabajadores reconocerían pasando una lata con su fotografía (recordemos que había fallecido el 19 de Julio de 1879).

La alegría fue enorme. Desde la estación de Airolo se expandió la noticia por todo el mundo:

"Triunfo de nuestra época.

Nuestro siglo es grande por las realizaciones pacíficas debidas a la ciencia y al trabajo de los hombres[1]*".*

Se desescombró la última voladura, se empalmaron los carriles de ambos lados, y el 2 de Marzo de 1880 pasó el primer tren con algunos trabajadores que, desde Göschenen, iban a reunirse con los de Airolo donde fueron recibidos con entusiasmo para celebrar juntos la gran fiesta del cale. Se entregaron medallas conmemorativas (**Figura 11**) a más de 1000 trabajadores, siendo el primero en recibirla Vercelli, uno que había trabajado en el túnel del Mont-Cenis como ya dijimos. A la misma hora, en Airolo (Boca Sur) tuvo lugar la misma fiesta. Allí se entregaron 1300 medallas, a todos los trabajadores. De plata a los que habían trabajado durante más de tres años; de bronce a los que llevaban menos tiempo. El túnel largo se había perforado. Se habían superado enormes dificultades que permiten decir que la construcción del túnel constituyó uno de los logros técnicos más importantes de la época.

INAUGURACIÓN.

Completado el revestimiento del túnel de mampostería (espesores de 0,90 cm en bóveda, y de hasta 3,00 m en los estribos de las secciones más desfavorables) y las instalaciones se puso en servicio provisional el 1 de Enero de 1882. Una vez completados los numerosos puentes y túneles de la Línea Immensee-Chiasso (de la que, como ya hemos indicado, forma parte el túnel) se inauguró el 23 de Mayo de 1882 (**Figura 12**).

Los festejos duraron 4 días. El 1 de Julio se puso en servicio ordinario:

"Así como el riachuelo de la montaña crece y se convierte en el arroyo, que, a su vez, se convierte en el torrente, que, a su vez, se convierte en el río, avanzando, profundo y tranquilo hasta el mar, así lo ha hecho el camino angosto e intrincado por el cual el primer explorador aventurero encontró su camino sobre los Alpes, se convirtió, primero, en un sendero, luego en un camino de mulas, luego en un camino de carretas, luego en un camino de carruajes, y, finalmente, en la gran vía de comunicación ferroviaria, abriendo nuevas y maravillosas posibilidades de viajes y comercio para toda Europa Central2".

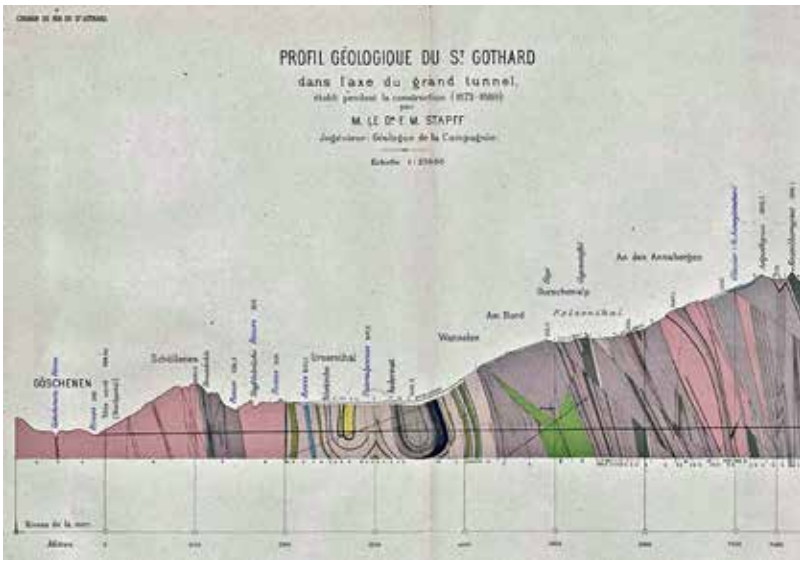
Más tarde, el 1 de Junio de 1897, se inaugura la Línea Lucerna-Immensee, de 19,20 km, conectando Lucerna con la línea del Gotardo (ver **Figura 1**).

CINCUENTENARIO 1882-1932. EL "DIE OPFER DER ARBEIT" DE VINCENZO VELA.

Con motivo de los 50 años de la inauguración del San Gotardo, en 1932, se rindió homenaje a las víctimas de las obras (ver más adelante el epígrafe *"Fallecidos"*) con la colocación en Airolo (Cantón del Tesino, Suiza) de un monumento con un impresionante bajorrelieve en bronce, obra del escultor suizo del Tesino, Vincenzo Vela (1820-1891). Nada mejor que la estupenda descripción del monumento que hacen F. Giannini y I. Baratta y que seguidamente reproducimos (**Figura 13**):

"Vela eligió un momento intenso, conmovedor, tremendamente trágico: el acarreo de un trabajador muerto, por cuatro de sus compañeros. El cuerpo está sobre una camilla y cubierto de la mejor manera posible, pero no lo suficiente como para evitar que veamos la cabeza

Figura 13. Monumento a las Víctimas del Trabajo ("Die Opfer der Arbeit"). Airolo (Boca Sur). Escultor: Vincenzo Vela (1820-1891) https://swiss.nailizakon.com/



tendida y el brazo derecho colgando en el vacío, como un objeto inanimado: el ojo del espectador se fija en ese detalle y ve la mano tosca del trabajador, marcada por el cansancio y los años de trabajo, convirtiéndose en sí misma en el símbolo más evidente del drama humano que viven los personajes y del que somos testigos.

Un drama que, además, universaliza el verismo de Vela, exagerado hasta rozar alturas casi expresionistas, sobre todo si observamos las anatomías de los obreros, sus espaldas encorvadas hasta lo inverosímil, sus miradas airadas y profundas, o la inquietante figura del encapuchado, casi una especie de oficiante lúgubre.

Entonces debemos imaginar la escena en la oscuridad de la noche. Un detalle que aumenta la sensación de tragedia: el encapuchado y el del fondo sostienen candiles para iluminar el camino de sus compañeros.

La misma figura del fondo también se representa con una pesada maza sujetada con la mano derecha y sobre su hombro: un símbolo evidente de lucha, una especie de reivindicación por parte del artista que era de una familia campesina, y, por lo tanto, provenía del proletariado.

La intención del artista era crear un monumento a los humildes, un monumento para consagrar una lucha política en un momento de la historia en el que, como recordaba el propio Vela, los monumentos estaban dedicados a los gobernantes no a los humildes trabajadores[3]*".*

El modelo de yeso lo había realizado entre 1880 y 1882, presentándolo en la "First Switzerland's National Exhibition", en Zurich, entre el 1 de Mayo y 3 el de Octubre 1883. Si bien el bajorrelieve había sido fundido en broce en 1893 para la "Galleria d'Arte Moderna" de Roma (actualmente la "GNAM, Galleria Nazionale d'Arte Moderna e Contempornea"), tardaría esos casi 40 años en replicarse en Airolo, instalándose en la Via della Stazione, a unos 80 m de la Estación del Ferrocarril, y a 350 m de la boca del túnel lado Airolo (Boca Sur).

Como ya hicieran otros en otras ocasiones recordando a los trabajadores de los ferrocarriles, vaya ahora también nuestro recuerdo, afecto y respeto a los de este importante túnel ferroviario de San Gotardo, *"hombres que no saldrá en los libros de Historia por supuesto"*. Ellos y otros muchos han sido, son y serán la fuerza que hace posible esas obras que admiramos.

CENTENARIO 1882-1982.

En Suiza se celebró el Centenario del túnel de San Gotardo en Mayo de 1982 con gran entusiasmo, con asistencia de más de 83 000 personas. Desde la estación de Wassen (ver su ubicación en la **Figura 1**), a unos 4,7 km al Norte de Göschenen los interesados, caminando 40 minutos, podían llegar a una zona en donde se les daban explicaciones de lo que había sido esa fabulosa obra, y desde ese lugar podían tomar un teleférico provisional para alcanzar un mirador y un centro de información, con un horario determinado para las explicaciones en los respectivos idiomas.

PENOSAS CONDICIONES DE TRABAJO.

El imprevisible cambiante y complicado terreno (**Figura 14**), los retrasos, los elevados costes en los que se iba incurriendo..., todo hizo que la empresa de Luis Favre forzara todo lo posible la marcha de los trabajos y la reducción de costes en todo aquello que fuera posible.

Para tal fin se contrataron miles de trabajadores, casi todos mineros (ver la **Figura 7**); el 94% eran del Norte de Italia, especialmente del Piamonte (75%) y Lombardía (12,5%). El 2% eran suizos. Se trabajaba las 24 horas del día, en 3 turnos, frecuente en obras tuneleras.

En aquella época, en casi todas las obras ferroviarias, el Estado dejaba a las empresas contratistas y constructoras la preocupación por el bienestar de los trabajadores (la 2ª "Ley Federal de Ferrocarriles" del 23 de Diciembre de 1872 trataba poco del bienestar, salud e higiene de los trabajadores). De esa forma, la "Disposición 3" del Contrato entre la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB" y la "Entreprise du Grand Tunnel du Gothard L. Favre & Cie" estipulaba:

"El Contratista está obligado a establecer en Göschenen y en Airolo hospitales bien organizados, provistos de médicos especialistas para darles la atención necesaria a los trabajadores enfermos o lesionados; también se requiere tener siempre disponibles ambulancias listas para operar.

Además, deberá prestar ayuda tanto a los heridos como a las familias de los fallecidos, de manera que no queden desamparados. A tales efectos, constituirá un fondo de enfermedad y un fondo de emergencias, sometiendo a la Dirección del San Gotardo la aprobación de los estatutos. En la administración del fondo de enfermedad y del fondo de emer-

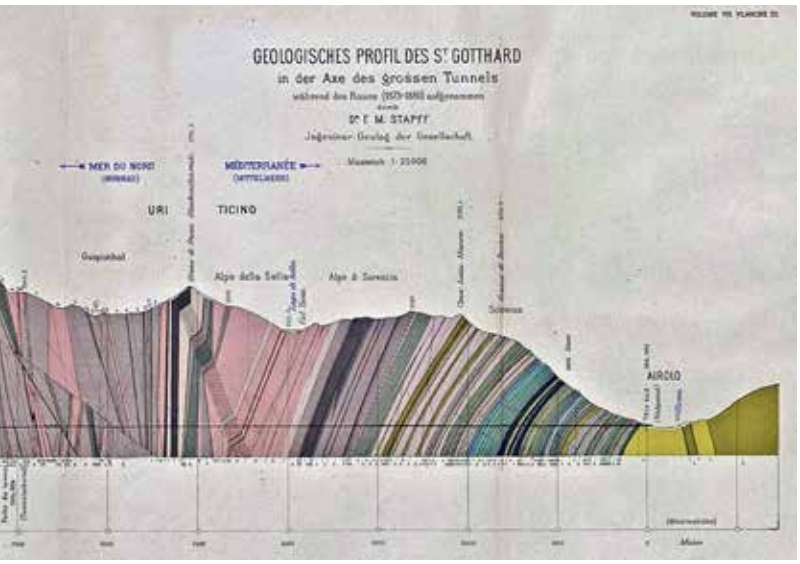


Figura 14. Perfil geológico. (Stapff, F.M. 1880)[x]

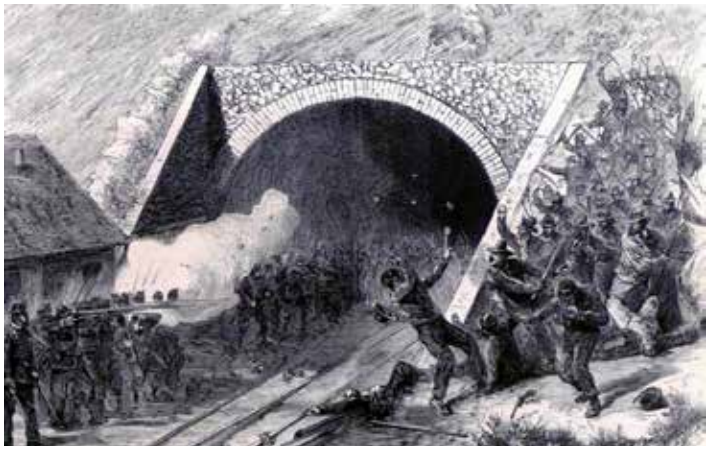


Figura 15. 27 y 28 de Julio de 1875- Las protestas de los trabajadores en Göschenen son reprimidas a tiros. (La Ilustración Española y Americana. 1875)[xi]

gencias, los trabajadores, el Contratista y la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB" estarán representados por igual número de representantes[4]".

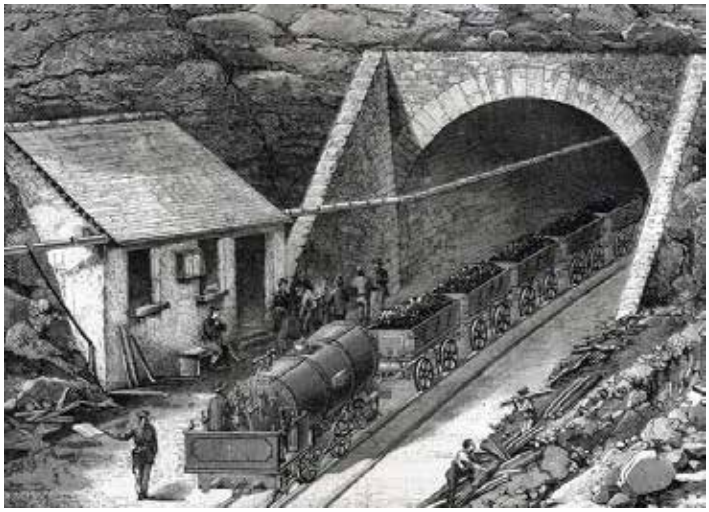
Las condiciones de vida e higiénicas no eran adecuadas en modo alguno; "catastróficas" según algunos autores, "terribles" según otros. La ventilación era manifiestamente insuficiente pues el aire comprimido tenía como prioridad el abastecer de energía a las perforadoras (además de los problemas que hubo por la falta de caudal en invierno del río en la boca Sur). Como se trabajaba en "fondo de saco" (antes de "calar" el túnel), según avanzaba la excavación la ventilación era más complicada.

Ante esa situación laboral los mineros del lado Norte (Göschenen, Cantón de Uri) se pusieron en huelga en Julio de 1875. La huelga sería brutalmente sofocada por un destacamento compuesto por gendarmes y civiles armados -convocadas por la dirección de obra- el 28 de Julio de ese año, con el balance de cinco trabajadores muertos, todos italianos: dos directamente a tiros (**Figura 15**), mientras que otros tres murieron en los días siguientes a causa de las heridas (Costantino Doselli, Giovanni Merlo, Salvatore Villa, Giovanni Gotta y Celestino Cosi), 12 heridos, 13 prisioneros, 100 perseguidos, y otros despedidos:

"Los fusilamientos de Göschenen no se perdieron en el túnel de San Gotardo, su sonido atravesó montañas y mares y resonó por todas partes donde los pobres luchan, sufren y mueren por los ricos[5]".

La pestilente atmósfera dentro del túnel era irrespirable. El aire era caliente y húmedo (en 1879 la humedad era mayoritariamente del 99,6%), con impurezas, con gases tóxicos de las voladuras y maquinaria (al día salían entre 12 y 15 trenes, con un total de 5 a 600 vagonetas, primero remolcadas por locomotoras de vapor, luego de aire comprimido, **Figura 16**), el sudor y los gases de las lámparas de los cientos de mineros (la media diaria de trabajadores durante toda la construcción fue de 2155, ver la **Figura 7**) aumentaban esa toxicidad y la temperatura del aire:

- La temperatura media anual en la galería osciló entre los 15,5 y 30,8 ºC.
- La máxima, de 34 ºC, en Febrero de 1880, en el lado Göschenen.
- La temperatura creció a medida que se profundizaba en la montaña, variando según la forma del perfil exterior y con el de las otras montañas que lo flanquean. El grado geotérmico era de 30,4 m (aumento de la profundidad para que la temperatura ascienda 1 ºC).



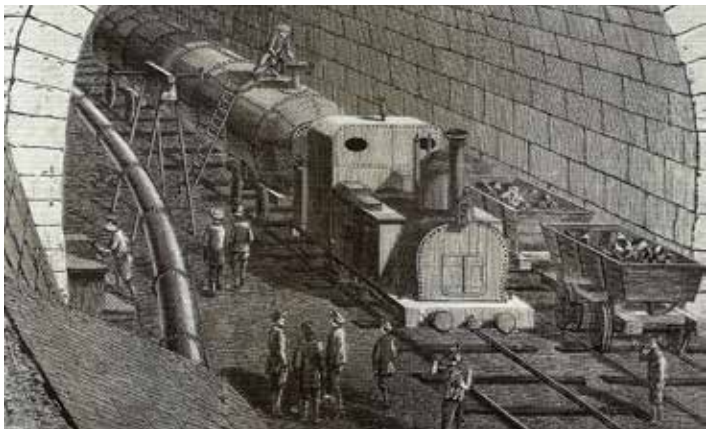


Figura 16. Arriba, locomotora de aire comprimido extrayendo escombros. (Guillemin, Amédée. 1881)[xii]. Abajo, hacia 1872/1874- Locomotora de aire comprimido parada en la boca del túnel.

Figura 17. Airolo (Boca Sur). (Harper's New Monthly Magazine. 1878)[xiii]

Figura 18. Minero italiano. (Harper's New Monthly Magazine. 1878)

El barrizal (había una lámina de agua de hasta 30 cm cubriendo el túnel) estaba mezclado con los excrementos y orines de los mineros y las caballerías (se emplearon de 30 a 40 caballos) en el túnel, etc. Esas condiciones tan lamentables se mantuvieron durante mucho tiempo. Con motivo de la construcción del túnel, las poblaciones de Airolo (lengua italiana, Cantón del Tesino, Boca Sur) y la de Göschenen (lengua alemana, Cantón de Uri, Boca Norte) aumentaron significativamente (**Figura 17**):

- Entre 1870 y 1880 el Municipio Airolo duplicó sus habitantes (censo de 1870, 1760 habitantes; censo de 1880 incluyendo a trabajadores y a no trabajadores del túnel, 3678 habitantes).
- El pueblo de Göschenen paso de poco más de 300 a 2992 habitantes. Según otras fuentes6, antes de comenzar las obras tenía 480 habitantes, llegando en 1880 a albergar hasta 2500 trabajadores extranjeros.

La firma de Louis Favre no se había ocupado de solucionar el asunto habitacional y de salud laboral para sus miles de trabajadores. Tanto en Airolo como en Göschenen, localidades pequeñas, los cientos de trabajadores tenían que resolver por sus propios medios el problema de la vivienda. Muchos de ellos vivieron acinados, en condiciones muy miserables, no era raro dormir en "camas calientes" de hasta para 3 trabajadores (según los turnos). Muchos parroquianos "hicieron su agosto" pues la demanda de vivienda era elevada y la oferta escasa. Un informe de 1875[7] señala:

"Tanto en Airolo como en Göschenen, hay un asunto que es completamente inaceptable y que requiere un remedio urgente y enérgico: es relativo a las necesidades más básicas de salud. Desde este punto de vista, no se ha hecho nada.

El alojamiento del considerable número de trabajadores está absolutamente en las manos de la especulación. La miseria que reina en los barrios destinados a ellos excede cualquier cosa que uno pueda imaginar.

Las camas se amontonan en pequeños cuartos sin ventilación, y estas camas son miserables colchones [sacos de paja], medio podridos. La mayor parte de las veces estos cuartos se subarriendan durante un mes a contratistas [subcontratistas] que acomodan en ellos al mayor número posible de trabajadores, frecuentemente a 3 por cama, y estos trabajadores lo usan alternativamente. Cada uno de ellos paga 50 centavos por 8 horas, mientras que toda la habitación cuesta entre 20 y 50 francos al mes.

La falta de aire en estas habitaciones, ocupadas por demasiado número de personas, donde se cocina y donde las lámparas arden toda la noche esparciendo un olor fétido, la ausencia de la limpieza más elemental, la carencia absoluta de la organización en ofrecer lugares de descanso, etc., son otras tantas circunstancias que, desde cualquier punto de vista hacen de estos alojamientos básicamente insalubres. ¡ Si ocurriera una epidemia, las consecuencias serían terribles !.

Tanto en Göschenen como en Airolo, en las calles laterales, la inmundicia se acumula de manera repugnante, sin preocuparse lo más mínimo por quitarla.

De los 1642 trabajadores que trabajan en Göschenen, solo 208, la mayoría con sus familias, se alojan en establecimientos de la Empresa de Louis Favre. En Airolo, de 1021 trabajadores, 150, también la mayoría con sus familias".

FALLECIDOS.

En el San Gotardo.

En la construcción de todo el ferrocarril (ver la **Figura 1**) se empelaron unos 20 000 trabajadores, perdiendo la vida 290, y 877 resultaron heridos de diversa consideración. Casi todos eran italianos. En las obras del túnel (ver la **Figura 7**) hubo 199 fallecidos, y 454 resultaron heridos, prácticamente todos eran italianos (**Figura 18**). También, como ya hemos apuntado, el propio Louis Favre, fallecido el 15 de Julio de 1879. Los fallecidos principalmente lo fueron por los siguientes tipos de accidentes:

- El 31% de los fallecidos debido a las locomotoras y vagonetas que se desplazaban por el túnel, con atropellos y caídas de dichas vagonetas en las rampas cuando se trabajaba en bancos a diferentes alturas (galería piloto y destroza).
- El 28,5% por desprendimientos del techo y derrumbes.
- El 27% por explosiones de la dinamita en el túnel y en los polvorines, **Figura 19**. Era la primera vez que se empleaba dinamita a gran escala; había sido patentada en 1867 por Alfred Nobel.

Respecto al número de fallecidos, en el túnel de San Gotardo se superó con mucho el de otros túneles comparables. Expresados en muertos/km son8: San Gotardo 13,3; Simplón 2,6: Albula: 2,7: Mont-Cenis 6,2 y Lötschberg 7,7:

Túnel ferroviario del Simplon (Suiza-Italia):
- Longitud 19,803/19,823 km. Formado por 2 tubos.
- Comienzo de las obras en 1898, inaugurado el 19 de Mayo de 1906.

Túnel ferroviario de Albula (Suiza):
- Longitud 5,865 km.
- Realización de las obras entre 1898 y 1903, inaugurado en Julio de 1904.

Túnel ferroviario de Lötschberg (Suiza):
- Longitud 14,612 km. El túnel es de doble vía y de un solo tubo.
- Comienzo de las obras en 1907, inaugurado el 15 Julio de 1913.

Si bien las comparaciones respecto al número de heridos con otros túneles de la época pueden llevar a confusión debido a que en algunos se consideran también los accidentes menores, no es el caso del de San Gotardo, en cuyos datos de accidentes con heridos no se contabilizan los menores. La cifra de fallecidos puede estar muy minorada si se consideran, como veremos más adelante, las defunciones por la "anemia de los mineros". Durante años de la construcción del túnel de San Gotardo hubo una manifiesta dejación de funciones respecto a la salud y seguridad por parte de la firma de Louis Favre, de la "Gotthardbahn-Gesellschaft, GB", de las autoridades cantonales (Uri y Tesino), así como del gobierno federal. Como quiera que el túnel de San Gotardo se construyó entre los años 1872 y 1882, parece que el importante texto de 1845[9] de Friedrich Engels (1820-1895) "no caló" en los que casi 30 años después se enfrentaron a la construcción del túnel de San Gotardo.

En otros túneles importantes.

Un siglo después, a finales de 1980, se abrió al tráfico el otro túnel de San Gotardo, el carretero (ver la **Figura 1**), de cerca de 17 km de largo, habiendo empleado 10 años para su construcción. El número de víctimas fue de 19, casi todos fueron italianos, pero también hubo un Español: Manuel Álvarez Rubiero de 24 años, fallecido el 25 de Mayo de 1974. El año mortífero resultó 1976 en el que se terminó con la perforación del túnel, con 6 víctimas, 4 de ellas en un mismo accidente.

En el Túnel Ferroviario Base de San Gotardo ("Gotthard Base Tunnel, GBT"), de 57 km, inaugurado en el año 2016 (comenzó el 4 de Noviembre de 1999, la perforación concluyó el 15 de Octubre de 2010 y fue inaugurado el 1 de Junio de 2016) fallecieron 9 trabajadores.

El riesgo de los trabajos en la construcción de túneles queda de manifiesto por las cifras medias de víctimas (**Tabla 2**). A mediados del siglo pasado -y se mantuvo durante un tiempo importante- se consideraba que podría producirse un fallecimiento por kilómetro de túnel perforado pese a todas las medidas de seguridad que se adoptaban en su momento.

El fuerte descenso de los accidentes mortales se debe principalmente a que en casi 150 años las condiciones de trabajo han mejorado considerablemente. La salud y seguridad laboral ha progresado enormemente, la cultura de las administraciones y de las empresas es muy diferente a la de entonces, la sociedad en su conjunto tiene unas exigencias muy fuertes respecto a la salud y accidentes laborales, etc.

LA "ANEMIA DE SAN GOTARDO".

La falta de instalaciones sanitarias (wáteres, duchas y lavabos) que eviten que las heces de los cientos de trabajadores contaminen el suelo embarrado y las aguas del túnel, los excrementos de las caballerías que tiraban de las vagonetas de extracción del escombro, las altas temperaturas en el túnel, así como la elevada humedad debido a las filtraciones, propiciaron la grave epidemia de 1879/1880 entre los trabajadores del túnel, enfermedad que ahora se conoce como "anemia de los mineros", "anemia de San Gotardo", el *Ancylostoma duodenale*, gusano parásito del intestino.

El *Ancylostoma duodenale* es un gusano redondo intestinal, de cuerpo corto y macizo, entre 8 y 20 mm de longitud y 0,4 a 0,8 mm de diámetro. Tienen una boca con dientes afilados o placas que les permiten anclarse a la mucosa intestinal del hospedador. El "Ciclo vital del *Ancylostoma duodenale*" y el proceso de contraer la enfermedad está muy estudiado, consistiendo en líneas generales en[10 11]:

Figura 19. Finales de 1872 Boca Norte (Göschenen)- Vista exterior del túnel ya abovedado. Se observa una construcción, lo que hay llamaríamos un minipolvorín ("minipol"), en la parte superior derecha. (Die Geschichte der Gotthardbahn)

Tabla 2. Tasas aproximadas de mortalidad en túneles. (Romana Ruíz, Manuel. 2002)[xiv]

AÑOS	MUERTOS/KM
1870-1900	4 a 12
1950-1965	1 a 1,5
1965-1980	0,35
1985-1995	0,05

1.- Los huevos se eliminan en las heces.

2.- En condiciones favorables (humedad, temperatura, oscuridad), las larvas eclosionan en 1 a 2 días. Esas larvas liberadas rabditiformes crecen en las heces y/o en el suelo.

3.- Después de 5 a 10 días se convierten en larvas filariformes que son infecciosas.

4.- Esas larvas infecciosas pueden sobrevivir de 3 a 4 semanas en condiciones ambientales favorables. Al entrar en contacto con el huésped humano, las larvas penetran en la piel (generalmente por los dedos de los pies, por las piernas o por las nalgas, y, también, probablemente por vía oral y transmamaria) y son transportadas a través de los vasos sanguíneos hasta el corazón y luego hasta los pulmones. Penetran en los alvéolos pulmonares, ascienden por el árbol bronquial hasta la faringe y se tragan.

5.- Las larvas alcanzan el intestino delgado, donde residen y maduran hasta convertirse en adultos. Se adhieren a la pared intestinal (generalmente en la pate media del intestino delgado, esto es, en el yeyuno distal) con la consiguiente pérdida de sangre por parte del huésped infectado. La mayoría de los gusanos adultos se eliminan en 1 o 2 años, no obstante, la longevidad puede alcanzar varios años, siendo capaces de reactivarse y ocasionar infecciones intestinales.

Puede haber hasta 3000 larvas en una sola persona, que alojadas en el intestino delgado producen la "anemia de los mineros", ocasionada por las múltiples pequeñas heridas por las que mana sangre causadas por boca cortante del parásito.

Hubo cientos de enfermos (únicamente hay estimaciones aproximadas; en los primeros años de la construcción no se investigaban ni los accidentes ni las muertes), muchos de ellos, después de tres o cuatro meses, al no poder seguir trabajando por la anemia, volvieron a sus casas. Un número no determinado empeoraron y murieron o quedaron incapacitados[12].

En la "Gazzetta Piemontese[13]" de 1880 podía leerse:

"Entre los trabajadores del Gotardo se ha manifestado una enfermedad especial.

Tienes que ver a estos enfermos. Están demacrados, tienen la tez amarillenta, las facciones secas, los labios blancos, los ojos medio sin vida. Caminan de tal forma que es fácil comprender que les cueste soportar el peso del cuerpo sobre sus piernas. Algunos incluso parecen cadáveres ambulantes.

Cuando los equipos salen del túnel es un triste espectáculo. Esos hombres tienen caras irreconocibles, ojos desorbitados, ya casi no hablan o hablan con dificultad y desgana; apenas entienden lo que se les dice. ¡ Pareciera que las diez u once horas que pasaron en el túnel los privaron del uso de la razón, de la conciencia de la vida !.

Los trabajadores cuya existencia se ve socavada son en su mayoría jóvenes de entre 16 y 25 años, porque los que no son jóvenes no resisten el trabajo en los túneles, que requiere toda la fuerza que se puede encontrar en un cuerpo humano. Por robusto que sea, se amenaza a cualquiera que haya trabajado en el túnel durante más de tres o cuatro meses, se condena a cualquiera que haya trabajado allí durante algunos años.

Lo que despertó toda mi indignación, y que es severamente reprobado por todos los expertos, fue la vista de jóvenes de 14 a 16 años empleados en ese trabajo. Cuando todavía no han desarrollado completamente sus cuerpos, cuando su inteligencia apenas comienza a abrirse a los entendimientos más importantes de la vida, son conducidos a una atmósfera pestilente para hacer trabajos penosos. Oh, para esos miserables se pueden repetir verdaderamente las palabras que Dante colocó en lo alto de la puerta del infierno:

"Lasciate ogni speranza, voi ch'entrate" (Abandonar toda esperanza los que aquí entréis).

El túnel de San Gotardo es su infierno. Entran para salir de sus vidas al poco tiempo.

Las proporciones en que se ha desarrollado la enfermedad entre los trabajadores de San Gotardo son espantosas. Personas competentes aportan las siguientes cifras:

- Entre el 70 y el 80% de los trabajadores han sido afectados.

- El 30% son casos graves.

Esto es para el trabajador promedio. Si sólo consideramos a los trabajadores antiguos, es decir, a los que han trabajado unos años en el túnel, la proporción es del 95%. ¡Es horrible!".

NOTAS

1 **Yániz Ruiz, Juan Pedro. 1994.** *El ferrocarril, el juguete más querido por los suizos.* Revista Historia y Vida. Nº 317. Agosto de 1994.

2 **George Lynde, Catlin (1840-1896).** *The St. Gothard Railway.* Editor: Art Institute Orell Fussli (Zurich, Suiza). 1893.

3 **Giannini, Federico; Baratta, Ilaria.** *Vincenzo Vela's Victims of Labor, a powerful and moving memorial to those who died at work.* Periódico: Finestre sull'Arte (Massa, Italia). 28 de Julio de 2018.
https://www.finestresullarte.info/

4 **AlpTransit San Gottardo SA.** *Agreement on the construction of the great Gotthard tunnel.*
https://www.alptransit-portal.ch/it/

5 **Pyat, Felix (1810-1889).** *Aux ouvriers suisses (Londres, 10 de Agosto de 1875).* Periódico Tagwacht de Zúrich (Suiza), nº 68 (páginas 1 y 2). 8 de Septiembre de 1875.

6 **Hofman, Edwin [médico de Weggis (Cantón de Lucerna) y en Erstfeld (Cantçon de Uri), Suiza].** *Medizingeschichtliche Beiträge zur Baugeschichte der Gotthardbahn (Contribuciones a la Historia Médica de la Historia de la construcción del Ferrocarril del Gotardo).* Tesis para obtener el titulo de Doctor en Medicina por la Universidad de Berna (Suiza). 13 de Julio de 1949.
https://www.alptransit-portal.ch/it/

7 **Hold, Hans (Comisionado; miembro del Consejo de Estado de Suiza).** *Rapport de M. le Commissaire fédéral Hold sur les troubles qui ont eu lieu à Gœschenen le 27 et le 28 juillet 1875.* Feuille Fédérale Suisse, año XXVII, volumen IV, nº 51. Miércoles, 17 de Noviembre de 1875. Fecha del Informe 16 de Octubre de 1875.
https://www.alptransit-portal.ch/it/

8 **Kuoni, Konrad.** *Der Bau des Gotthard-Eisenbahntunnels (1872-1881).* Fundación de Georg Fischer AG. Revista Ferrum: Nachrichten aus der Eisenbibliothek (Schlatt, Suiza), nº 80 (páginas 99 a 112). Junio de 2008. https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=fer-002%3A2008%3A80#115

9 **Engels, Friedrich.** *Escrito entre Septiembre de 1844 y Marzo de 1845. Versión alemana: "Die Lage der arbeitenden Klasse in England". Publicada en Leipzig (Alemania). 1845. Versión inglesa: "The Condition of the Working Class in England". Traducción de Florence Kelley. Publicada en Nueva York en 1887 y en Londres en 1891. Versión española: "La Situación de la Clase Obrera en Inglaterra". MIA, Marxists Internet Archive, Sección en Español. https://www.marxists.org/espanol/m-e/index.htm*

10 **Llerena, Carlos A.** *Las enfermedades de los mineros.* Revista de Informaciones Sociales. 1938.
https://repositorio.essalud.gob.pe/handle/20.500.12959/1048

11 **Pawlowski, Z.S.; Schad, G.A.; Stott, G.J.** *Infestation et anémie ankylostomiennes: méthodologie de la lutte.* Organización Mundial de la Salud (OMS). Ginebra, Suiza. 1993.

12 **Peduzzi, Raffaele.** *L'anemia del Gottardo, memoria storica. Alp-Transit e la storia dell'anemia del San Gottardo del primo traforo.*
https://www.legapolmonare.ch/fileadmin/user_upload/KLL/ticino/Kopfbilder_Highres/S3-2015__L_anemia_del_Gottardo_memoria_storica.pdf

13 **Gazzetta Piemontese.** *Al Gottardo !.* Gazzetta Piemontese (Turín, Italia), año XIV, nº 64. 4 de Marzo de 1880.
https://www.comunelimonepiemonte.it/informazioni.php?id=258

14 **Perroncito, Edoardo Bellarmino.** *Sur l'anchylostomiase; Note de MM. L. Concato et E. Perroncito.* Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences (Paris, Francia) (Tomo 90, Enero-Junio de 1880, páginas 619 y 620). Editor: Gauthier-Villars (Paris). 15 de Marzo de 1880.

15 **Perroncito, Edoardo Bellarmino.** *Observations helminthologiques et recherches expérimentales sur la maladie des ouvriers du Saint-Gothard.* Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Recueil de Médecine Vétérinaire (Paris, Francia). Serie 6, tomo VII, nº 18 (páginas 913 a 921). 30 de Septiembre de 1880.

El trabajo de 1949 de Edwin Hofman estima entre 500 y 800 el número de trabajadores afectados por esta enfermedad.

La enfermedad fue investigada y descubierta su etiología precisamente tras los estudios de los que enfermaban en el túnel de San Gotardo, siendo los trabajos[14] [15] de 1879 de E. Perroncito (1847-1936) los que establecieron la patogenicidad de los anquilostomas, suponiendo un notabilísimo avance de la ciencia médica, y siendo la primera vez que se distingue entre accidentes de trabajo y enfermedades profesionales.

CONCLUSIONES.

Han pasado casi 150 años en los que muchas cosas han cambiado, muchísimas han mejorado. Podemos preguntarnos si son suficientes o si aún hoy día podemos repetir alguno de los acontecimientos de los que nos hemos ocupado en anteriores páginas. No hay que olvidar que en la construcción de un túnel puede haber simultáneamente varias decenas de trabajadores ocupándose de diversos cometidos, variando su número según progrese su construcción, y en jornadas de trabajo prolongadas.

En muchos túneles actuales durante su construcción sigue habiendo un barrizal que no debería haber. Sabemos que no se puede pretender tener un túnel durante su construcción con una superficie impoluta pues las aguas de filtraciones, sumada al paso de maquinaria pesada de ruedas o cadenas (jumbos, camiones, palas excavadoras, rozadoras, vehículos ligeros, etc.) deterioran irremediablemente su superficie. Siempre se han de emplear botas de agua. Ahora bien, esas aguas de filtración se deben canalizar debidamente durante la construcción para que no afecten a toda la superficie. El coste es poco y su mantenimiento sencillo. Caminar por el túnel con las botas de agua no debe suponer esfuerzo alguno.

Parece también obvio que hoy día han de instalarse sanitarios dentro del túnel para que los trabajadores puedan realizar sus necesidades fisiológicas, especialmente cuando la excavación progrese y la distancia a las bocas aumente. Se ha observado que en algunos túneles no existen y los trabajadores han de evacuar dónde logren cierta intimidad.

Vistas las experiencias de nuestros ancestros, "Los Tuneleros", debemos incorporar ese saber y no tropezar en la misma piedra. Implementemos las medidas de seguridad y salud que hagan ese trabajo en los túneles digno, con seguridad e higiene, todo ello para favorecer el avanzar y salir en ese viaje a través de la historia geológica que entrañan las rocas, y poder ver la luz de la otra realidad que nos espera al otro lado del túnel; y no sufrir, enfermar o morir en ese intento. ●

REFERENCIAS

i **Bibliothèque de Gèneve, Suiza.** *Louis Favre: architecte, entrepreneur, ingénieur civil (travaux publics).* https://bge-geneve.ch/iconographie/collections

ii **Figuier, Louis.** *Les nouvelles conquêtes de la science: Grands Tunnels et Railways Métropolitains.* Editor: E. Girard & A. Boitte (Paris, Francia). 1883?.

iii **AlpTransit San Gottardo SA.** *Inaugurazione della galleria di valico del San Gottardo, 21 de Mayo de 1882.* https://www.alptransit-portal.ch/it/

iv *Die Geschichte der Gotthardbahn (La historia del Ferrocarril de San Gotardo). Der Bau des grossen Tunnels (La construcción del Gran Túnel).*

http://www.gotthardbahn.ch/2_geschichte/kap04/kap04-1.htm

v **Maffioletti, Ugo.** *Momenti di vita ad Airolo nel decennio 1872-1882.* Rivista Scuola ticinese. Bellinzona (Cantón del Tesino, Suiza), nº 98 (páginas 21 a 27). Mayo de 1982.

vi **Moro, Reto.** *Ausbau der Bahn- und Strasseninfrastruktur am Gotthard von 1850 bis 2004: Hoffnungen, Befürchtungen und Auswirkungen im Kanton Uri (páginas 88 y 293).* Instituto Geográfico, Departamento de Geografía Económica, Universidad de Zúrich (Suiza). 2004.

vii **Prelini, Charles.** *Tunneling; a practical treatise.* D. Van Nostrand Company, Nueva York (EE. UU.). Sexta edición. 1912.

viii **Jung, Joseph.** *Louis Favre an Alfred Escher, Altdorf (UR), Donnerstag, 21. August 1873.* Corrige un error en la carta: *Louis Favre an Alfred Escher, Altdorf (UR), Freitag, 12. September 1873.* Digitale Briefedition Alfred Escher. Korrespondenz: Alfred Escher-Louis Favre (1872-1878). Zurich (Suiza). Enero de 2022.

https://briefedition.alfred-escher.ch

ix **Beaver, Patrick.** *A History of Tunnels. [14.- Some Mayor Twentieth-century Tunnelling Achievements].* Peter Davies. Londres. 1972.

x **Stapff, F.M.** *Profil gêologique du S^{T} Gothard dans laxe du grand tunnel établi pendant la construction (1873-1880). Berna, Suiza. 1880.*

https://www.alptransit-portal.ch/it/

xi **La Ilustración Española y Americana.** Madrid (España). Año XIX, nº 34 (páginas 163 y 165). 15 de Septiembre de 1875.

xii **Guillemin, Amédée (1826-1893).** *Le Monde Physique.* Editor: Hachette et Cie. (Paris, Francia). 1881.

xiii **Harper's New Monthly Magazine.** *The St. Gothard Tunnel.* Volumen 57, nº 341 (páginas 654 a 663). Octubre de 1878.

xiv **Romana Ruíz, Manuel.** *Tasas de mortalidad por accidentes de trabajo en la construcción de túneles.* Revista de Obras Públicas. Nº 3423 (páginas 7 a 16). Revista de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. Julio/Agosto de 2002.

http://historico.revistadeobraspublicas.com/

MINERÍA

DRENAJE DE TALUDES

EN EXPLOTACIONES DE LIGNITO NEGRO A CIELO ABIERTO

MODESTO ÚBEDA RIVERA
Ingeniero Técnico de Minas
Técnico Superior de Prevención de Riesgos Laborales
Maestro de Primera Enseñanza

RESUMEN

Las actividades mineras se encuentran estrechamente ligadas al agua y, por muchos motivos, ésta suele llegar a ser un problema. El agua juega un papel crucial en la mayoría de las operaciones mineras. Cada mina es única de acuerdo a su geología, clima, etc. Estas características realzan los retos, donde las soluciones técnicas que funcionan para unas minas no necesariamente funcionan para otras. El punto de partida indispensable en cualquier proyecto minero lo constituye un estudio hidrológico e hidrogeológico.

PALABRAS CLAVE:

Minería de transferencia, capas explotadas, acuífero, flujo, flanco, berma, drenaje, escorrentía.

ABSTRACT

Mining activities are closely linked to water and, for many reasons, it is often a problem. Water plays a crucial role in most mining operations. Each mine is unique according to its geology, climate, etc. These characteristics highlight the challenges, where technical solutions that work for some mines do not necessarily work for others. The indispensable starting point in any mining project is a hydrological and hidrogeological study.

KEYWORDS:

Transfer mining, exploited players, aquifer, flow, frank, berm, drainage, runoff.

GENERALIDADES

La Corta a Cielo Abierto "A", explotada entre 1981-1991 de 127 ha de extensión, la "B" explotada entre 1986-2002 y, "B. Oeste" explotada entre 2007-2009 con una extensión total de 329 ha. Situadas en el Val de Ariño (el Val de Ariño se extiende desde la vertiente meridional de la Sierra de Arcos al Cerro Gorrinero, siendo el límite occidental, el rio Escuriza y el oriental los Cerros de Andorra), aprovecharon un yacimiento de lignito negro del Albiense mediante el sistema de "minería de transferencia", en paneles sucesivos de 150 m de altura. Esta formación Albiense tuvo lugar en un medio sedimentario fluvial que determinó la naturaleza de los terrenos constituidos fundamentalmente por arcillas, arenas, arcillas arenosas alternantes con areniscas, argilitas, limolitas y limos.

Las explotaciones se localizaban en el flanco N de un sinclinal de dirección NW-SE, con un buzamiento medio de las capas de 25-30º. El talud N, estaba definido, a priori, por el muro de la última capa explotable; no presentaba problema de estabilidad en tanto en cuanto no fuera descalzada la estratificación.

Las capas aflorantes se denominaban, de techo a muro, N, O, P, Q, R y S.

En la Corta "A" se explotó la capa N con tres niveles carbonosos y la O con nueve niveles, Figura nº 1; de esta Corta se extrajeron más de 6,5 millones de t. En 1981 su año de inicio, dio una producción de 476.622 t y su máxima producción fue de 996.841 t en 1984.

En la Corta "B" se explotaron la O, P, R. La capa O con tres niveles, la P con seis niveles y la R que tenía el carbón de mejor calidad. En esta Corta se extrajeron cerca de 7,7 millones de t. Dio una producción de inicio en el 1986 de 123.254 t, siendo su máxima producción 600.247 t en el 1992.

Es importante decir que además de toda la maquinaria pesada utilizada y su equipo técnico, hubo que tener muy en cuenta al equipo de ingeniería relacionado con la hidráulica, climatología, hidrología, hidrogeología, y con la geotecnia, estudiando la mejora de la estabilidad de los taludes.

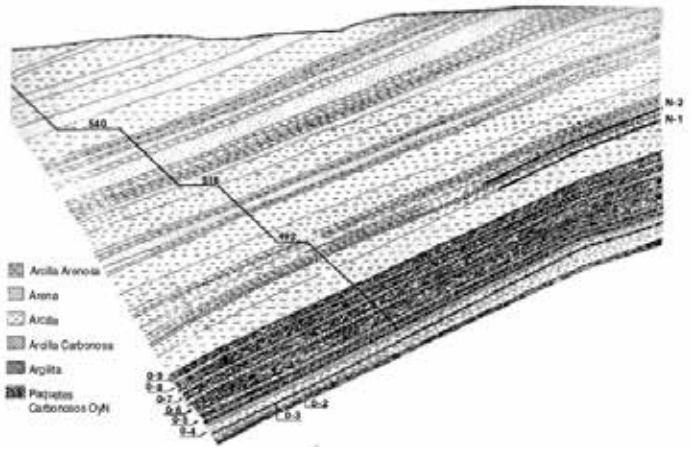


Figura nº 1

PUNTO DE VISTA HIDROGEOLÓGICO

Bajo este punto de vista, los lignitos y las arcillas tienen carácter acuicludos (capaz de almacenar agua pero no de transmitirla), mientras que las arenas constituyen acuíferos confinados (el agua está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación que lo contiene, saturándola totalmente) de baja permeabilidad. La alimentación de los niveles acuíferos se producía a partir del agua de lluvia que se infiltraba a través del afloramiento mientras que la descarga se efectuaba a los ríos Martín y Escuriza. La piezometría original oscilaba entre las cotas 580 y 560, siendo la dirección del flujo hacia SW. La permeabilidad estimada de las arenas era del orden de 0,15 m/día.

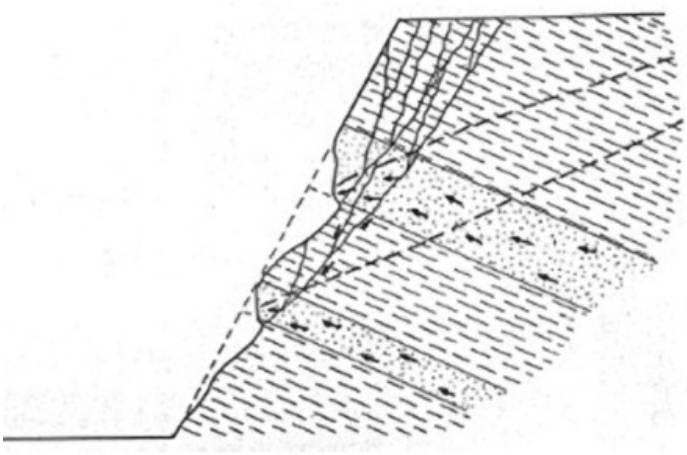


Figura nº 2 A. Efecto de socavación el agua en el talud

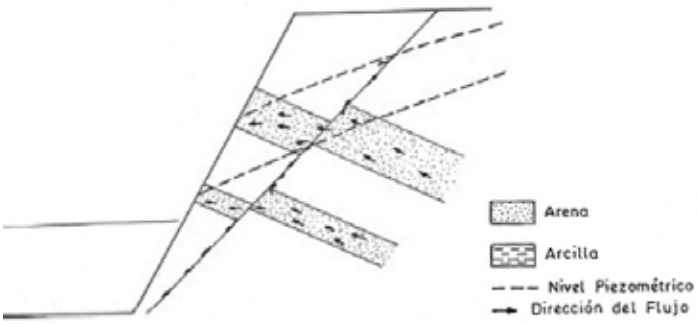


Figura nº 2 B. Empuje lateral del agua

Los taludes se veían afectados, tanto por el agua de escorrentía que producían las lluvias, como por el agua subterránea almacenada en los niveles de arena.

El agua de lluvia que caía en la zona de explotación también ejercía una acción negativa en la estabilidad de los taludes. Parte del agua de lluvia producía escorrentía, como se decía anteriormente, y bajaba de berma a berma erosionando los taludes, esto carecía casi de importancia ya que los días de lluvia eran pocos y el agua bajaba dispersa por toda la cara del talud. Otra parte del agua de lluvia quedaba estancada en las bermas y se infiltraba a través de grietas, aumentando la columna de agua en la zona próxima a la cara del talud y acelerando los efectos producidos por el agua almacenada en los niveles de arenas.

El agua subterránea actuaba sobre el talud ocasionando un doble efecto: primero, degradando y erosionándolo y, segundo, empujando lateralmente el mismo, a través de fallas y diaclasas, por efecto de la presión hidrostática. Este doble efecto se producía sobre el talud de techo, puesto que en los taludes laterales, los niveles de arena descargaban el agua por gravedad en los puntos de contacto con cada berma, comportándose como acuíferos libres (no confinado o freático) en las proximidades del talud, por lo que no ejercían un empuje lateral ante la ausencia de presión hidrostática, ni podían degradar los materiales situados al muro de las arenas, por efectuarse las escorrentías en el pie del talud, salvo que la existencias de fallas hicieran que estos niveles quedasen cortados en la cara del mismo a una cierta altura de la berma.

En el talud de techo sí se acusaba el doble efecto del agua. Figura nº 2.

Por una parte, debido a la disposición casi ortogonal de los estratos respecto al talud y al carácter de acuífero confinado que poseen las arenas, éstas se drenaban por la superficie de contacto con la cara del talud ya que los terrenos eran blandos, se producía una erosión de los mismos, socavando el talud, esto implicaba la aparición de grietas que, partiendo de las zonas erosionadas, llegaban hasta la superficie y formaban cuñas de deslizamiento. Si no se eliminaba el aporte de agua a la cara del talud, esto se repetiría progresivamente hasta cortar la berma superior. Figura nº 2 A.

Por otra parte, cuando existían fallas en el macizo próximo excavado. Figura nº 2 B, los niveles de arenas se rellenaban de agua, ocasionando un empuje lateral debido a la presión hidrostática que hacía inestable el bloque más cercano a la superficie. Para evitar esto era necesario evitar el aporte de agua a las fallas y rebajar la presión hidrostática en el área próxima al talud.

Con el fin de disminuir el efecto del agua sobre los taludes, se adoptaron medidas de carácter minero y de tipo hidrogeológico.

Las medidas que se tomaron de carácter minero fueron tres: la primera, extender sobre cada berma una capa de arcilla de 0,5 a 1 m de espesor para impermeabilizarla y evitar la infiltración del agua a través de las grietas. La segunda consistía en darle a la berma una ligera pendiente hacia el exterior del banco para que el agua resbalase en la última, constituyendo puntos de recarga de los acuíferos y fallas. Figura nº 3.

La tercera fue desarrollar la explotación de cada panel en dos formas; una en la que se profundiza la mina en los bancos superiores sin llevar el talud a su posición definitiva, y otra en que, mientras se extrae el carbón de los bancos ya abiertos, se retranqueaban los taludes hasta su posición final. Con esta medida se conseguía acortar el tiempo de exposición del talud de techo en dos o tres meses.

Las medidas de tipo hidrogeológico iban encaminadas a la eliminación del agua subterránea en el macizo cercano a la cara de los taludes. Para ello se desarrolló un sistema de drenaje mediante sondeos inclinados ascendentes, realizados desde los propios taludes.

Como el desarrollo de la mina en profundidad se realizaba en bancos de trabajo de 12 m de altura, con bermas definitivas cada 24 m, la malla de los sondeos de drenaje se realizaba en dichos bancos, después de que llegasen a la posición del talud definitivo.

Estos sondeos eran diferentes, según se ejecutasen en bancos intermedios o en bermas definitivas.

En los bancos intermedios, los sondeos se ejecutaban bajo los puntos donde había mayor aporte de agua, siendo estos los más fracturados, y la permeabilidad de las arenas era mayor. Los sondeos se realizaban con una inclinación de 5 a 10º respecto a la horizontal y solían tener entre 30 y 50 m. de longitud, tenían como misión drenar de forma superficial los niveles de arena que quedaron cortados en la cara del talud y en la berma superior.

En las bermas definitivas, los sondeos se disponían en una malla de 25 a 35 m de equidistancia, operación que venía marcada por la baja permeabilidad de las arenas. Estos sondeos se realizaban con una inclinación de 10 a 15º respecto a la horizontal y con una longitud de entre 30 y 80 m. Tenían como misión drenar todo el macizo en una distancia mínima a la cara del talud de unos 10 m. Los caudales obtenidos eran muy variables y oscilaban entre 0,2 y 0,6 m^3/h, con valores extremos de 0,06 y 7 m3/h, respectivamente.

Se realizaron unos 42 sondeos con un total de metros perforados de +/–1.480 m. El efecto de estos se tradujo en un desplazamiento del nivel freático desde la superficie del talud hasta el punto en que los drenes cortaban a los niveles de arena y así se evitaba la socavación del talud y el aporte del agua a las fallas; estos niveles de arena, si se quedaban secos, aumentaban su resistencia y, por lo tanto, la resistencia aumentaba en el conjunto del macizo.

El efecto del drenaje se pudo constatar en un panel de explotación, ya que se montaron dos sondeos piezométricos en una berma, uno que controlaba los niveles de arena más alta de la serie y otro que controlaba los niveles inferiores de la serie. Cuando la explotación alcanzó cierta cota el agua quedó rebajada en los piezómetros respectivamente, siendo la zona de descarga el talud.

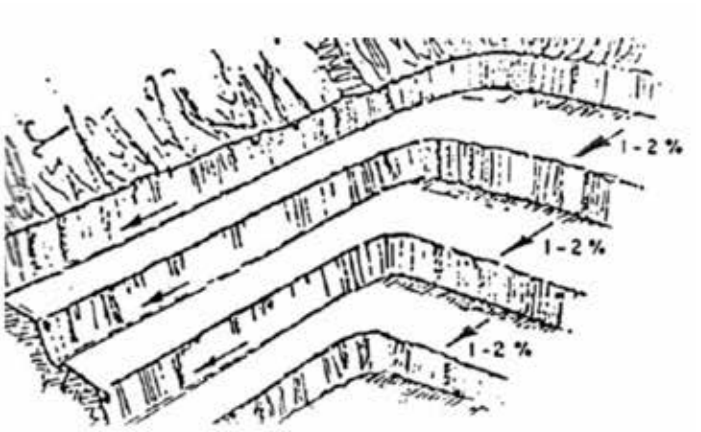
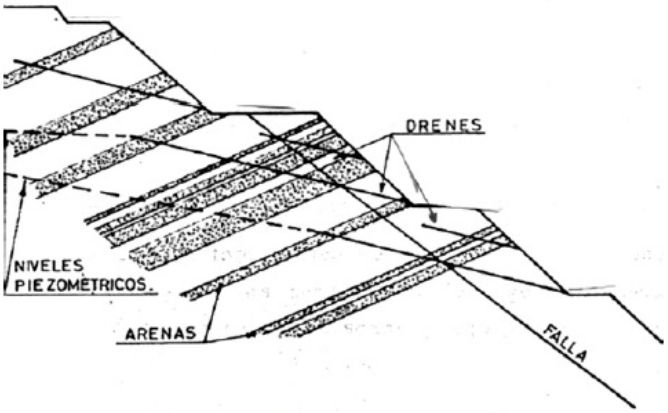
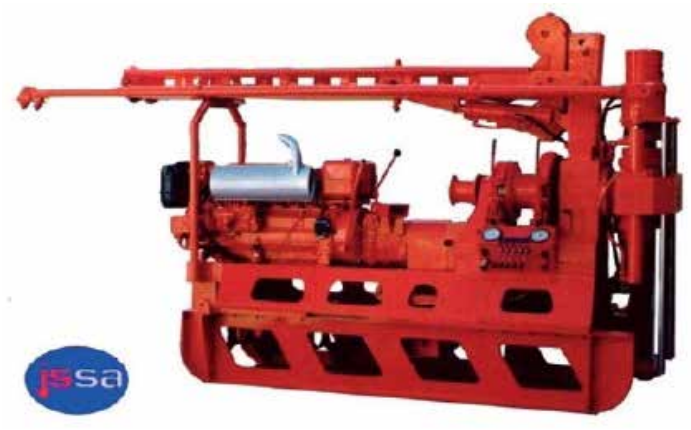


Figura nº 3



Esquema de drenaje en salud

Sonda de medición de niveles piezométricos



Figuranº4. Máquina con la torre plegada, los mandos y manómetros están en un solo panel, incorpora plato mecánico de mordaza, en la parte inferior del husillo y plato hidráulico de mordaza, en la parte superior. Tiene cabrestante wire line para extracción de testigo por cable.

Figura nº 5. Bomba para la inyección de lodos de pistón de simple efecto, tipo GM 7503.

TABLA 1

CABEZAL DE ROTACIÓN:	
Velocidad	150-1000 rpm
Par	240 m·kg
Ángulo de perforación	360º
SISTEMA HIDRÁULICO:	
Empuje	55 kN
Extracción	77,5 kN
Velocidad de empuje	15,9 cm/s
Velocidad de extracción	12,7 cm/s
Maniobras	6 m
Longitud del husillo	750 m/m
MORDAZA HIDRÁULICA:	
Capacidad axial	47 kN
Diámetro agujero	93,5 m/m
CABRESTANTE DE MANIOBRA:	
Potencia	60 kN
Diámetro del cable	16 m/m
Capacidad	45 m
CABRESTANTE WIRE LINE:	
Potencia	10 kN
Elevación	241 m/s
Capacidad	800 m
Diámetro del cable	6 m/m

Después de hacerse la campaña de sondeos de drenaje, la piezometría se rebajó hasta cierta cota, siendo la descarga a través de los sondeos, quedando el gradiente hidráulico (pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua) con valores de 0,04 para el nivel de arena superior y de 0,19 en el nivel de arena inferior.

Los sondeos se realizaban con una sonda Neptuno1500, Figura nº 4, por el sistema de rotación y circulación directa de lodos.

Las características de esta sonda se muestran en la tabla 1.

La bomba empleada para la inyección de lodos era de pistón de simple efecto, tipo GM 7503, Figura nº 5, los desgastes eran pequeños y afectaban particularmente a la guarnición del pistón.

Las características principales de esta bomba de inyección eran:

Caudal máximo	226 l/min
Presión máxima	35 bar
Motor	Diesel
Variación caudal	Caja de cambios
Montaje	Chasis de patines

Con este equipo se realizó toda la investigación de las Cortas a Cielo Abierto de "A", "B" y "G" (1994-2006), con recuperación continúa de testigo empleando Bentonita ($Al_2O_34SiO_2nH_2O$), para la formación de lodo.

La técnica de ejecución de los sondeos estaba siempre acondicionado por las características mecánicas de los terrenos a perforar, que eran arcillas y arenas, de baja resistencia y muy degradables. El principal problema que planteaba la perforación era que por tratarse de material blando y no poder emplear un lodo que mantuviera las paredes del taladro, se producían desprendimientos de las mismas, que cortaban la circulación del agua e impedían la eliminación del detritus.

La técnica habitual del sostenimiento de las paredes era revestir el taladro con tubería metálica provisional de diámetro menor, pero el carácter esencialmente arcilloso de la formación había demostrado que la tubería de revestimiento era difícil de recuperar, los sondeos no servían como drenaje y estos no cumplían su finalidad.

El procedimiento que seguíamos para la realización de drenes era:

a. Perforar con tricono de 3" hasta un máximo de 40 m.
b. Recrecer la perforación a 4½".
c. Entubar con tubería de PVC de 90 m/m (si en este tramo existían niveles de arena, la tubería se ranuraba).
d. Perforar el resto del sondeo con diámetro de 3".
e. Entubar con tubería ranurada de PVC de 50 m/m que servía de filtro para la extracción de agua.

La razón por lo que el 1er tramo se perforaba en 2 pasadas de 3" y de 4½", se basaba en que la maniobra de recrecimiento era más rápida que si perforábamos directamente con 4½", por lo que se disminuía el tiempo en que la pared del sondeo permanecía abierta antes de que se introdujera la tubería de PVC de 90 m/m para sujetarla y de esta manera se reducía la posibilidad de derrumbamiento de la misma y la ejecución del resto del sondeo se ejecutará en menos tiempo, antes de introducir la tubería filtrante. Figura nº 6.

Se perforaba con el caudal mínimo de agua indispensable para eliminar los detritus y de esta forma se evitaba que la presión del agua inyectada rompiera el terreno que rodeaba el taladro.

La introducción de la tubería de PVC era la operación más delicada y además se requería hacerla con gran rapidez; los primeros tramos se metían a mano y cuando se llegaba a zonas parcialmente desprendidas, se introducía un varillaje de 1" para presionar sin romper la tubería de PVC, o bien empujando con la propia sonda.

Para guiar la tubería, se colocaba en el extremo, un taco de madera con forma cónica redondeada que facilitaba su penetración e impedía que el material desprendido se introdujera en la tubería. La tubería filtrante de PVC se preparaba durante la perforación, ranurándose "in situ" con sierra metálica de mano; las ranuras tenían 3 cm de longitud y de 2 m/m de grosor dispuestas de forma radial y a una equidistancia de unos 5 cm. Para evitar que el agua de los sondeos discurriera libremente por taludes y bermas, en el emboquille de los mismos se colocaba un adaptador metálico al cual se le conectaba una o dos mangueras de 1" y se canalizaba hasta una balsa realizada en terreno no fracturado, que recogía el agua del drenaje de cada berma.

En la figura nº 7 se puede apreciar la distribución del flujo del agua antes y después de la ejecución de un sondeo de drenaje.

Existe otro sistema clásico de drenaje, el de sondeos verticales de captación que se realizan desde el borde de la explotación.

Las ventajas del sistema empleado por nosotros frente a este otro sistema clásico eran:

a. Menor coste de ejecución.
b. Mantenimiento nulo.
c. Extracción del agua por gravedad con un coste nulo, esta agua se empleaba para riego de pistas.
d. Drenaje más eficaz y rápido ya que permitía actuar justo en las zonas más conflictivas.

Nuestro sistema empleado también tenía el inconveniente de que el drenaje se hacía solo después de estar el talud expuesto, mientras que en el sistema clásico, el drenaje se podía llevar por delante de la explotación pero con el consiguiente coste de energía empleada en el bombeo, hacer su instalación y, al ser las aguas ligeramente ácidas y ferruginosas, provocaría corrosión en el equipo de bombeo y en la tubería de impulsión. ●

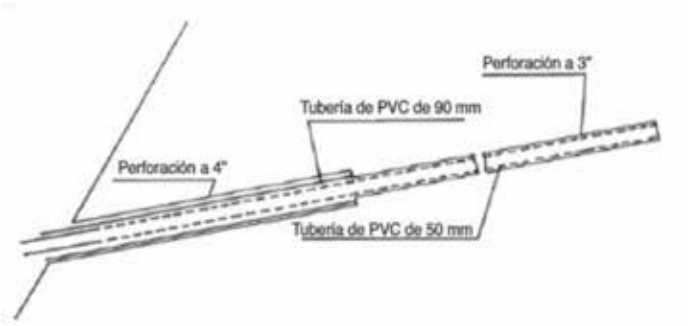


Figura nº 6. Esquema de un sondeo

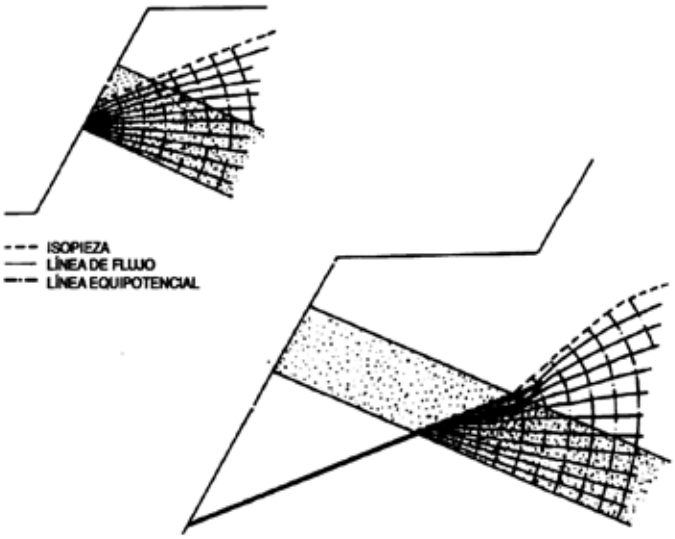


Figura nº 7

FUENTES

- Propias y vividas.
- Simposio internacional del agua en la minería. Drenaje de taludes. Abril Gómez, H.
- VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Tomo 4. Barcelona 1984.
- Andorra (Teruel) actuaciones ambientales en centros mineros de ENDESA.

NOTA

Este artículo ha sido publicado en el Boletín Informativo "Aragonito" del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía de Aragón con el nº 31 y con fecha Mayo 2021.

MINERÍA

LA LITOTECA DE PEÑARROYA-PUEBLONUEVO

INFRAESTRUCTURA CIENTÍFICA PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO ESPAÑOL

MARÍA DE LOS REMEDIOS GIL ORTEGA
Ingeniero de Minas, Ingeniero Técnico de Minas, Ingeniero Técnico de Obras Públicas.
Técnico de Prevención de Riesgos Laborales.
Safety Mining Engineer en Epiroc Minería e Ingeniería Civil España.

Colaboración: Clemente Molina Muñoz, Vicedirección Técnica de la litoteca.

RESUMEN

La litoteca de Peñarroya-Pueblonuevo es una instalación del Instituto geológico y minero de España – Consejo superior de investigaciones científicas (IGME-CSIC), que constituye uno de los archivos geológicos más importantes del país. Su función es la custodia, conservación y puesta en valor de testigos de sondeos, muestras de roca, sedimentos y materiales del subsuelo procedentes de investigaciones geológicas, hidrogeológicas y mineras realizadas en todo el territorio nacional.

PALABRAS CLAVE

litoteca, sondeos, patrimonio geológico, investigación e información.

SUMMARY

The Peñarroya-Pueblonuevo lithotheque is a facility of the Spanish geological and mining institute - Superior council for scientific research (IGME-CSIC), which is one of the most important geological archives in the country. Its function is the custody, conservation and enhancement of core samples, rock samples, sediments and subsoil materials from geological, hydrogeological and mining research carried out throughout the country.

KEY WORDS

lithotechnical library, boreholes, geological heritage, research and information.

Las litotecas son infraestructuras científicas fundamentales para el almacenamiento, la catalogación y el estudio de materiales geológicos. Los testigos de sondeo y las muestras almacenadas constituyen un archivo permanente del subsuelo, indispensable para investigaciones actuales y futuras en geología, hidrogeología, minería, paleontología, geotecnia y cambio climático. La litoteca de España está ubicada en la localidad cordobesa de Peñarroya-Pueblonuevo, operativa desde 1988, y gestionada por el IGME-CSIC.

HISTORIA Y CONTEXTO DE CREACIÓN

Desde mediados del siglo XX, el IGME acumulaba miles de metros lineales de testigos de sondeos, dispersos en distintos almacenes, laboratorios y dependencias. La necesidad de centralizar, conservar adecuadamente y facilitar el acceso a estas colecciones llevó al IGME a buscar una ubicación idónea para una litoteca.

La elección de Peñarroya-Pueblonuevo respondió a varios factores clave:

- Herencia minera e industrial: Peñarroya fue epicentro de la minería del carbón, plomo y zinc desde finales del siglo XIX, con una fuerte tradición geológica e industrial.
- Infraestructuras disponibles: se reutilizaron edificios industriales en desuso, especialmente la antigua fábrica de papel del complejo minero de la Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya (SMMP).
- Costes operativos bajos: frente a otras localizaciones, los costes de adquisición y adaptación fueron significativamente menores.
- Ubicación estratégica: buena conexión logística con el centro y sur de la península.
- Apoyo institucional: participación activa del Ayuntamiento de Peñarroya -Pueblonuevo, la Junta de Andalucía y otras administraciones en la cesión y rehabilitación de las instalaciones.
- Este proyecto, además, se alineó con los planes de reconversión de territorios afectados por la crisis de la minería, impulsando la economía local mediante actividades vinculadas al conocimiento y la investigación.

Fotografía 1. Edificio de la Litoteca.

ESTRUCTURA Y CAPACIDADES TÉCNICAS

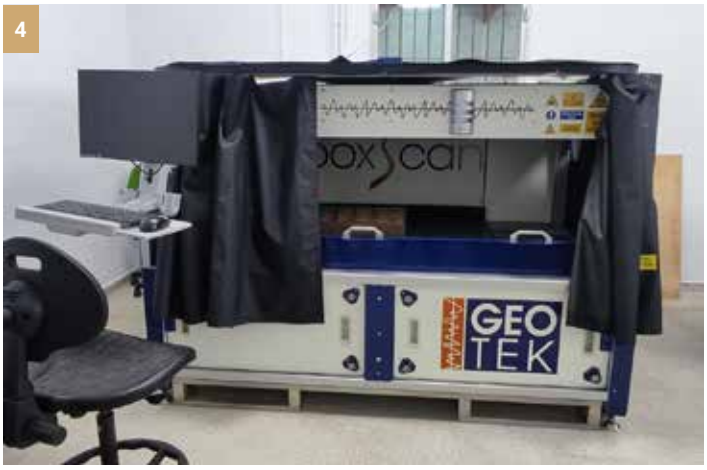
Las instalaciones disponen de una superficie total de más de 8.000 m² y más de 250 km lineales de testigos de sondeos de roca, sedimentos y materiales diversos almacenados.

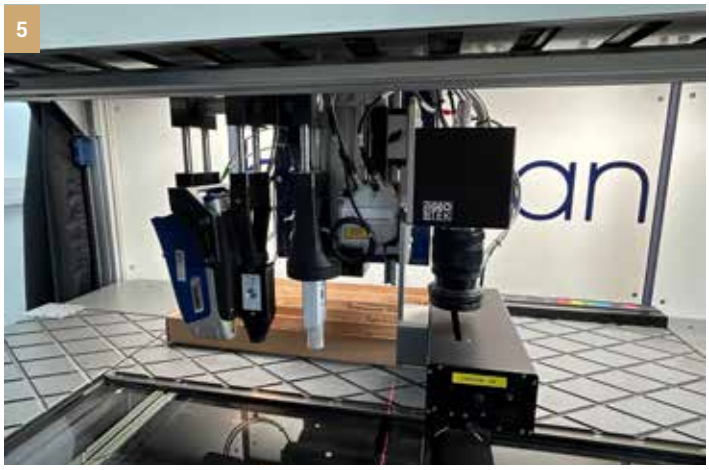
Dispone de laboratorios para la preparación de muestras, corte, descripción petrográfica y almacenamiento en condiciones controladas.

Y cuenta con sistemas de gestión: Bases de datos georreferenciadas y digitalizadas.

Las colecciones almacenadas son de diversos tipos:

- Testigos de sondeos: material extraído mediante perforaciones en campañas de investigación geológica, hidrogeológica y minera.
- Muestras sueltas: rocas, minerales, núcleos y sedimentos.
- Colecciones paleontológicas auxiliares.
- Archivos documentales asociados a los sondeos como informes, loggings, geofísica, entre otros.



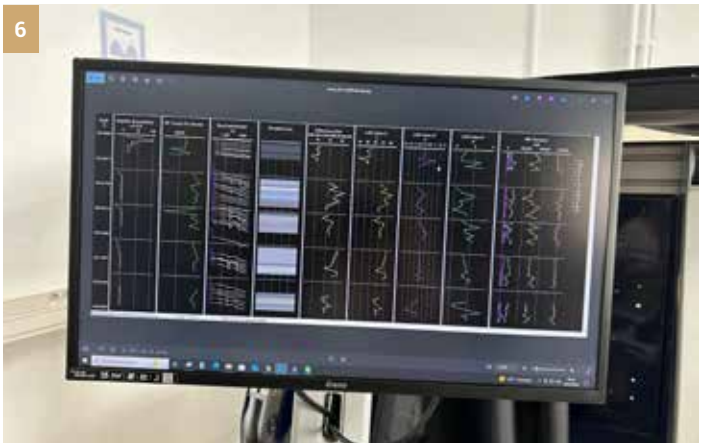


FUNCIONES Y UTILIDAD CIENTÍFICA

- Conservación del patrimonio geológico: los testigos almacenados son un registro irrepetible del subsuelo español, permitiendo estudios sobre geología estructural, estratigrafía, hidrogeología, paleontología, recursos minerales y evolución ambiental.
- Apoyo a la investigación científica: investigadores nacionales e internacionales acceden a las colecciones para estudios específicos y dan soporte a universidades, centros de investigación y empresas privadas.
- Aplicaciones técnicas y económicas: exploración de recursos minerales y energéticos, estudios hidrogeológicos y gestión de acuíferos, evaluación de riesgos geológicos, sismicidad y estabilidad del terreno y soporte a proyectos de infraestructuras (carreteras, túneles, presas).
- Valor patrimonial, educativo y social: la litoteca no solo cumple un papel técnico y científico, sino que también forma parte del patrimonio industrial y minero de Andalucía. Ha sido objeto de interés dentro de rutas de patrimonio industrial y programas educativos organizados por museos mineros y entidades locales.

Los servicios que ofrece la litoteca son:

- Analisis elementos: XRF. La máquina Boxscan permite obtener conjuntos de datos diferentes con un solo escaneo. Es una plataforma multisensorial de análisis de testigos y muestras de roca (FRX, análisis VNIR/SWIR, susceptibilidad magnética y perfilador láser), un escáner de testigos DMT Corescan Colour II y software DigiCore y dos analizadores portátiles de FRX para el estudio de la composición química in situ. La ventaja de Boxscan es que permite hacer determinaciones de forma no destructiva
- Análisis químico por FRX mediante analizador portátil.
- Microfotografiado de preparaciones y muestras.
- Consulta y muestreo de colecciones geológicas.



- Obtención de imágenes de testigos cortados longitudinalmente.
- Obtención de imágenes de testigo.
- Obtención de fotografías de cajas de testigo.
- Realización de informes sobre colecciones geológicas.
- Corte longitudinal de testigos grandes. El equipo está diseñado para permitir el corte en dos mitades para obtener superficies planas para su posterior observación y descripción.
- Corte de rocas o testigos cortos.

En su página web: https://www.igme.es/grupo/litoteca/, podemos encontrar numerosos recursos para el personal técnico, ya que, nos facilita el acceso a información geocientífica. Nos permite la visualización y consulta de capas procedentes de los mapas y bases de datos espaciales del IGME y otros organismos mediante servicios WMS o ArcGIS Server y podemos obtener información adicional para las capas (como leyendas y metadatos) y los elementos identificados (como fichas de detalle y fotografías).

Fotografía 2. Almacenamiento de testigos.
Fotografía 3. Laboratorio.
Fotografía 4. Máquina Boxscan.
Fotografía 5. Detalle de los cuatro sensores de la máquina Boxscan.
Fotografía 6. Datos obtenidos con el escaneo de la máquina Boxscan, donde se puede observar la susceptibilidad magnética, la geoquímica y la mineralogía.
Fotografía 7. Detalle del testigo del sondeo realizada por Boxscan.
Fotografía 8. Uso de filtros ultravioleta con la máquina Boxscan para medir la fluorescencia.

Fotografía 9. Máquina para el corte longitudinal.

Podemos consultar el visor general que da acceso a todas las capas de información espacial que ofrece el IGME u otros visores con distinta temáticas que son: inventario español de lugares de interés geológico (IELIG), mapa de subsidencica global, geología minera, base de datos de fallas activas del cuaternario de Iberia (QAFI), zonas sismogénicas de Iberia (ZESIS), sistema de información geofísica (SIGEOF), aguas minerales, observatorio transfronterizo para la valoración geo- económica de la Faja Pirítica Ibérica (GEO-FPI), estadística minera y visores de la erupción de La Palma.

Otro valioso recurso que podemos utilizar es el sistema de información de documentos (SID), el cual, integra y pone a disposición de los usuarios los informes y documentos.

Podemos hacer consulta temática y espacial de informes añadiendo al buscador: título, autor, descriptor, organismo, país, año, código e Idioma, así como selección espacial de todo lo relacionado con Informes del IGME, documentos periódicos y no periódicos, revistas, etc.

Se pueden consultar informes y mapas del centro de documentación.

El Tesauro es otra herramienta de control terminológico que organiza y define términos relacionados con las ciencias de la tierra, la geología y la minería, para facilitar la búsqueda y recuperación de información especializada en estas áreas.

También nos dan la oportunidad, de hacer una visita a las instalaciones, para consultar los datos en los que estemos interesados o hacer la consulta online.

DESAFÍOS Y FUTURO.

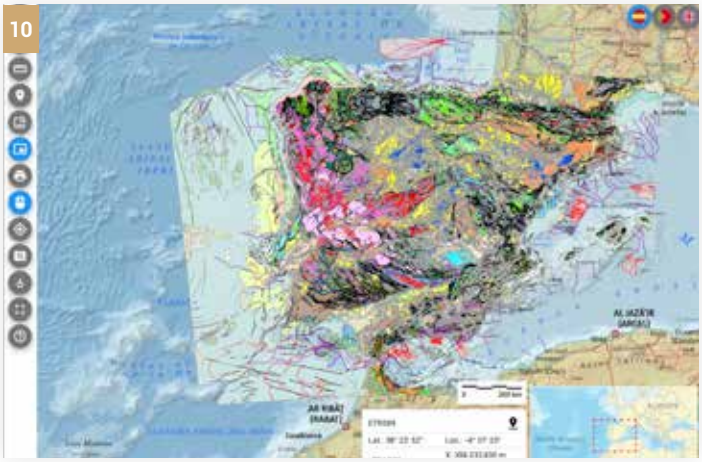
- Digitalización completa: uno de los grandes retos es lograr la digitalización integral de los catálogos y el escaneo 3D de testigos.
- Ampliación de instalaciones: el volumen creciente de materiales requiere expansión logística.
- Actualmente la litoteca se encuentra dentro de equipos de trabajo en Europa e Iberoamérica (eurogeosurveys https://eurogeosurveys.org/about-us/organisational-structure/ y ASGMI https://asgmi.org/directorio/) con reuniones periódicas y proyectos en común.

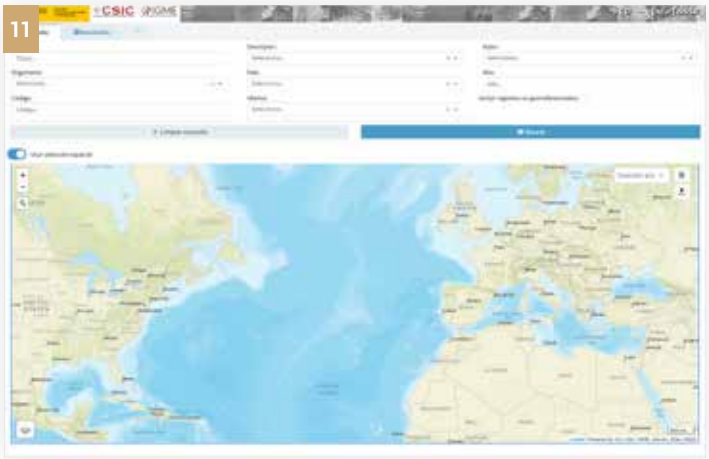
CONCLUSIONES.

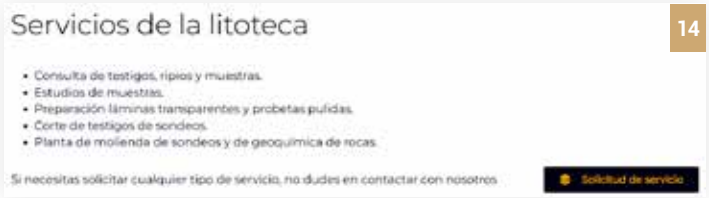
La litoteca de Peñarroya-Pueblonuevo es una infraestructura crítica para la conservación del patrimonio geológico de España y única a nivel nacional, siendo el mayor repositorio público de muestras del subsuelo de España. Su existencia garantiza la disponibilidad de registros del subsuelo esenciales para la ciencia y la industria. Además, su ubicación en un territorio con profunda tradición minera es un ejemplo de cómo el conocimiento puede convertirse en motor de desarrollo tras la reconversión industrial.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer al equipo de la litoteca y en especial a Clemente Molina, por el buen trato que me brindaron durante mi visita a sus instalaciones. Fue un gusto poder conocer la nacion, sus servicios y el trabajo tan importante que realizan. ●







Fotografía 10. Visor general.
Fotografía 11. Portal para la consulta temática y espacial.
Fotografía 12. Portal para la consulta informes y mapas del centro de documentación

Fotografía 13. Portal para la consulta terminológica.
Fotografía 14. Portal para la solicitud del servicio.

BIBLIOGRAFÍA.

- Amuminas. (2023). La litoteca de Peñarroya-Pueblonuevo: un archivo geológico único en España. Asociación Andaluza de Museos de la Minería y la Geología. Recuperado de https://amuminas.com/litoteca
- El Día de Córdoba. (2024). La litoteca de Peñarroya-Pueblonuevo: un tesoro geológico nacional. Edición del 2 de mayo de 2024.
- García Sanz, Á. (1994). Capital extranjero y desarrollo industrial en la minería andaluza: el caso de la Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya (1881-1936). Revista de Historia Industrial, nº 6, pp. 83-109.
- IGME-CSIC. (2023). Gestión, conservación y explotación científica de la litoteca Lito de Peñarroya-Pueblonuevo. Documento interno del Instituto Geológico y Minero de España.
- Roldán, J. y Ruiz, F. (2019). Patrimonio industrial minero y desarrollo territorial en Peñarroya-Pueblonuevo: pasado, presente y futuro. Revista PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, nº 97, pp. 56-69.
- -Mata, M. Pilar, Muñoz, Javier y Molina Clemente (2024). La litoteca del IGME. Libro Instituto Geológico y Minero de España: 175 años, pp 353 -355.

ENERGÍA

EL CONSEJO GENERAL ADVIRTIÓ SOBRE UN APAGÓN INMINENTE

LA COMISIÓN DE ENERGÍA DEL SENADO FUE INFORMADA CUATRO AÑOS ANTES

EMILIO QUEROL MONFIL
Ingeniero Técnico de Minas.
Vicepresidente del Consejo General de Ingenieros Técnicos de Minas y Energía

LAS CAUSAS DEL APAGÓN ENERGÉTICO MASIVO DEL 28 DE ABRIL DE 2025 OCURRIDO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO PENINSULAR NO TIENEN UNA VERSIÓN UNIFICADA DE RESPONSABILIDAD DE TODAS LAS PARTES IMPLICADAS; SI BIEN TODOS ELLOS COINCIDEN EN LOS MOTIVOS TÉCNICOS GENERALES. UNA PARTE IMPORTANTE DE ESTOS MOTIVOS YA SE PUSO EN CONOCIMIENTO DE LA COMISIÓN DE ENERGÍA DEL SENADO, HACE CUATRO AÑOS POR PARTE DEL CONSEJO GENERAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS Y ENERGÍA. REPRODUCIMOS AQUÍ UNA PARTE DE LA PONENCIA QUE SE PRESENTÓ A DICHA COMISIÓN EN JUNIO DE 2021.

No se puede discutir en el siglo XXI la necesidad de modificar nuestros sistemas energéticos en la medida que la producción energética tradicional de combustión afecta a nuestro entorno, a nuestro medio ambiente, como una parte más de la contaminación que sufre nuestro planeta. Pero la crítica ambiental no puede señalar sólo a quien produce sino debe hacer reflexionar la responsabilidad de quienes consumimos. La solución a la contaminación sólo podrá venir de la mano de esta reflexión. Exijamos como sociedad sólo aquello que estemos dispuestos a aceptar; porque la modificación de los sistemas energéticos tradicionales tiene unos costes ambientales, sociales y económicos cuyo equilibrio debemos aceptar. La transición energética en la que ya estamos involucrados es un equilibrio difícil de gestionar.

Una *transición energética sostenible,* debe de consolidar las bases de la descarbonización de la económica y a la vez no comprometer los tres pilares básicos del sistema energético: **la seguridad de suministro, la sostenibilidad ecológica y sostenibilidad económica.**

El objetivo del Consejo es intentar clarificar en la medida de lo posible al órgano legislativo (Comisión de Energía del Senado) la situación actual y futura de esta transición energética que se ha decidido políticamente para que ustedes puedan actuar en consecuencia dentro de su responsabilidad estamental.

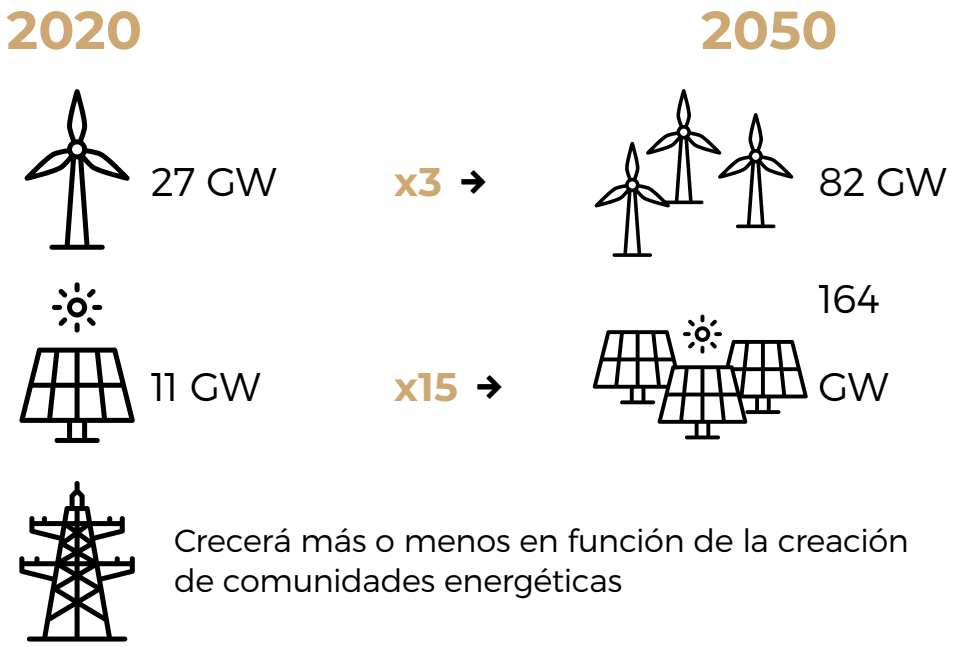
Los compromisos de España como Estado miembro de la Unión Europea y con el Acuerdo de París, son lograr la neutralidad climática no más tarde de 2050. Lo importante de este reto sin precedentes en la economía mundial, es que ustedes como legisladores han de aportar las herramientas jurídicas para poder conseguirlo. Las empresas y la sociedad no pueden avanzar hacia este reto sin un marco jurídico que regule y sobre todo garantice los pasos a ejecutar.

En España, la Ley 7/2021 de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, recoge la prohibición de explorar, investigar y explotar hidrocarburos (artículo 9), que como veremos posteriormente son imprescindibles (Gas natural) para mantener el sistema en equilibrio con los ciclos combinados. Recoge igualmente (artículo 10) la prohibición de explorar, investigar y aprovechar yacimientos radiactivos, al igual que nuevas instalaciones radiactivas. Y finalmente recoge el cese de la producción de carbón nacional (artículo 29). Pero **no recoge garantías legales de una transición energética sostenible.**

Por tanto en España al efecto de descarbonización indicado, el no apoyar aunque sea la investigación de hidrocarburos, hay que sumarle el efecto de "desnuclearización" adoptado. Por tanto estamos obligados a cumplir con nuestro compromiso energético sólo con las energías renovables para cubrir todas las necesidades energéticas de nuestra sociedad y de nuestra economía.

Hablando de grandes volúmenes de generación y mientras la tecnología no avance, las únicas energías renovables que disponemos son los aerogeneradores y las placas solares. Con todos los problemas, que son muchos y muchos muy importantes, que posteriormente indicaremos. Hemos optado por un compromiso y sólo tenemos un camino, la electrificación del país con energías renovables. Respecto del Hidrógeno, por aclarar, el hidrógeno es un vector energético que almacena una parte de la energía invertida en su producción.

CRECIMIENTO PREVISTO DE POTENCIA INSTALADA EN RENOVABLES



Los últimos años todos hemos visto un creciente auge de parques eólicos y parques fotovoltaicos por diversos puntos de la geografía española, especialmente en la España rural, y esto nos lleva a otro problema que igualmente debemos abordar posteriormente, que territorios soportan y soportarán el coste ambiental por la producción energética verde para todos.

Además de los parques eólicos y los parques fotovoltaicos que nos modifican el paisaje, se deben comunicar los centros de producción con los centros de consumo. El mallado eléctrico de distribución, es decir las líneas de alta tensión que distribuyen la energía, las autopistas de la energía a 400 kV, deberán crecer en igual medida y al mismo tiempo para poder distribuir esta energía a los centros consumidores. La realidad actual del año 2025 es que están bloqueadas y paralizadas multitud de líneas de distribución por problemas ambientales. Estamos próximos al punto de saturación de muchas líneas de distribución.

Uno de los tres pilares básicos en los que se fundamenta la transición energética, la **sostenibilidad económica** del país, nos obligaría a aceptar un crecimiento desmesurado, en cuanto a exagerado, de la implantación de los parques eólicos y fotovoltaicos para descarbonizar nuestra energía. La realidad con la que nos encontramos es que las comunidades autónomas son competentes para la ordenación de su territorio, por lo tanto, tienen la competencia de limitar la implantación de estas estructuras de energía verde, que a nadie nos gustan. Pero por otra parte, y no podría ser de otra forma, la distribución energética es a nivel nacional por parte de Red Eléctrica de España (REE), en base a la previsión de consumos. Esto ya está creando un difícil equilibrio entre la gestión del territorio y las necesidades energéticas; es decir, que si no lo sabemos hacer unos territorios, la España rural, soportara el esfuerzo ambiental de las estructuras de energía verde y otros territorios se beneficiaran de la energía verde, siempre y cuando acepten el crecimiento del mallazo eléctrico de distribución, ya que algunas comunidades tampoco quieren líneas de alta tensión que atraviesen su territorio. Bloqueando políticamente la generación y la distribución la sostenibilidad económica de la transición energética es un sueño.

Finalmente no podemos hablar de sostenibilidad económica olvidándonos de aquella masa social y laboral que como fruto de esta transición energética se ha quedado por el camino. El cierre de las centrales térmicas y por ende de las minas de carbón que suministraban ha dejado a miles de personas en la calle y cientos de municipios vacíos y sin alternativa, sin transición a los nuevos tiempos de las nuevas energías.

El legislador estaba obligado a fomentar la implantación de comunidades energéticas cerradas alrededor de los centros productores de energías renovables como una solución inteligente de reducir, en una buena parte, el impacto ambiental de la distribución energética y compensar a aquellas áreas del territorio en donde se produce la energía. Estas zonas productoras de energía renovables, zonas rurales y antiguamente zonas mineras, son ideales para la implantación de las empresas Electro-intensivas tan importantes para nuestra economía industrial, deberían ser zonas con un atractivo empresarial que aparejaría un crecimiento económico y de población. Es una injusticia social que el legislador debe de regular. Deberían compensar a los territorios ge-

neradores de energía verde con facilidades para la implantación de comunidades energéticas territoriales que hagan atractivo el territorio para la industrialización y con un desarrollo sostenible.

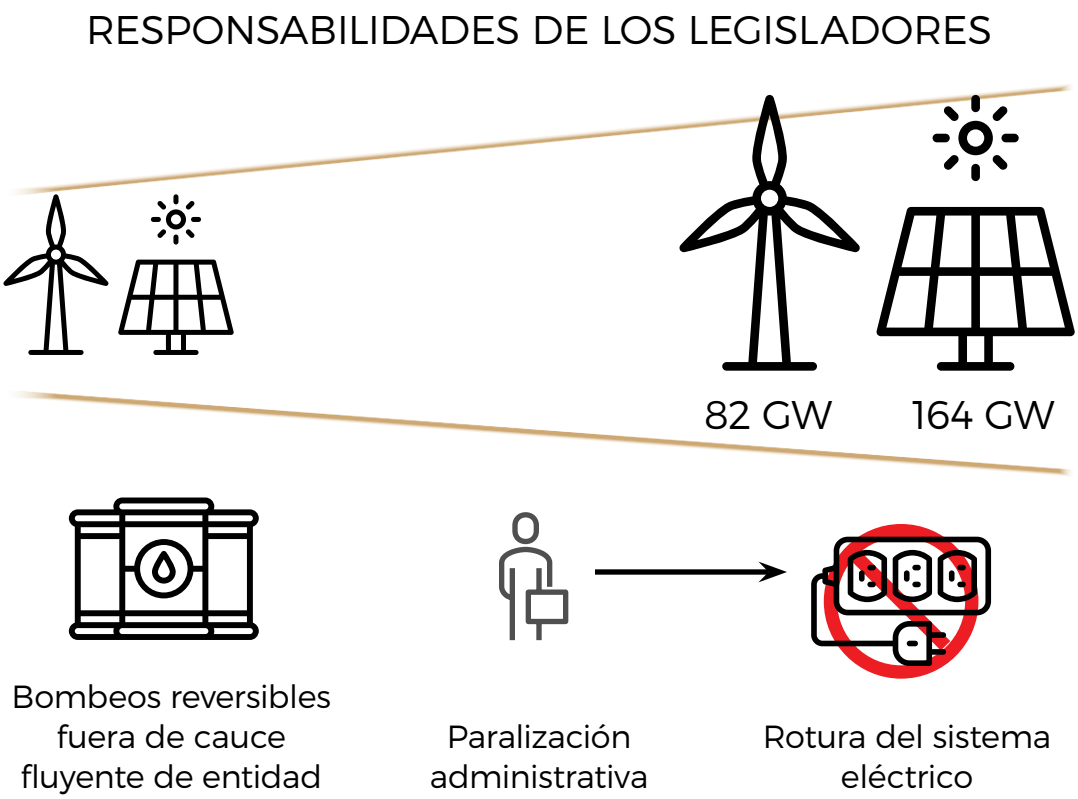
El segundo pilar básico en los que se fundamenta la transición energética, la **Seguridad de Suministro**. El desarrollo Sostenible de un país se apoya en garantizar en cantidad y calidad el suministro energético que la sociedad demanda. Como hemos explicado antes, para el 2050 cuando culminemos la descarbonización, habrán desaparecido de la energía primaria elementos como el petróleo y el gas, que actualmente son vectores que nos permiten almacenar y transportar energía, y lo habremos sustituido por la generación de energía eléctrica verde por infraestructuras de renovables, principalmente eólica y solar y sus líneas de distribución. Es muy importante que entiendan que el concepto de modificar vectores energéticos que permiten almacenamiento (como son el petróleo y gas) por sólo la producción de energía eléctrica instantánea, es imposible. Estamos obligados, si queremos realmente descarbonizar, a almacenar energía.

Deben de entender que la energía renovable (eólica y solar) siendo muy útiles porque no consumen recursos, (sólo viento y sol), no emiten CO_2; No son totalmente gestionables por el sistema eléctrico y necesitan de otras generaciones para gestionarse. Tenemos que ser conscientes que con la tecnología actual, las renovables eólica y solar, se incorporan de forma brusca al sistema eléctrico, y por tanto, producen inestabilidad, que se irá incrementando conforme vayamos incrementando estas entradas si no las compensamos con otras entradas estables que mantengan el sistema. En definitiva, el sistema eléctrico no puede funcionar sólo con la tecnología de las renovables, no tienen inercia, no tienen capacidad de regular la tensión, no tienen potencia, y no tienen frecuencia, de la forma que el sistema eléctrico lo requiere para mantener el suministro seguro.

El sistema eléctrico se mueve por las leyes de la física, que no las aprueban ustedes en el parlamento como legisladores; y estas leyes físicas obligan al sistema eléctrico a tener generadores síncronos que tengan inercia en el sistema y que lo mantengan estable. Es decir, aunque tuviéramos mucha más potencia instalada y produciendo energía renovable que la necesaria en consumo, el sistema no funcionaria.

Los consumidores son y deben de ser LIBRES de conectarse al sistema cuando quieran, y el sistema y la gestión de este debe GARANTIZAR dicha libertad de conexión, pero obviamente está condicionado por el correcto funcionamiento del sistema eléctrico. Si no ponemos las condiciones para el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, con la incorporación masiva de las energías renovables, no podrán garantizar nuestra LIBERTAD de conexión. Apagon del 28 de abril de 2025.

Los generadores síncronos (les llamaremos estables) que garantizan el sistema, una vez que hemos cerrado las centrales térmicas de carbón, son principalmente tres, las nucleares que actualmente aportan 7.000 MW y que en el 2030 se habrán reducido a 3.000 MW. Los ciclos combinados que actualmente tienen una potencia de 27.000 MW, en el 2030 seguirán teniendo esos 27.000 MW, pero que en el 2050 habrán desaparecido con la descarbonización total de la energía. Y la Hidráulica, que siendo una energía renovable, energía verde, es capaz de regular la potencia,



la tensión, tiene arranque autónomo, y es fundamental hoy en día para el sistema y en un futuro serán imprescindibles. Es lo más ideal para un sistema eléctrico de energías renovables.

Por tanto la conclusión es muy sencilla, si prescindimos de las nucleares como un hecho en proceso, la descarbonización eliminará los ciclos combinados, sólo nos queda la hidráulica como única solución para mantener el sistema estable.

Otro problema que también nos lleva a la hidráulica como única solución es el almacenamiento de la Energía que antes hablábamos. La energía del viento y del sol, la convertimos en energía eléctrica, pero esta energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades. Las baterías no son una solución cuando estamos hablando de grandes volúmenes de energía. Por lo tanto, si no buscamos una solución para almacenar esta energía obtenida con fuentes naturales como el aire y el sol, dicha energía irá a vertido, se perderá, estaremos desaprovechando grandes recursos de energía. Actualmente es lo que está pasando durante muchas horas del día.

La única forma de acumular energía es aprovechar esta energía sobrante para bombear agua, de un nivel, de una cota, de una altura, a otra altura. Con la desaparición en el tablero de los vectores energéticos que nos permiten acumular energía, esta es la única forma que tendremos de acumular energía. No tenemos alternativas para grandes almacenamientos que no sean los bombeos reversibles. Hoy por hoy es la única alternativa de la descarbonización que puede permitir las dos cuestiones importantes, estabilizar el sistema y almacenar energía para evitar vertidos, aparte de proporcionar reservas energéticas y solucionar restricciones técnicas puntuales. Los bombeos reversibles hubiesen sido la solución para evitar el apagón de abril de 2025.

La creación de dos balsas creadas con una diferencia considerable de cota, de altura, unidas por un sistema de tuberías y por un sistema de bomba-turbina, de tal forma que durante unas horas el sistema almacena energía de hibridación (eólica y solar) que no entraría en el sistema eléctrico subiendo agua desde la balsa inferior a la superior, eso, a nivel físico es ALMACENAR ENERGÍA, y cuando el sistema demanda energía, se libera el agua desde la balsa superior a la inferior, turbinando y generando energía verde a demanda del sistema.

En los bombeos existen dos conceptos, el crear una balsa superior fuera de cauce y bombear desde un pantano que es cauce, a dicha balsa y posteriormente turbinar sobre el embalse, es decir lo que llamaríamos **bombeos en cauce público,** que tiene sus problemas ambientales, y que principalmente estará condicionado a las necesidades de aguas abajo del pantano, y otra que a todas las luces es la ideal, que es la creación de un sistema de bombeo-turbinado **fuera de cuenca hidraúlica**, y por tanto ajeno a las necesidades hidráulicas y ecológicas de la cuenca, y por tanto con poco impacto, sin estrés hídrico, sin problemas de sequias, sin problemas de necesidades de agua.

Por tanto, si pensamos en un bombeo fuera de cuenca hídrica, podemos afirmar que España es privilegiada, afortunada, que tenemos recursos y por tanto lo

podemos hacer. Necesitamos sol y viento para bombear, España es privilegiada en este aspecto. Necesitamos diferencias de cota, desniveles naturales, nuestra orografía nos permite disponer de muchos lugares con saltos importantes, y necesitamos unos orígenes de agua que nos permitan llenar por UNA SOLA VEZ el sistema cerrado de bombeo, y esto no es complicado con nuestra climatología (temporales), nuestros cauces, nuestras aguas subterráneas, embalses mineros, etc. Por tanto, tenemos todo lo necesario para ser una potencia en bombeos fuera de cuenca hidráulica, y esto nos permitiría ser una potencia mundial en mantener un sistema eléctrico estable, y completamente alimentado y estabilizado por **energía verde**.

Este desarrollo sostenible basado exclusivamente en la energía verde, que con los bombeos fuera de cuenca, permitirán un sistema eléctrico no sólo de cantidad, sino de **calidad energética**, debería ir unido a una reducción drástica del mallado eléctrico (autopistas eléctricas) que unen las zonas de generación con las zonas de consumo, y es por ello importantísimo que se empiecen a desarrollar ya mismo la regulación de las comunidades eléctricas regionales, de tal forma que se fomente el consumo energético de kilómetro cero. Descongestionaríamos la implantación de infraestructuras de autopistas energéticas, reduciríamos el coste energético por no tener que pagar peajes de transporte, y haríamos nuestra industria más competitiva acercando la industria a esa España rural que tan olvidada está injustamente, a esas cuencas mineras en donde la transición energética ha dejado municipios vacíos y sin alternativa. Y esto sería la **sostenibilidad ecológica** como tercer pilar básico en lo que se fundamenta la transición energética.

Dicho todo esto, nos encontramos con un crecimiento acelerado de las energías renovables, un bloqueo en el desarrollo de las redes de distribución y una paralización administrativa de la única solución técnica y ecológica que los pueden hacer viables, que son los **bombeos reversibles fuera de cuenca.**

Estamos viviendo (palabras del año 2021) una situación de **máxima urgencia** en nuestro proceso de descarbonización, y es responsabilidad del poder legislativo y del poder ejecutivo el garantizar la libertad de conexión a nuestro sistema eléctrico. Para asegurar esta libertad de conexión debe de desbloquear el desarrollo de la distribución y fomentar los sistemas sistemas estables de generación eléctrica. Por desgracia no fue así, y en Abril de 2025 tuvimos el primer apagón general del sistema.

Pasados cuatro años desde que el Consejo General de Ingenieros técnicos de minas facilitara a la comisión energética del Senado, su visión general del sistema eléctrico, sus peligros previsibles (que se cumplieron) y las soluciones de desarrollo para generar un sistema eléctrico estable con energía verde; nada se ha avanzado por parte del ejecutivo. Existe un bloqueo administrativo y político a las soluciones, desplazando conscientemente el problema en el tiempo a un futuro próximo.

Podemos afirmar que el proceso de transición energética, tal y como estaba planteado, es un **sistema energético fallido.**.

ENERGÍA

RESUMEN

El hidrógeno verde (H_2V) emerge como un pilar clave para la descarbonización global hacia 2050, impulsando sectores como la industria pesada, el transporte marítimo y la aviación. Más allá de los objetivos climáticos, su desarrollo redefine la geopolítica energética mediante la competencia por tecnología, recursos y liderazgo industrial. China domina la manufactura y el control de materiales críticos, Estados Unidos impulsa la innovación y la autonomía industrial, y Europa, con España como nodo estratégico, busca consolidar su posición en esta carrera. Este artículo analiza las estrategias de estas potencias, el rol de las energías renovables en la independencia energética, las aplicaciones vehiculares, el impacto de la inestabilidad en los precios del petróleo y los desafíos de los materiales críticos, proyectando escenarios globales hacia 2030 y 2050.

PALABRAS CLAVE

Hidrógeno verde, transición energética, materiales críticos, electrolizadores, baterías no-litio, China, Estados Unidos, España, Europa.

ABSTRACT

Green hydrogen (H_2V) is emerging as a key pillar in the global decarbonization effort toward 2050, driving transformation in hard-to-electrify sectors such as heavy industry, maritime transport, and aviation. Beyond climate goals, its development is reshaping energy geopolitics through competition over technology, resources, and industrial leadership. China leads in manufacturing and control of critical materials; the United States promotes innovation and industrial autonomy; and Europe, with Spain as a strategic hub, seeks to consolidate its position in this race. This article analyzes the strategies of these global powers, the role of renewable energy in energy independence, vehicular applications, the impact of oil price volatility, and the challenges posed by critical materials, projecting global scenarios for 2030 and 2050.

KEYWORDS

Green hydrogen, energy transition, critical materials, electrolyzers, non-lithium batteries, China, United States, Spain, Europe

GEOPOLÍTICA DEL HIDRÓGENO VERDE

LA NUEVA CARRERA ENERGÉTICA ENTRE CHINA Y EE. UU.

GREEN HYDROGEN GEOPOLITICS: THE NEW ENERGY RACE BETWEEN CHINA AND THE UNITED STATES

JUNIOR VILLANUEVA-ROSARIO
Ingeniero eléctrico, Profesor Titular de la Universidad Central del Este (UCE, Republica Dominicana), Operador de Sistemas Eléctricos de Potencia, Doctorando en Energías Renovables y Eficiencia energética de la UPCT.

CRISTOBAL GARCÍA-GARCÍA
Profesor Titular retirado de la UPCT. Ingeniero Técnico de Explotación de Minas y de Sondeos y Prospecciones Mineras. Dr. CC. Geológicas.

EL HIDRÓGENO VERDE COMO EJE DE LA TRANSICIÓN

El hidrógeno verde (H_2V), producido mediante electrólisis del agua con energía renovable, es una solución clave para descarbonizar sectores difíciles de electrificar, como la industria pesada, el transporte marítimo y la aviación [1]. En 2024, las energías renovables alcanzaron el 46% de la capacidad eléctrica global, con 585 GW añadidos -el 92,5% de las nuevas instalaciones-, evitando un gasto estimado de 467 mil millones USD en combustibles fósiles [2]. El costo nivelado de electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés: Levelized Cost of Electricity) de fuentes renovables cayó un 91% respecto a fuentes fósiles en proyectos a gran escala [3]. China, Estados Unidos (EE. UU.) y la Unión Europea (UE) concentran más del 80% de estas nuevas instalaciones [4], posicionándolos como líderes en el desarrollo del H_2V.

Las energías renovables son fundamentales para la independencia energética, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles importados y mitigando riesgos asociados a la volatilidad de precios. La crisis en Oriente Medio, con tensiones entre Israel, Irán, Yemen y otros actores, junto con la guerra entre Rusia y Ucrania - que ha disparado los precios del gas natural en más del 50% desde 2022-, ha generado incertidumbre en los mercados energéticos globales. En octubre de 2025, los precios del petróleo crudo Brent superaron los 85 USD/barril, con picos de volatilidad del 15% en semanas clave debido a interrupciones en rutas comerciales como el Estrecho de Ormuz (donde se transporta aproximadamente el 30% del crudo mundial) [5]. Esta inestabilidad refuerza la urgencia de acelerar la transición hacia renovables, que ofrecen estabilidad de costos a largo plazo y autonomía frente a choques geopolíticos. Por ejemplo, países con alta capacidad renovable, como España (29.581 MW eólicos te-

rrestres y 50 GW proyectados en eólica marina) [6], pueden producir H_2V localmente, reduciendo su exposición a crisis externas.

CHINA Y EE. UU.: DOS ESTRATEGIAS OPUESTAS HACIA UN MISMO OBJETIVO

China: producción masiva y control de la cadena

China ha convertido el H_2V en un pilar de su estrategia industrial. En 2024, produjo 125 000 toneladas anuales de H_2V, casi la mitad de la oferta mundial, con una meta de 100 GW de electrolizadores para 2030 [7]. Domina el 60% de la fabricación global de electrolizadores, especialmente en tecnología alcalina (AWE, por sus siglas en inglés: Alkaline Water Electrolysis), con costos de 300-400 USD/kW [8]. Su liderazgo renovable es abrumador: 1819 GW instalados en 2024, incluyendo 609 GW solares y 466 GW eólicos [9].

Proyectos emblemáticos como la presa de las Tres Gargantas (22,5 GW) no son el límite de las ambiciones energéticas del gigante asiático; actualmente está en construcción la "Central Hidroeléctrica de los Tramos Inferiores del Río Yarlung Tsangpo" (conocido como Brahmaputra en India y Bangladés), planificada en la Región Autónoma del Tíbet, que entrará en operación completa en 2030 con 60 GW -equivalente a tres veces la capacidad de las Tres Gargantas-, generando aproximadamente 300 TWh y conectada mediante líneas de Ultra-Alta Tensión en Corriente Continua (UHVDC, por sus siglas en inglés: Ultra-High Voltage Direct Current) a 800 kV para maximizar eficiencia y minimizar pérdidas de transmisión [35]. La nueva planta solar fotovoltaica de Kubuqi (2 GW), que integra tecnología agrovoltaica como parte de la estrategia contra la desertificación, produce 30 000 t/año de H_2V [10].

En aplicaciones vehiculares, China lidera la adopción de H_2V. En 2024, operaba más de 12 000 autobuses de hidrógeno, 5 000 camiones pesados y 3 000 automóviles de pila de combustible, con planes para alcanzar 50 000 vehículos para 2030 [11]. Además, el amoníaco verde, un derivado del H_2V usado en el transporte marítimo y como precursor del hidrógeno turquesa, alcanzó una producción de 1,2 Mt en 2024, con un 30% destinado a descarbonizar el sector naviero [12]. China controla el 70% de la minería mundial y más del 90% del refinado de tierras raras [13], esenciales para turbinas, electrolizadores y baterías, consolidando su integración vertical desde la extracción hasta la exportación tecnológica.

EE. UU.: innovación tecnológica y autonomía industrial

EE. UU. apuesta por la innovación y la autonomía industrial. La Inflation Reduction Act (IRA, por sus siglas en inglés) asigna 370 mil millones USD a tecnologías limpias, con subsidios de hasta 3 USD/kg de H_2V [14]. La Estrategia Nacional de Hidrógeno apunta a 10 Mt/año para 2030 [15], priorizando electrolizadores de membrana de intercambio protónico (PEM, por sus siglas en inglés: Proton Exchange Membrane) y de óxido sólido (SOEC, por sus siglas en inglés: Solid Oxide Electrolysis Cells), más eficientes y adaptables [16]. Siete "Hydrogen Hubs" financiados federalmente integran producción y consumo industrial; el Departamento de Energía (DOE, por sus siglas en inglés) invirtió 7 mil millones USD para catalizar más de 40 mil millones en inversión privada, con una meta colectiva de 3 millones de toneladas métricas de hidrógeno limpio al año enfocado en H_2V [36]. Ejemplos incluyen: ARCHES (California), centrado en renovables y biomasa para descarbonizar transporte portuario; PNW H2 (Noroeste del Pacífico), exclusivo en H_2V con hidroeléctrica y eólica regional; y Appalachia Hub, enfocado en industria pesada con captura de carbono y renovables. En 2024, EE. UU. tenía 387 GW renovables (142 GW solar, 148 GW eólica) [17], con California liderando: su plan "Hydrogen Roadmap" incluye 1 GW de electrolizadores y 2000 vehículos de hidrógeno (autobuses y camiones) para 2028 [18].

En aplicaciones vehiculares, EE. UU. cuenta con 3500 estaciones de repostaje de hidrógeno y

4000 vehículos de pila de combustible, principalmente en California, con proyecciones de 15 000 para 2030 [20]. Para reducir la dependencia de China, EE. UU. impulsa el reciclaje de materiales críticos y la manufactura local. La estrategia "Critical Minerals Security" busca diversificar el acceso a tierras raras mediante alianzas con Canadá, Australia y África, incluyendo un acuerdo de 2025 para explotar depósitos en Tanzania [19].

TECNOLOGÍAS QUE IMPULSAN LA NUEVA GEOPOLÍTICA

Los electrolizadores son el núcleo del H_2V. Los modelos AWE dominan por su bajo costo; los PEM ofrecen mayor densidad energética y flexibilidad; y los SOEC, aún experimentales, prometen eficiencias superiores [21]. China ha reducido el costo de H_2V a menos de 2 USD/kg en regiones como Mongolia Interior, donde la planta solar de Kubuqi aprovecha 2 GW de capacidad renovable para producir 30 000 t/año de H_2V [10]. EE. UU. busca alcanzar 1 USD/kg para 2031, según el DOE [22].

El almacenamiento y transporte son igualmente críticos. China utiliza tanques de alta presión (700 bar) y tuberías dedicadas, con proyectos como el gasoducto de hidrógeno de Shandong (200 km) [23]. EE. UU. desarrolla soluciones de almacenamiento líquido a -253 °C y transporte mediante amoníaco verde, con tres terminales portuarias adaptadas en la Costa Oeste [24]. En términos de costos, el transporte de H_2V líquido por camión varía de 0,12 a 0,20 USD/kg para distancias redondas de 10 a 200 km, asumiendo producción a escala comercial [31]. La licuefacción y terminales muestran economías de escala: costos nivelados caen de 6,30 USD/kg para plantas de 5 toneladas métricas por día (MTPD, por sus siglas en inglés) a 3,00 USD/kg para 1.000 MTPD, con eficiencias de 9-13 kWh/kg-H_2 [31]. La Tabla 1 ilustra estas dinámicas.

TABLA 1: COSTOS DE TRANSPORTE Y LICUEFACCIÓN DE H_2V

COMPONENTE	ESCENARIO	COSTO NIVELADO (LCOH) (USD/kg-H_2)
Transporte (por camión LH_2, ida y vuelta) 10 km	0.12	
Transporte	50 km	0.13
Transporte	100 km	0.16
Transporte	150 km	0.18
Transporte	200 km	0.2
Licuefacción + Terminal	5 MTPD	6.30 (5.20 licuefacción + 1.00 terminal)
Licuefacción + Terminal	10 MTPD	5.20 (4.60 + 0.60)
Licuefacción + Terminal	50 MTPD	3.70 (3.40 + 0.30)
Licuefacción + Terminal	100 MTPD	3.30 (3.00 + 0.30)
Licuefacción + Terminal	500 MTPD	3.00 (2.70 + 0.20)
Licuefacción + Terminal	1000 MTPD	3.00 (2.70 + 0.20)

Fuente: **[31].** MTPD: Metrics tons per day, LOCH: Levelized cost of hydrogen*

La estandarización y el liderazgo industrial del H_2V dependerán tanto de la eficiencia de los equipos como del control de sus insumos. En última instancia, la ventaja competitiva emergerá donde se crucen innovación, manufactura y seguridad de suministro.

MATERIALES CRÍTICOS: EL NUEVO PETRÓLEO DEL SIGLO XXI

La producción y almacenamiento de H_2V dependen de minerales estratégicos: litio, níquel, grafito, cobalto, platino, iridio y tierras raras. China controla el 60% de la producción mundial de tierras raras, el 90% de su refinado, el 70% del grafito natural, el 80% del cobalto refinado (principalmente del Congo) y el 65% del níquel refinado [13, 25, 26, 27]. Antes de 2026, superará a Australia en producción de litio [28]. Esta dominación abarca desde la minería hasta el procesamiento, creando una dependencia global.

La UE, mediante el Critical Raw Materials Act (CRMA, por sus siglas en inglés), y EE. UU., con la IRA, buscan diversificar sus cadenas de suministro. El CRMA establece metas de reciclaje (25% para 2030) y asociaciones con países como Chile y Canadá [29]. EE. UU. impulsa la minería doméstica (ej., el proyecto Thacker Pass en Nevada) y acuerdos internacionales, como el de Tanzania [19]. Sin embargo, la dependencia de China persiste, limitando la autonomía industrial occidental.

ESCENARIOS GLOBALES A 2030 Y 2050

Hacia 2030, la capacidad global de electrolizadores podría superar los 95 GW, con una producción de hidrógeno limpio de 49 Mt/año [30]. BloombergNEF proyecta un crecimiento 30 veces mayor entre 2023 y 2030, con China, EE. UU. y la UE liderando el 80% del mercado [22]. Para 2050, la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) estima una demanda de H_2V y derivados de 260 Mt, soportada por 2,1 TW de electrolizadores y 4,7 TW de capacidad renovable [30].

China se perfila como exportador neto, con 6,3 Mt de H_2V equivalente, cubriendo su demanda interna y abasteciendo mercados globales [30]. Su control de materiales críticos y manufactura le otorga una ventaja estructural. EE. UU., aunque líder en innovación, podría depender de importaciones selectivas, incluso de China, si no escala su producción de tierras raras [30]. Europa enfrenta un desafío similar, importando hasta el 40% de su H_2V de Asia en escenarios conservadores [30]. Vehicularmente, China proyecta 1 millón de vehículos de hidrógeno para 2030 y 10 millones para 2050, mientras EE. UU. y la UE alcanzarían 500 000 y 700 000, respectivamente, para 2030, con un crecimiento exponencial hacia 2050 [11, 20]. En costos, para estaciones de 2-18 MTPD en 2030, el LCOH dispensado oscila entre 6,50-11,20 USD/kg para H_2V líquido entregado por camión y 3,80-12,60 USD/kg para producción in situ, variando con tasas de utilización (30%-80%) y sin considerar incentivos federales [31].

La integración con mercados eléctricos, como en California, muestra reducciones de costos del 15%-25% al combinar electrólisis con generación renovable a escala de utilidad [32].

ESPAÑA Y EUROPA: OPORTUNIDAD Y DESAFÍO

España, con su alta irradiación solar y capacidad eólica (29 581 MW terrestres y 50 GW proyectados en eólica marina), es un nodo clave para el H_2V en Europa [6]. El Valle del Hidrógeno de Cartagena, en Murcia, integra un puerto estratégico con la planta de 100 MW de Repsol, que usará electrolizadores PEM para producir 15 000 t/año, con una inversión de 300 M€ y 900 empleos creados [29]. El Puerto de Cartagena, con 3000 años de historia como centro comercial mediterráneo, es vital para exportar H_2V a Europa y África [30]. El Puerto de Valencia también avanza, con un proyecto de 20 MW de H_2V liderado por BP y Iberdrola, operativo para 2026 [30].

El Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) del Hidrógeno Renovable, con 1200 M€ de fondos públicos, impulsa la innovación y la infraestructura [30]. España produce el 10% del grafito europeo y explora depósitos de litio en Extremadura (potencial del 10% europeo) y wolframio en Salamanca (clave para catalizadores en electrolizadores), pero depende de importaciones para tierras raras [30, 34]. En aplicaciones vehiculares, España opera alrededor de 50 autobuses de hidrógeno (principalmente en Barcelona y Madrid) y ~20-30 camiones, con la UE proyectando 100 000 vehículos para 2030 [33]. La clave será invertir en reciclaje (25% para 2030) y fortalecer la industria local para reducir la dependencia de China y EE. UU. [29].

CONCLUSIONES: UN FUTURO SOSTENIBLE EN JUEGO

La carrera por el hidrógeno verde está configurando una nueva jerarquía energética global. China avanza hacia la hegemonía mediante la integración vertical de materiales críticos y manufactura a bajo costo, consolidándose como proveedor indispensable para economías emergentes y exportador neto de H_2V. Esta estrategia no solo garantiza su autosuficiencia, sino que amplifica su influencia en cadenas de suministro y en la configuración de alianzas comerciales en Asia y África.

Estados Unidos, en contraste, apuesta por la innovación disruptiva en tecnologías como PEM y SOEC, respaldada por incentivos fiscales sin precedentes. Su capacidad para contrarrestar la ventaja china dependerá de la rapidez con que logre diversificar el acceso a minerales estratégicos y escalar su manufactura doméstica. El éxito de esta estrategia exigirá superar barreras logísticas y consolidar alianzas transatlánticas que reduzcan su vulnerabilidad.

Europa, y en particular España, se encuentra en una encrucijada. Su potencial renovable la convierte en un nodo natural para la producción y exportación de H_2V, pero su dependencia de materias primas externas limita su autonomía. Acelerar la diversificación mediante el Critical Raw Materials Act, invertir en reciclaje y fortalecer la industria local serán pasos decisivos. Para España, la clave estará en combinar su ventaja geográfica y portuaria con una política exterior activa que asegure acuerdos bilaterales con proveedores minerales y consolide su papel como Hub mediterráneo del hidrógeno verde.

En definitiva, el H_2V no es únicamente un combustible: es un vector de poder que definirá quién establece las reglas del nuevo orden energético. La transición energética, si se gestiona con visión estratégica, puede convertirse en una oportunidad para alcanzar soberanía compartida y sostenibilidad global; de lo contrario, corre el riesgo de reproducir nuevas dependencias y tensiones geopolíticas. ●

REFERENCIAS

[1] Hydrogen Council, "Hydrogen Insights 2024," Sep. 2024.

[2] U.S. Department of Energy, "U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap," Nov. 2021 (actualizado 2025).

[3] European Commission, "Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe," 2020 (actualizado 2024).

[4] International Energy Agency (IEA), "The Future of Hydrogen," 2019 (actualizado 2024).

[5] Bloomberg, "Oil Prices Surge Amid Middle East Tensions," Oct. 2025.

[6] International Renewable Energy Agency (IRENA), "Hydrogen: A Renewable Energy Perspective," 2022 (actualizado 2024).

[7] BloombergNEF, "Global Hydrogen Investment Outlook," 2022 (actualizado 2025).

[8] H. Li, "China's Hydrogen Energy Outlook: Key Forecasts for 2025," Fuel Cells Works, Sep. 2025.

[9] IRENA, "Renewable Energy Statistics 2025," International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2025.

[10] China Energy News, "Kubuqi Solar-to-Hydrogen Project: A New Milestone," Jun. 2025.

[11] China Hydrogen Alliance, "Hydrogen Vehicle Market Report 2024," Sep. 2024.

[12] International Maritime Organization, "Ammonia as a Marine Fuel: 2024 Update," Aug. 2024.

[13] European Relations, "Green Hydrogen's New Great Game: Can Europe Compete in a China-Led Race?," Aug. 2025.

[14] Europeum Institute, "China vs. US: The Green Energy Race," 2024.

[15] U.S. Department of Energy, "Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office Multi-Year Plan," 2021 (actualizado 2025).

[16] J. Li et al., "Electrolyzer Technologies for Green Hydrogen Production," Applied Energy, vol. 310, 2022.

[17] Clean Investment Monitor, "The State of US Clean Energy Supply Chains in 2025," Apr. 2025.

[18] California Energy Commission, "Hydrogen Roadmap 2024," Jul. 2024.

[19] U.S. Geological Survey, "Critical Minerals Security: Tanzania Agreement," Mar. 2025.

[20] U.S. Department of Energy, "Hydrogen Vehicle Statistics 2024," Aug. 2024.

[21] China Briefing, "China's Hydrogen Energy Industry: State Policy, Investment Opportunities," 2024.

[22] U.S. Department of Energy, "Hydrogen: Made in America, for America," Mar. 2025.

[23] China National Energy Administration, "Shandong Hydrogen Pipeline Project," Apr. 2025.

[24] U.S. Department of Energy, "Hydrogen Port Infrastructure Report," Jun. 2025.

[25] Energy Transitions Commission, "Material and Resource Requirements for the Energy Transition," Aug. 2023.

[26] M. Peters, "Strategic Metals in the Energy Transition,"Nature Energy, vol. 7, 2022.

[27] S&P Global, "China to Lead in Green Hydrogen; Maritime Security Challenges," Sep. 2025.

[28] FTI Communications, "Use It or Lose It: U.S. Hydrogen Industry Must Act," Jul. 2025.

[29] European Commission, "Critical Raw Materials Act," 2023 (actualizado 2024).

[30] IRENA, "Analysis of the Potential for Green Hydrogen and Related Commodities Trade," International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2025.

[31] Bracci, Justin, Mariya Koleva, and Mark Chung. 2024. Levelized Cost of Dispensed Hydrogen for Heavy-Duty Vehicles. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5400-88818.

[32] Guerra Fernández, Omar José, Joshua Eichman, David J. Hurlbut, and Kaifeng Xu. 2022. Integrating Hydrogen Production and Electricity Markets: Analytical Insights from California. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A40-80902.

[33] Hydrogen Europe, "Clean Hydrogen Monitor 2025," Oct. 2025.

[34] Instituto Geológico y Minero de España (IGME), "Minerales Críticos en España: Evaluación 2025," Jun. 2025.

[35] Xinhua, "Chinese premier announces construction of Yarlung Zangbo hydropower project," Jul. 19, 2025. Available: https://english.news.cn/20250719/a2e4342fa63a492c95f646c73bd3313c/c.html.

[36] U.S. Department of Energy (DOE), "Regional Clean Hydrogen Hubs (H2Hubs)," Office of Clean Energy Demonstrations (OCED), 2023. Available: https://www.energy.gov/oced/regional- clean-hydrogen-hubs-0.

SEGURIDAD Y SALUD

JESÚS A. TEVA CÓRDOBA.
Jefe de la División de Seguridad Integral
de la Autoridad Portuaria de Tarragona.
Ingeniero en Organización Industrial. Ingeniero Técnico de Minas.

IMPLANTACIÓN DE DRONES EN LA GESTIÓN DE LA SEGURIDAD PORTUARIA

EL PUERTO DE TARRAGONA UTILIZA LA IMPLANTACIÓN DE DRONES COMO HERRAMIENTA DE MEJORA EN LA GESTIÓN DE LA SEGURIDAD PORTUARIA, UNA NUEVA TECNOLOGÍA QUE SIRVE PARA OFRECER UNA MAYOR EFICIENCIA DE LOS PROCESOS ASOCIADOS A LA SEGURIDAD INTEGRAL DEL ESPACIO DE DOMINIO PÚBLICO PORTUARIO.

RESUMEN

Desde hace unos años se extiende el uso de los drones en diferentes sectores de actividad como consecuencia de las ventajas que representan en relación con otras tecnologías: la posibilidad de adaptarse a diferentes usos (inspección industrial, agrícola, fotografía, filmación, topografía, LEDAR, termografía, vigilancia, control ambiental…), el ahorro de costes respecto a los servicios tripulados convencionales, su relativa facilidad de uso y la facilidad de acceso a lugares a los que los vehículos tripulados convencionales no pueden.

Los cambios normativos que como consecuencia de la adaptación del marco jurídico nacional a la legislación europea se han realizado en los últimos años y más recientemente con la entrada en vigor del Real Decreto 517/2024, de 4 de junio, por el que se desarrolla el régimen jurídico para la utilización civil de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS), facilitarán su implantación definitiva en los diferentes sectores productivos que ya los utilizan o que implantarán su uso a corto y medio plazo.

La Autoridad Portuaria de Tarragona no es ajena a estos cambios y mejoras tecnológicas. Su elevado compromiso con la gestión de la seguridad integral se ha traducido en la apuesta decidida por el uso de drones para la vigilancia y el control perimetral del espacio de dominio público portuario, la ayuda en la gestión de emergencias y en sucesos relacionados con la contaminación de la lámina de agua, entre otros.

PALABRAS CLAVE

Drones, seguridad integral, puertos de interés general, innovación.

ABSTRACT

In recent years, the use of drones has expanded across various sectors due to the advantages they offer over other technologies: adaptability to different applications (industrial inspection, agriculture, photography, filming, surveying, LiDAR, thermography, surveillance, environmental monitoring…), cost savings compared to conventional manned services, their relative ease of use, and their ability to access areas unreachable by traditional manned vehicles.

The regulatory changes stemming from the adaptation of the national legal framework to European legislation in recent years, and more recently with the entry into force of Royal Decree 517/2024 of June 4, which establishes the legal regime for the civil use of unmanned aircraft systems (UAS), will facilitate their definitive integration into various productive sectors that already use them or plan to implement their use in the short and medium term.

The Port Authority of Tarragona is not indifferent to these changes and technological advancements. Its strong commitment to comprehensive security management has led to a decisive adoption of drones for perimeter surveillance and control of public port domain areas, assistance in emergency management, and incidents related to water surface pollution, among other uses.

KEYWORDS

UAS, safety and security, ports, innovation.

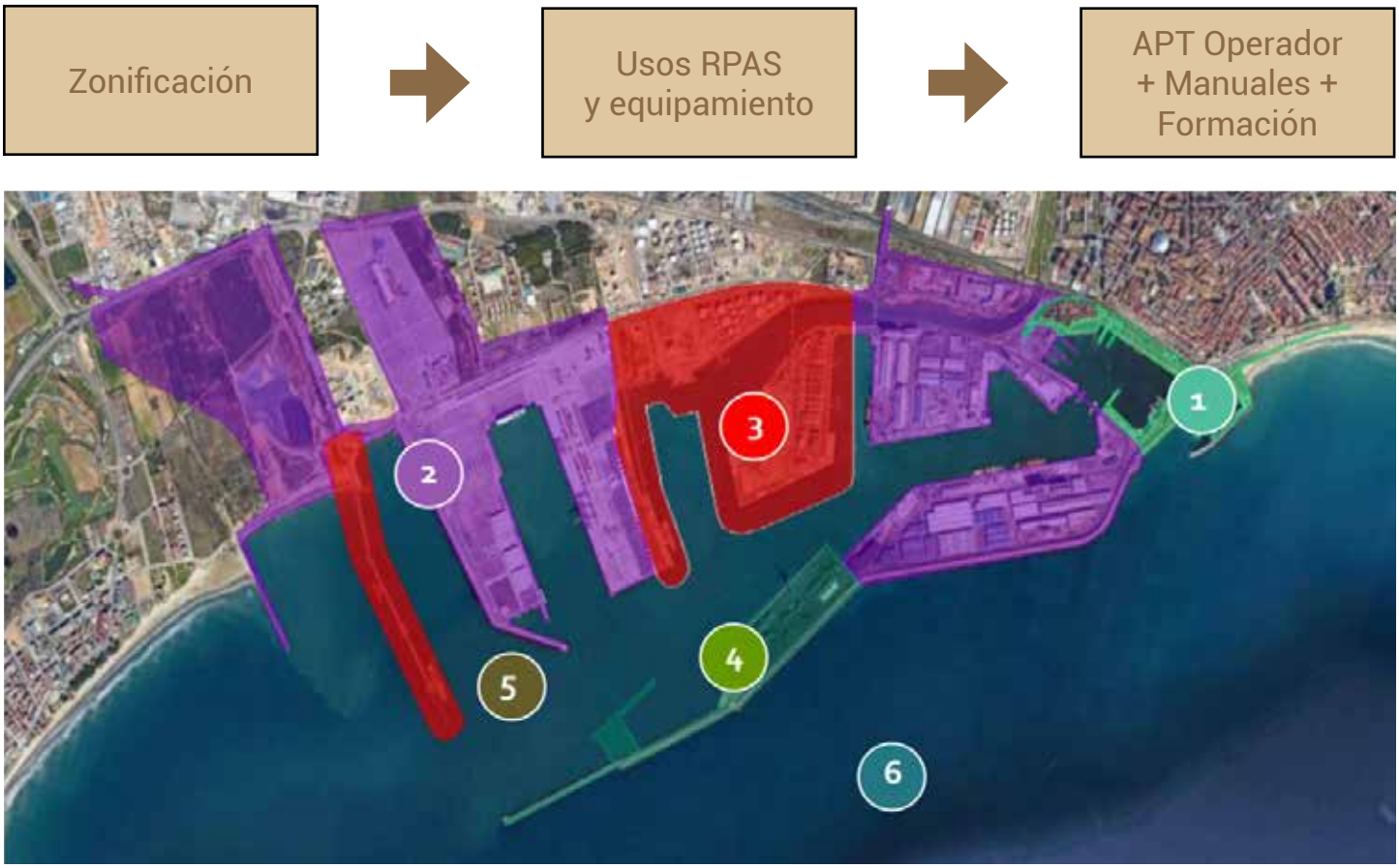


Ilustración 1. Fases de desarrollo de la implantación de drones en la Autoridad Portuaria de Tarragona.

MARCO NORMATIVO

Tal y como recoge la actual normativa nacional que desarrolla el régimen jurídico para la utilización civil de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS), la entrada en vigor del Reglamento (UE) 2018/1139 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2018, sobre normas comunes en el ámbito de la aviación civil y por el que se crea una Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea, (Reglamento Base), introdujo dos modificaciones relevantes en el régimen jurídico aplicable a las aeronaves no tripuladas.

La primera de ellas en lo que se refiere a la definición de este tipo de aeronaves y la segunda en cuanto al ámbito de aplicación del Reglamento, excluyendo las actividades NO EASA (aquellas utilizadas para llevar a cabo actividades o servicios de aduanas, policía, búsqueda y salvamento, lucha contra incendios, control fronterizo, vigilancia costera o similares, entre las que se incluyen las de vigilancia y disciplina del tráfico en todo el territorio nacional, que quedan bajo la competencia de cada Estado miembro.

Este Reglamento Base se ha desarrollado normativamente mediante tres Reglamentos adicionales:

- Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión, de 12 de marzo de 2019, sobre los sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas (en los sucesivo, «Reglamento Delegado»).
- Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, de 24 de mayo de 2019, relativo a las normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas (en lo sucesivo, «Reglamento de Ejecución»).
- Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664 de la Comisión de 22 de abril de 2021 sobre un marco regulador para el U-Space («en adelante Reglamento U-Space»)

El Real Decreto 517/2024, de 4 de junio, por el que se desarrolla el régimen jurídico para la utilización civil de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) viene a completar el régimen jurídico aplicable a la utilización civil de UAS sujetos a la regulación de la Unión Europea, y a regular las actividades excluidas de la normativa europea a las que se extiende la sujeción al régimen previsto en el Reglamento de Ejecución, con las especificidades necesarias para la realización de las actividades o servicios no EASA.

MODELOS DE DRON DE LOS QUE DISPONE LA APT

DJI MINI 3 PRO

DJI MATRICE 300 RTK + ZENMUSE H20T

DJI MAVIC 3T RTK

Infraestructuras críticas

Junto con la normativa específica señalada anteriormente, cabe señalar que los puertos de interés general están sujetos a lo dispuesto en la normativa que afecta a las infraestructuras críticas:

La Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que se establecen medidas para la protección de las infraestructuras críticas.

El Real Decreto 704/2011, de 20 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de protección de las infraestructuras críticas.

Normativa que también se ha de tener presente en lo que afecta a la realización de las operativas UAS en los espacios de dominio público portuario, tanto propias de las Autoridades Portuarias como las realizadas por terceros.

UN PROYECTO INNOVADOR

El planteamiento del uso de drones en la Autoridad Portuaria de Tarragona se inició en julio de 2021, de la mano de SENASA. Para la organización era necesario dar un paso adelante en la utilización efectiva de los drones como herramienta que mejorase los usos relacionados con la seguridad: vigilancia y control perimetral del recinto portuario, soporte en la gestión de emergencias y ayuda en el control ambiental y los sucesos de contaminación de la lámina de agua.

La especificidad y particularidad del entorno aeronáutico hacía necesario contar con una empresa especializada como SENASA, que orientase y guiase a la organización en el proceso de implantación efectiva de los drones.

El proceso se dividió en tres fases, que concluyeron en septiembre de 2023, permitiendo a la Autoridad Portuaria disponer de una flota de drones y pilotos propios que desde esa fecha, realizan operativas con drones de manera recurrente, para los usos anteriormente indicados. Consistieron en:

- Fase 1: Zonificación portuaria, atendiendo a los diferentes riesgos que, para las operativas con drones, existen en el puerto atendiendo a las características intrínsecas de cada zona: tipología de infraestructuras existentes o tipo de mercancía. En esta fase también se incluyó una mejora del procedimiento administrativo para la autorización de operativas de terceros en la zona de dominio público portuario.
- Fase 2: Identificación de las diferentes opciones existentes en el mercado para dar respuesta adecuada a los usos planteados, identificando aquellas que mejor relación coste-beneficio presentaban. Esto permitió la licitación pertinente para adquirir el equipamiento necesario para realizar las operativas UAS adecuadamente.
- Fase 3: Formación (110 h por alumno) del primer grupo de pilotos a incluir en la fase de lanzamiento del proyecto (9 personas de la plantilla de la APT), así como la elaboración del Manual de operaciones para operar en las categorías abierta (A1/A3 y 2), STS-ES-01 y STS-ES-02.

GESTIÓN DE LAS OPERACIONES UAS.

El proceso de mejora continua que caracteriza a la organización en el ámbito de la seguridad ha permitido disponer en 2024 de:

- Un nuevo Manual de Operaciones adaptado a los cambios normativos introducidos por el RD 517/2024.
- Formación propia para 11 nuevos pilotos que forman parte de la plantilla de la Autoridad Portuaria.
- Disponer de un software de gestión de las operaciones UAS que, entre otras cosas, permite actualizar de manera automática el libro de vuelo de los diferentes pilotos. Este software es proporcionado actualmente por el Instituto Tecnológico de Galicia (ITG) que, de manera continuada, adapta el mismo a las necesidades específicas de la APT.

Además, anualmente se realizan, a través de SENASA, auditorías que permiten acreditar la adecuada actuación operativa por parte de la Autoridad Portuaria y el cumplimiento de lo establecido en el Manual de Operaciones UAS. Estas auditorías permiten disponer de un certificado de cumplimiento emitido por SENASA que acredita el correcto proceder en las operaciones con drones.

Actualmente la APT disponer de los siguientes drones:

- 2 ud DJI MINI 3 PRO.
- 1 ud DJI MATRICE 300 RTK + ZENMUSE H20T, con estación de carga inteligente.
- 2 ud DJI MAVIC 3T RTK con estación de carga.

A esto, se une un emisor de imágenes en tiempo real (HAI-VISION) dotado con la última tecnología para asegurar una correcta recepción de estas en el Centro de Control Portuario (CCP), sala de emergencias, o equipos portátiles autorizados.

El número total de pilotos formados que forman parte de la plantilla propia de la APT es de 20 personas.

PROYECTOS DE INNOVACIÓN RELACIONADOS CON EL USO DE DRONES.

La Autoridad Portuaria de Tarragona trabaja en el desarrollo de nuevos usos adicionales a los anteriormente referidos y relacionados con la seguridad, buscando una mejora de la eficiencia en la prestación de servicios portuarios o control de infraestructuras, por ejemplo.

La primera línea de trabajo que se está desarrollando, consiste en la caracterización de estibas de graneles sólidos que son uno de los principales tráficos del puerto. Mediante el vuelo automático de un dron, se obtienen ortofotos que se tratan en un software de la empresa OCTOCAM MAPS, lo que permite obtener una imagen en 3D de la mercancía, superficie ocupada por la misma en muelle, volumen y altura máxima de la parva. Esto permitirá mejorar en un futuro los procesos relacionados con la caracterización de la mercancía y una mejora en la facturación asociada a la ocupación del espacio por la misma.

En futuras versiones se pretende disponer de imágenes termográficas que permitan obtener un mapa de temperaturas, así como la humedad de las parvas (lo que mejorará la prevención y la seguridad asociadas a la gestión de esta tipología de mercancías).

Igualmente se pretende disponer de herramientas de procesamiento de imagen que permitan el contaje automático de vehículos o contenedores en los muelles de las terminales que desarrollan su actividad en el puerto de Tarragona.

Otros ámbitos en los que el uso de drones permitirá una mejor y más eficiente gestión portuaria será:

- El control de infraestructuras y obras.
- Vigilancia y control de accesos, mediante la identificación de personas acreditadas.
- Utilización de sensores que permitan una mejora del control ambiental.
- Vuelos autónomos con empleo de diferentes nidos ubicados en el recinto portuario.
- Ayuda en la realización de gemelos digitales.

La Autoridad Portuaria de Tarragona participa activamente en la innovación relacionada con drones y a través de la plataforma de innovación PORTS 4.0, liderada por Puertos del Estado, participa en dos proyectos innovadores relacionados con el uso de drones y la mejora de la eficiencia portuaria y la seguridad.

CONCLUSIONES.

El compromiso de la Autoridad Portuaria de Tarragona con la seguridad integral en su espacio de responsabilidad, así como los procesos de mejora continua que implementa, llevaron a la organización a trabajar activamente en las soluciones con drones como herramienta diferenciadora en el marco de la gestión de la seguridad (vigilancia y control perimetral, emergencias y contaminación marítima accidental), buscando una mayor eficiencia y

disponer de mejor y más abundante información que ayude a la mejora continuada de la seguridad y sirva de soporte en la toma de decisiones.

Si bien la adaptación normativa del marco jurídico nacional ha supuesto un cambio en las reglas de juego con las que comenzó el proyecto, la armonización de las normas con el marco general definido por la Unión Europea se traduce en un escenario de mayor facilidad para la realización de las operativas UAS que hará extensiva su utilización a un gran número de usos.

La utilización de drones por parte de la Autoridad Portuaria es una realidad, viendo culminado un proceso que se inició en 2021 (2023 con inicio de operativas), disponiendo de nuevas herramientas que mejoran de manera significa la gestión de la seguridad portuaria y que permitirán, a medio plazo, una mejora en la eficiencia de diferentes procesos de gestión portuaria. Las operativas UAS disponen de un amplio margen de innovación y nuevas prestaciones de las que el sector portuario, como otros sectores de la economía, sin duda alguna, se beneficiará.

ACTUALIDAD

INGITE PRESENTA EL III INFORME SOBRE ESTUDIOS UNIVERSITARIOS EN INGENIERÍA

REDACCIÓN

La caída de vocaciones y el auge de titulaciones sin atribuciones profesionales ponen en riesgo el futuro de la Ingeniería en España, según los datos que arroja el **III Informe sobre los Estudios Universitarios en Ingeniería** presentados por INGITE el pasado mes de noviembre de 2025. Analizamos también en este artículo los datos que se recogen en este Informe relativos a los estudios de Grado en Energía y Minas y los másteres en este ámbito.

El Instituto de Graduados en Ingeniería e Ingenieros Técnicos de España (INGITE) presentó el pasado 26 de noviembre el III Informe "Análisis de los estudios universitarios en Ingeniería", una radiografía exhaustiva de la situación de las titulaciones de Ingeniería en España elaborada a partir de los últimos datos publicados por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (octubre 2025).

El estudio revela una realidad preocupante**: las vocaciones y los egresados en Ingeniería han experimentado un descenso constante durante las últimas décadas**, comprometiendo la capacidad del país para responder a los retos tecnológicos, industriales y de transición energética que ya están afectando al modelo productivo. Este escenario evidencia la urgencia de avanzar hacia una Ley de la Ingeniería que modernice el marco profesional, ordene la oferta formativa y elimine la fragmentación actual en el marco de estudios universitarios.

UN 33% MENOS DE VOCACIONES

Según el informe, el número **de estudiantes matriculados en titulaciones de Ingeniería ha caído un 33% desde el periodo 2002-2003.** Mientras en 1985-86 los estudios de Ingeniería representaban el 14% del total universitario, alcanzaron su máximo en 2002-2003 con un 24%, para descender hasta el 17% en el curso 2024-2025.

"Este retroceso consolida una tendencia estructural que pone en riesgo la disponibilidad de profesionales cualificados en sectores estratégicos. España no puede permitirse un déficit de talento técnico justo cuando más lo necesita. El número de ingenieros que finaliza sus estudios es hoy insuficiente para atender las demandas de la industria, la digitalización y la transición ecológica", advierte José Antonio Galdón Ruiz, presidente de INGITE.

Aunque la participación femenina en la Ingeniería sigue siendo reducida, los datos muestran una evolución positiva que no debe pasar desapercibida. **Las mujeres representan actualmente el 23,13% del alumnado de Grado y el 28,32% en Máster,** cifras que continúan siendo minoritarias pero que han avanzado de forma constante en la última década.

De hecho, **el número de matriculadas en Grados de Ingeniería ha crecido un 36,63% en diez años,** y en el caso de los Grados no habilitantes el aumento alcanza un llamativo 76,49%. En términos de resultados académicos, también se aprecia un desempeño destacado**: las egresadas en Grado han aumentado un 20% en nueve años,** superando el ritmo de crecimiento de los hombres.

Gráfico 1. Evolución de los matriculados en ingeniería en los últimos 40 años

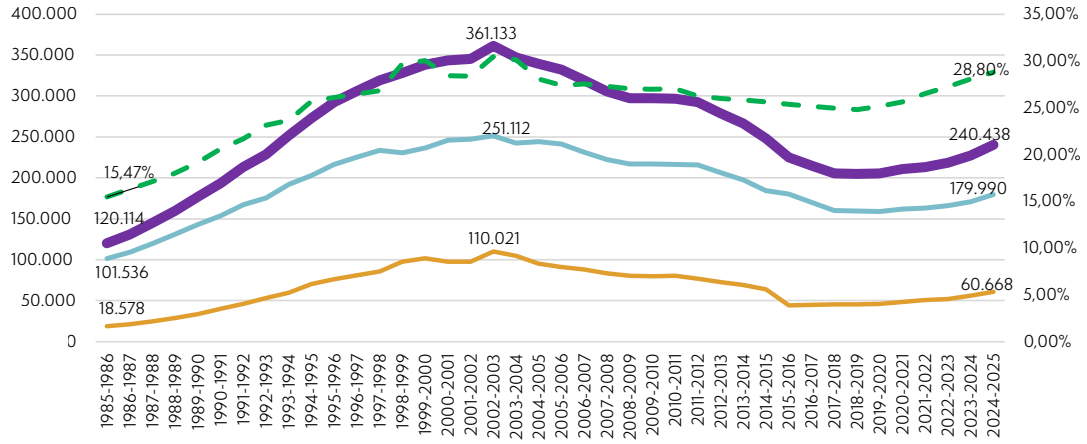
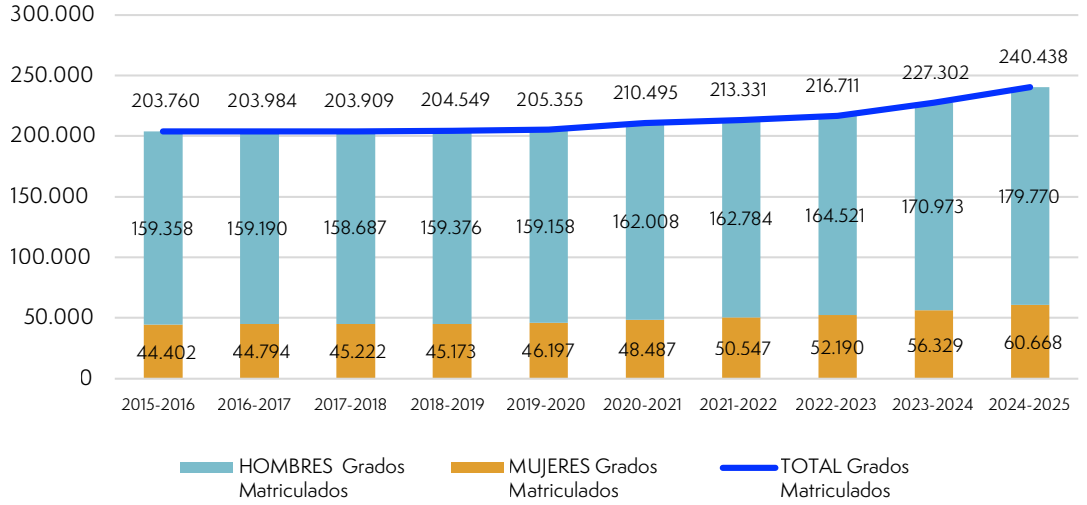


Grafico 2. Mujeres y hombres matriculados en titulaciones de grado de ingeniería. Evolución



MÁS TITULACIONES, PERO NO HABILITANTES PARA EJERCER LA PROFESIÓN

El informe evidencia otro fenómeno de creciente impacto: **una tasa de abandono de los estudios que ronda el 50% y la proliferación de titulaciones no habilitantes.** En titulaciones de Grado en Ingeniería, el 53% no otorgan atribuciones profesionales. INGITE alerta de que esta expansión, en muchos casos desvinculada de las necesidades del sistema profesional y productivo, "*genera confusión entre los estudiantes y merma la garantía de calidad y seguridad que requieren las profesiones reguladas de Ingeniería*".

El Instituto de Graduados en Ingeniería e Ingenieros Técnicos de España considera urgente adoptar medidas decididas para reforzar las vocaciones STEM, mejorar la orientación académica, asegurar la calidad y atribuciones de las titulaciones de Ingeniería y planificar la oferta universitaria en función de las necesidades reales del país.

En todos estos aspectos, **resulta necesaria una Ley de Ingeniería que proponga un marco regulador estable** que devuelva claridad, atractivo y seguridad al itinerario formativo-profesional de la Ingeniería. "No es solo una reivindicación profesional; es una cuestión de Estado. Sin ingenieros suficientes y bien formados, España no podrá afrontar sus grandes desafíos: sostenibilidad, innovación, digitalización, industria, energía y seguridad", concluye el presidente de INGITE.

EN ENERGÍA Y MINAS TAMBIÉN DESCIENDEN LAS MATRICULACIONES

Como en informes anteriores, se incluyen en primer lugar, datos de la evolución de los matriculados y egresados en Ingeniería durante los últimos 40 años, y posteriormente se ofrecen datos del total de titulaciones de Grado y Master por ramas, titulaciones nuevas, números de titulaciones de ingeniería habilitantes y no habilitantes, etc.

También se incluye un bloque en el que se realiza un análisis de titulaciones de grado y de master por cada rama de la ingeniería, y entre ellas, lógicamente se incluyen los datos de los **Grados en Minas y Energía,** en los cuáles nos vamos a detener a continuación.

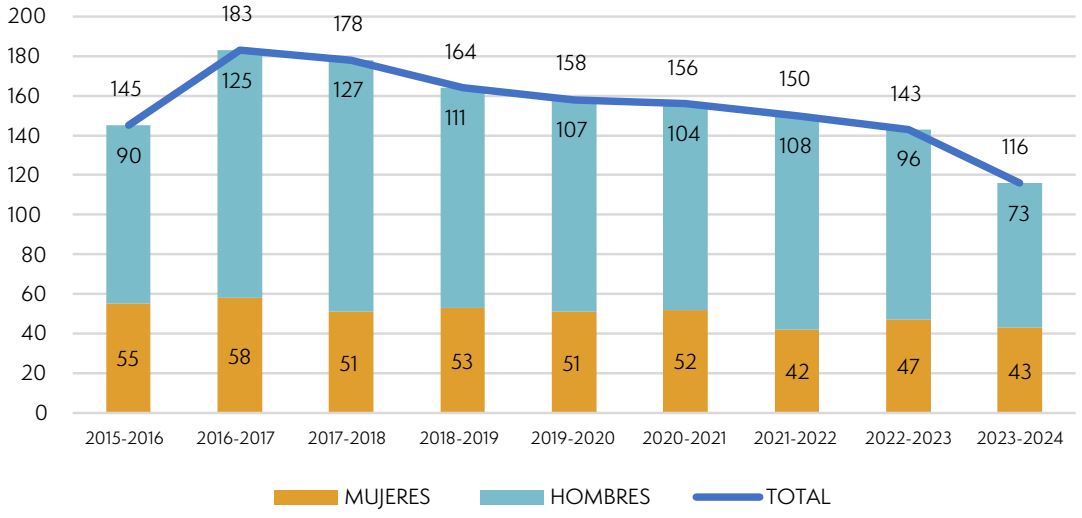


Grafico3. Mujeres y hombres matriculados en la titulación de MInas y Energía. Evolución

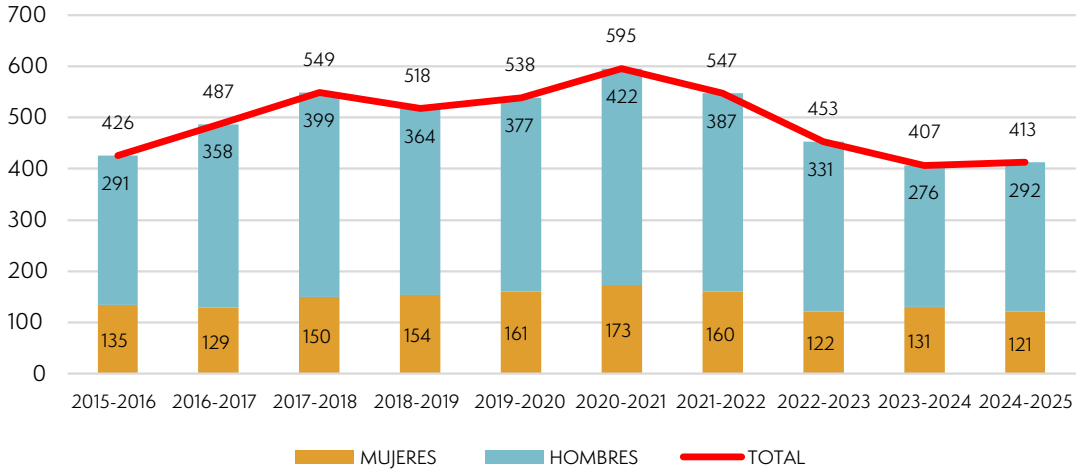


Gráfico 4. Matriculados en grados habilitantes y no habilitantes en la titulación de MInas y Energía. Evolución

Al igual que ocurre con los datos de descenso global de todas las ramas de la ingeniería, **en los últimos 10 años, el número total de matriculados se ha reducido en un -43,23%.** Y, en el mismo periodo, el total de mujeres matriculadas se ha reducido en un -46,87% y un -41,87% en el caso de los hombres. Sin embargo, respecto al año anterior**, el total de matriculados ha aumentado un 14,21%.**

En lo que respecta a los **matriculados en grados habilitantes y no habilitantes,** del total de 33 titulaciones en la rama de Minas y Energía, 29 son habilitantes frente a 4 que son no habilitantes.

En los últimos 10 años, los matriculados en títulos de Grado habilitante han decrecido **un -44,56% y un - 37,66%** se han reducido los matriculados en Grado no habilitante. Respecto al año anterior, el número de matriculados en titulaciones de Grado no habilitante aumenta un 11,14. En la actualidad, los matriculados en Grados no habilitantes suponen un 21,2%.

Y en cuanto a los datos de egresados (los alumnos que finalmente terminan sus estudios), **el número total de egresados en los últimos 9 años se ha reducido un -69,06%.** En el mismo periodo, el total de mujeres egresadas ha decrecido en un -63,64%. El descenso en el total de hombres egresados se cifra en un -71,14%. Respecto al año anterior, la disminución del número de egresados se cifra en un -8,99%.

Y en lo que respecta a los egresados**, del total de las 28 titulaciones, 24 son habilitantes y 4 no habilitantes.** El total de egresados en Grados habilitantes en los últimos 9 años se ha reducido en un -71,90%. Frente a ello, el total de egresados en Grados no habilitantes ha disminuido un -56,73% en los últimos 9 años. Respecto al año anterior, se mantiene el número de egresados en titulaciones de Grado no habilitante**. Los egresados en Grados no habilitantes suponen un 26,2% en la actualidad.**

Por último, un dato a resaltar que destaca el informe es que, como se aprecia en el Gráfico 7 —en la siguiente página—, **la tasa de graduación es superior en mujeres que en hombres**. En el periodo analizado entre los años 2023 y 2024, esta cifra se eleva hasta el 33.94% en mujeres, frente al 26,03% registrado por los hombres.

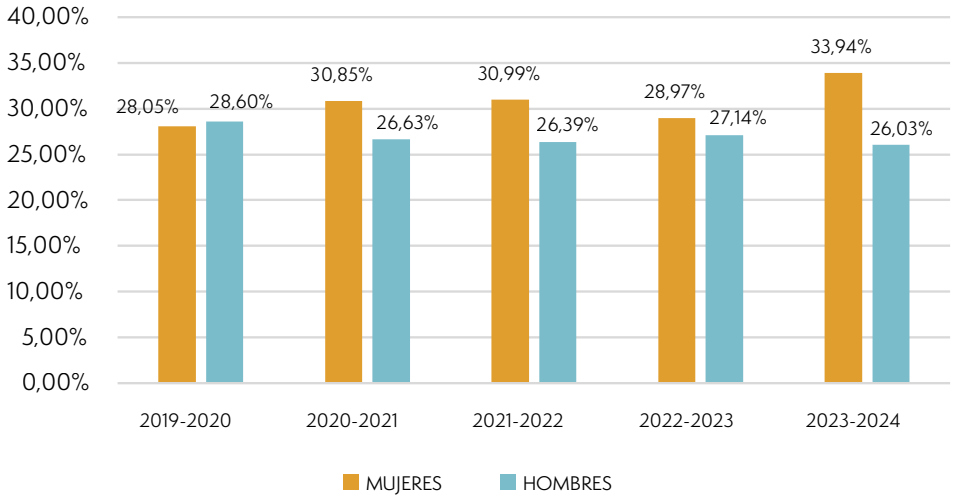


Grafico5. Mujeres y hombres egresados en titulaciones de grado de ingeniería. Evolución

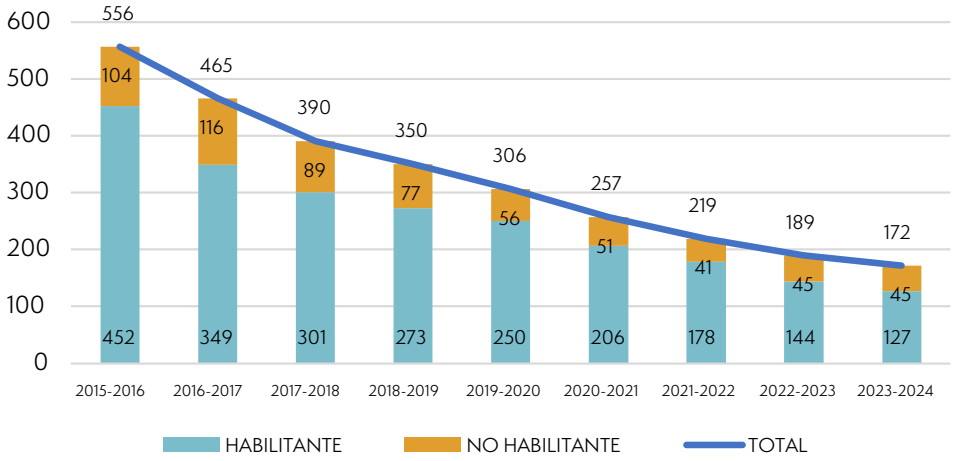


Gráfico6. Egresados habilitantes frente a No habilitantes

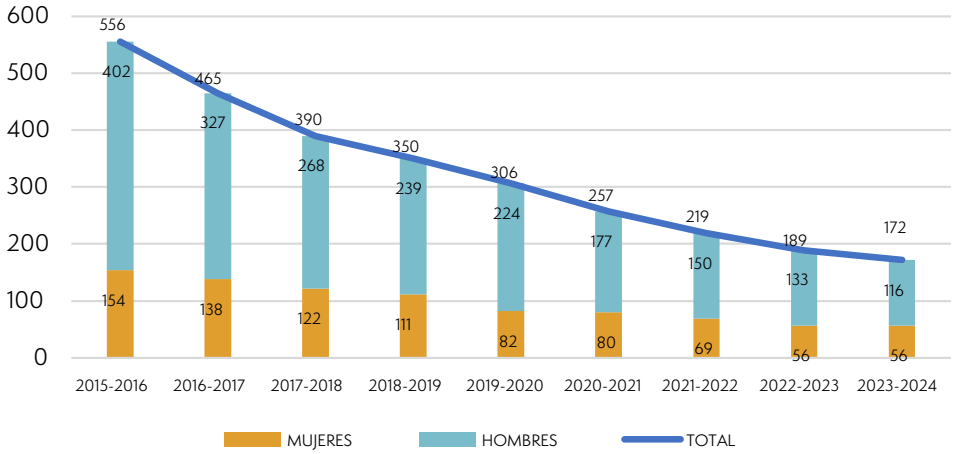


Grafico7. Tasa de graduacion en hombres y mujeres

DISMINUCIÓN DE LA MATRICULACION EN MASTERES NO HABILITANTES

En lo que se refiere a los datos de masteres de la rama de Energía y Minas, en los últimos 10 años, **ha disminuido un -10,37% el total de mujeres matriculadas en titulaciones de Máster**. En comparación al periodo 2023-2024, el número de mujeres se ha reducido un -7,63%. Y, el número de hombres matriculados en titulaciones de Máster se ha incrementado un 0,34% en los últimos 10 años. Respecto al periodo 2023-2024, el aumento se concreta en un 5,80%.

Y los matriculados en titulaciones de Máster Habilitantes en Minas y energía en los últimos 10 años ha disminuido un -4,18%. Respecto al periodo 2023-2024, ha decrecido un -0,79%. En los últimos 10 años, el conjunto de matriculados en titulaciones de Máster no habilitantes se ha reducido en un -1,23%. Respecto al periodo 2023-2024, se ha registrado un incremento de un 5,23%.

Si comparamos las matriculaciones, con los egresados, los datos varían, dado que, **en los últimos 9 años, el número de mujeres**

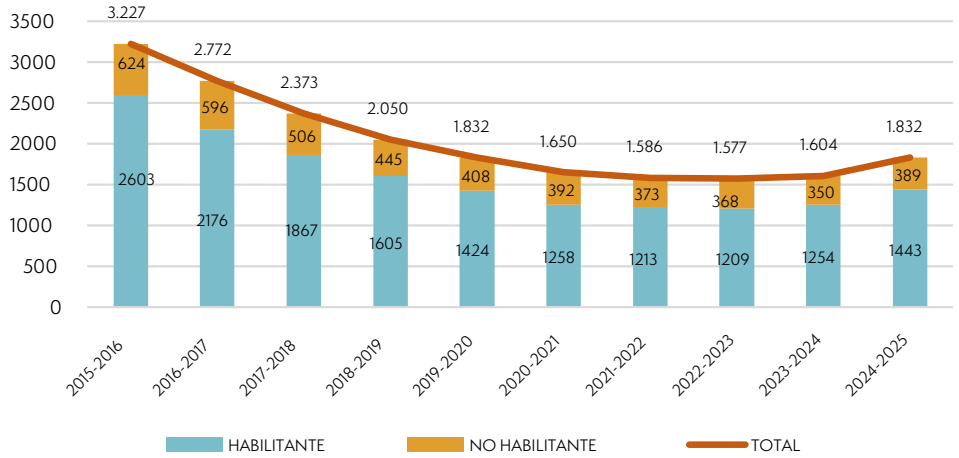


Grafico8. Matriculaciones en masteres de MInas y Energía

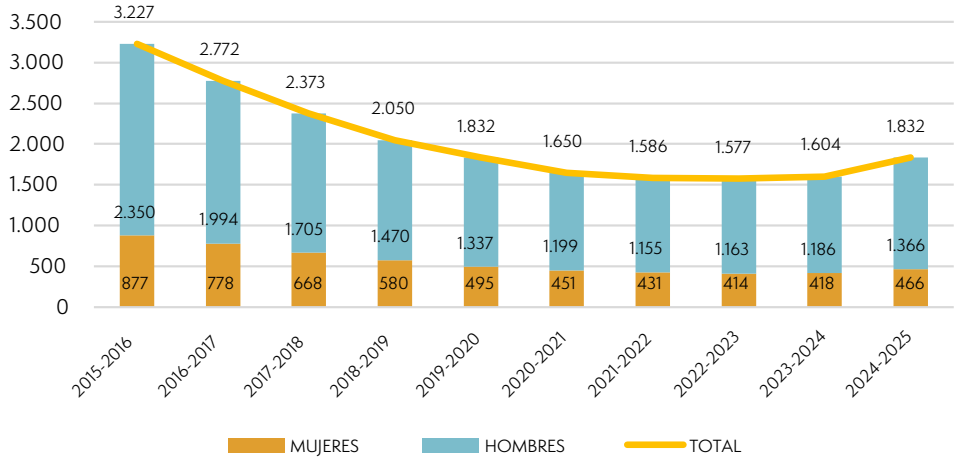


Grafico9. Egresados en masteres de MInas y Energía

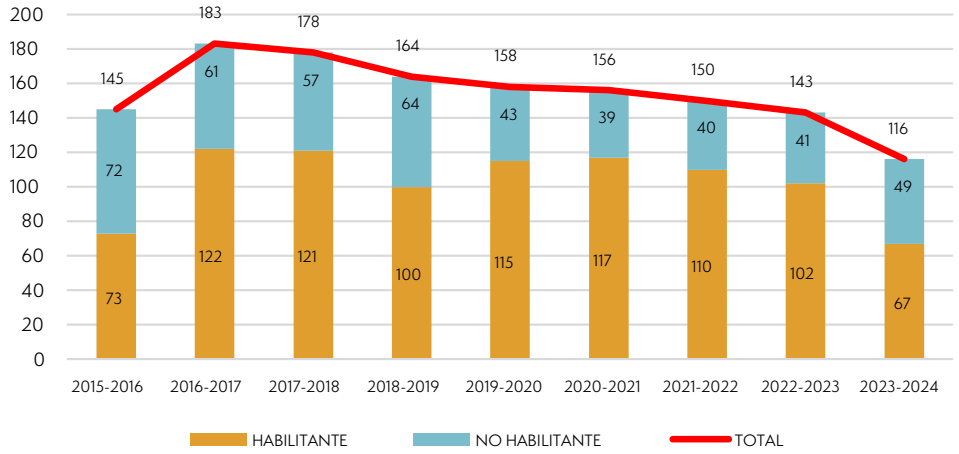


Grafico10. Egresados en masteres habilitantes frente a No habilitantes

egresadas en titulaciones de Máster se ha visto reducido en un -21,83%. Respecto al periodo 2022-2023, la disminución se concreta en un -8,50%. Y, los hombres egresados en titulaciones de Máster en Minas y Energía se han reducido en un -18,88% en los últimos 9 años. Respecto al periodo 2022-2023, se ha reducido un -23,96%.

Por último comentar que en los últimos 9 años, **los egresados en titulaciones de Máster habilitantes han disminuido un -8,22%.** Respecto al periodo 2022-2023, la reducción registrada es de un -34,31%.

Y los egresados en titulaciones de Máster no habilitantes se han reducido un -31,94% en los últimos 9 años. Respecto al periodo 2022-2023, han registrado un aumento del 19,51%.

Como conclusión de este descenso de los matriculados en masteres, en general, podemos sacar como datos positivo, que no es necesario cursar un master para ejercer la profesión de Graduado en Ingeniería de Energía y Minas, cosa que se viene recalcando tanto desde el INGITE, como desde el propio Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía. ●

ARTICULANDO CIENCIA, INDUSTRIA Y SOCIEDAD POR UN FUTURO SOSTENIBLE

UNA FUNDACIÓN CON PROPÓSITO

La Fundación Minería y Vida nace como una herramienta de encuentro entre la responsabilidad social corporativa, la industria extractiva y la sociedad, con el propósito de seguir fomentando y dando a conocer la minería responsable, transparente y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La actividad extractiva aún es desconocida para la sociedad y genera tensiones ambientales y sociales. Es por ello que se hace urgente comunicar, divulgar y diseminar esta actividad esencial del ser humano y de nuestro país.

La Fundación está formada, por una parte, por sus patronos fundadores, las asociaciones profesionales, colegios de ingenieros y geólogos, universidades y sindicatos mayoritarios; y, por otro lado, por empresas que, a título personal, realizan una donación con periodicidad anual que dota de presupuesto al proyecto.

Desde la creación de la Fundación en 2021, y con el inicio de las acciones del proyecto Rocas y Minerales, Sociedad y Vida en 2023, la Fundación ha trabajado para acercar a la sociedad una visión moderna, responsable y sostenible de la minería. Su propósito es claro: hacer compatible el desarro-

llo económico y social con la gestión ética de los recursos naturales, el respeto al medio ambiente y la mejora de la calidad de vida. Esta misión se traduce en una serie de objetivos que abarcan desde la educación y la divulgación científica hasta la innovación tecnológica, la inclusión social y el desarrollo territorial.

El proyecto de la Fundación "Rocas y Minerales, Sociedad y Vida" articula 34 acciones concretas en cuatro áreas distintas como son la sostenibilidad y las relaciones sociales, la educación, la imagen y comunicación y la coordinación y optimización interna del sector. Estas áreas conjugan con la percepción social de la minería, la sostenibilidad ambiental, la coordinación sectorial y las relaciones con la ciudadanía, buscando mostrar cómo los minerales están presentes en nuestra vida diaria y cómo una minería bien gestionada puede ser firme aliada del progreso.

ACCIONES DEL PROYECTO ROCAS Y MINERALES, SOCIEDAD Y VIDA

A la fecha, la Fundación ya ha iniciado 26 de las 34 acciones previstas, con distinto grado de desarrollo. En función del presupuesto anual otorgado por patronos y donantes, se planifican los siguientes pasos, dando preferencia a aquellas acciones 'llave' que permiten, con su avance, combinarse con otras o incluso la creación de recursos que puedan ser utilizados en distintos canales.

Figura 2. Áreas del proyecto Rocas y Minerales, Sociedad y Vida

Figura 3. Acciones del área de educación.

Dentro del primer bloque (la educación), las acciones van encaminadas a actualizar los recursos didácticos sobre rocas, minerales, sus usos y sus aplicaciones, brindando información de todos los que se producen en territorio nacional. Esta información, mediante paneles, trípticos y otras publicaciones, se reproduce también en formato digital en la página web, quedando al alcance de toda la sociedad con tan solo un clic. Por si no fuera suficiente, no se espera a que los profesores o el personal docente lo descubra por sí mismo, sino que se están creando repositorios digitales para la comunidad educativa organizada por edades o niveles, siempre relacionados con las ciencias de la tierra, la geología y la minería.

En el segundo bloque (imagen y divulgación), las acciones están diseñadas para maximizar la presencia de la importancia del sector industrial nacional y sus logros en materia de sostenibilidad, medio ambiente o valor añadido a la sociedad.

En el tercer bloque (sostenibilidad y relaciones sociales), las acciones se centran en las relaciones con los agentes implicados en la industria extractiva, bien sean empresas, grupos conservacionistas o de desarrollo rural, o la sociedad en general por medio de los habitantes de las poblaciones en torno a un proyecto. Además, este bloque incluye la creación de guías que ayuden a las empresas más pequeñas a implantar de manera sencilla los avances sociales con pequeñas formaciones o webinars. El foro de debate de la Fundación que se organiza con carácter anual es, quizá, la acción estrella donde se dan cita todos estos colectivos para tratar de identificar los problemas que puedan existir. Estos son llevados al Consejo Asesor de la Fundación, donde un par de representantes de cada colectivo se reúnen y ofrecen alternativas para solucionarlos. Las

PROYECTO ROCAS Y MINERALES, SOCIEDAD Y VIDA

"LA MINERÍA, BASE DE NUESTRO DESARROLLO COMO SOCIEDAD"

El proyecto está estructurado en cuatro ámbitos de trabajo (Educación, Imagen y divulgación, sostenibilidad y relaciones sociales y optimización y coordinación) y consta de los siguientes fines y acciones:

1. Acciones educativas, formativas y culturales para formar, explicar y divulgar en Colegios, Escuelas, Institutos, Universidades, Foros, etc., a colectivos de estudiantes y al conjunto de la Sociedad, la importancia de la industria española de las materias primas de rocas y minerales, su contribución a la sostenibilidad y su papel en la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos de generaciones presentes y futuras.

2. Generación de valor ambiental y social en las actividades de las empresas de la industria española de las materias primas de rocas y minerales a partir de los principios del desarrollo sostenible, la responsabilidad social, las políticas de gobernanza y transparencia y la aplicación de principios éticos avanzados, con objeto de que su comportamiento sea ejemplo para el sector productivo y la sociedad de los beneficios que conlleva la integración del desarrollo sostenible en la gestión empresarial. .

3. Iniciativas para coadyuvar a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, del Pacto Verde Europeo, de prevención y lucha contra el cambio climático, de transición justa y de digitalización.

4. Acciones para contribuir al sostenimiento de la España rural, a fijar la población en esas áreas con riesgos demográficos, así como a alcanzar la igualdad, en todos sus sentidos.

5. Fomento del liderazgo empresarial para el desarrollo sostenible de los negocios, mediante la creación de foros de reflexión, actividades educativas, formativas, así como de imagen, comunicación, difusión y promoción del sector, en el seno de las empresas y fuera de ellas.

6. Promoción de la mejora continua en las prácticas ambientales, sociales y de buen gobierno en el ámbito de la industria española de las materias primas de rocas y minerales fomentando el respeto y cuidado de la naturaleza y, en particular, de la biodiversidad, la calidad del aire, de las aguas, y la economía circular, así como el conocimiento, adopción y utilización de medidas medioambientales que contribuyan a la compatibilidad de la conservación del entorno natural con la explotación y gestión sostenible de los recursos naturales de origen geológico, incluyendo entre éstos a las materias primas críticas y las estratégicas.

7. Todo tipo de actividades relacionadas con el estudio y la investigación sobre la participación de la industria española de las materias primas de rocas y minerales en el crecimiento económico y social derivado de la mejora de tecnologías y prácticas empresariales aplicadas y la creación de servicios en una sociedad desarrollada, desde la perspectiva de su incidencia en la mejora efectiva de la calidad de vida de los ciudadanos, el impacto medioambiental y la cohesión social y cultural.

8. Actividades culturales vinculadas, entre otras, al Patrimonio Minero histórico o actual y al Patrimonio Geológico, favoreciendo así su conocimiento y su conservación.

9. Mejora de las condiciones de seguridad y salud, así como de la calidad de vida de sus trabajadores y de los ciudadanos del entorno de las industrias de materias primas.

10. Conocimiento de las profesiones de Ingeniería de Minas y de Geología, en la Sociedad y, en particular, entre futuros titulados universitarios en Minas y Geología.

11. Intercambio de experiencias entre empresas e instituciones.

12. Evaluación de la evolución de la opinión pública sobre áreas de interés de la industria de las materias primas de rocas y minerales española en conexión con las instituciones especializadas y la Administración pública.

fundación Minería y Vida

Figura 4. Acciones del área de comunicación y divulgación.

Figura 5. Área de sostenibilidad y las relaciones sociales.

conclusiones de estos encuentros son llevadas al siguiente foro, retroalimentando el sistema para conseguir avanzar y superar cualquier problema detectado entre colectivos en torno a un proyecto minero.

En el último bloque (coordinación y optimización), las acciones que se desarrollan son de carácter más interno dentro del sector, tratando de crear homogeneidad de información o de lugares donde encontrarla. Un ejemplo es el calendario sectorial con los eventos, congresos, cursos y jornadas que permite que no se solapen y así pueda asistir todo aquel que esté interesado.

SÚMATE A LA FUNDACIÓN

La Fundación quiere ser la voz de todos los que comprendan y defiendan la esencialidad del sector de las materias primas en España. Para la consecución de estos objetivos, es necesario contar con recursos que permitan desarrollar las acciones programadas y para ello las aportaciones de las empresas, son vitales. Es por ello que invitamos a todos a unirse como donantes y participar activamente con sus opiniones, experiencias y buen hacer que aplican a diario en sus operaciones. ●

SÚMATE

fundación Minería y Vida

Con el proyecto "Rocas y Minerales, Sociedad y Vida", promovemos divulgación, diálogo y pensamiento estratégico *Think Tank* para una minería moderna y responsable.

PATRONOS

La Fundación Minería y Vida está integrada por las siguientes entidades patronos

AINDEX Asociación Nacional de Industrias Extractivas y Afines. · ANCADE · ANEFA · aminer · ATEDY Asociación Técnica y Empresarial del Yeso · CCOO hábitat · CCOO industria · Cámara Oficial Minera de Galicia · Centro Tecnológico del mármol, piedra y materiales · Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía · Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas · piedra cluster · Federación de Áridos FdA · Fundación Tormes-EB · HISPALYT · IBERSIL · Ilustre Colegio Oficial de Geólogos · MAGES · oficemen · PRIMIGEA Materias Primas Minerales · UGT FICA

Colaborador permanente

CODEIME Conferencia de Directores y Directoras de las Escuelas de Ingeniería de Minas y Energía de España

Observador permanente

DONANTES

Gracias a la participación de las siguientes empresas donantes

Diamante

MINERSA group

Oro

ATLANTIC COPPER Una compañía del grupo Freeport-McMoRan · KNAUF · Grupo SAMCA

Platino

Plata

Grupo Crimidesa · SAINT-GOBAIN · PLADUR · ALGISS · Tolsa

Níquel

CEMEX · CLARIANT · Coysa Grupo · CRS Ingeniería · EIFFAGE · MAT · HOLCIM · Terresis · SIBELCO · SÓDIRA Rocas Industriales · Grupo Cementos Portland Valderrivas · TORRALBA

Cobre

CALyMAC Calidad y Medio Ambiente Consultoría S.L. · PROYECTO TORAL · BARREDO · fdc Fundación Cultura Los Pedroches · JUMSAL · la belonga s.a · laslosas · ORICA · Metso · NÚÑEZ · Ruberte Áridos Arnco · SON AMAT, S.L. · TRAMSA

CONVENIOS

La Fundación Minería y Vida ha firmado convenios de colaboración con las siguientes empresasa e instituciones

AEC² Asociación Española de Cogeneración y Centrales · APIA · anele · MINES+ · CEMA · CSIC · Fundación Río Tinto · Iniciativa NATURA · Junta de Andalucía · Principado de Asturias

ACTUALIDAD

RESPONSABILIDAD CIVIL PROFESIONAL

¿CONTRATO EL SEGURO A TRAVÉS DE NUESTRO CONSEJO? ¿ES SUFICIENTE CON EL SEGURO DE LA EMPRESA/ADMINISTRACIÓN PARA LA QUE TRABAJO? ¿Y SI SOY SOCIO DE LA EMPRESA?

La responsabilidad civil profesional es un concepto jurídico que implica la obligación de reparar el daño causado a un tercero. Cuando en el ejercicio de nuestra profesión cometemos un error y éste causa un daño a un tercero, éste tiene el derecho a reclamar, y ahí surge la obligación de reparar el daño causado a través de la correspondiente indemnización.

Muchos profesionales que trabajan para una empresa o para la Administración creen que con los seguros de estas entidades ya tienen toda su responsabilidad totalmente cubierta. Pero ¿esto es realmente así?

Es muy importante que estemos seguros de que nuestro patrimonio personal y familiar está bien cubierto frente a posibles reclamaciones por daños causados en nuestro desempeño profesional. Y siempre va a ser recomendable que el profesional, aunque sea asalariado o funcionario, controle su propio aseguramiento.

Para ello, el *Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía* pone a disposición de todos sus miembros un seguro soportado por Mapfre, Compañía de Seguros de primer nivel, e intermediado por la Correduría Howden Iberia.

A continuación, encontraréis respuestas a las preguntas más importantes sobre la importancia de compatibilizar nuestro propio seguro con el de la entidad para la que trabajemos:

¿CÓMO SE ACTIVA UNA PÓLIZA DE RESPONSABILIDAD CIVIL PROFESIONAL?

En general, estas pólizas funcionan en base a reclamaciones. Por tanto, lo importante es que la póliza esté en vigor y que tengamos la consideración de asegurados en el momento de recibir la primera reclamación. De nada sirve haber tenido un seguro en el momento de hacer el trabajo, si no existe póliza o no somos asegurados en el momento de recibir una reclamación.

PERO SI TRABAJO PARA UNA EMPRESA O PARA UNA ADMINISTRACIÓN, ¿YO PUEDO RECIBIR UNA RECLAMACIÓN?

Definitivamente, sí. Aunque la empresa también es responsable por los errores que comentan sus empleados, el profesional asalariado siempre va a ser responsable de los errores que cometa.

En el caso de la Administración, en el caso en que ésta hubiera indemnizado a los lesionados, exigirá al personal a su servicio la responsabilidad en la que hubieran incurrido por negligencia grave (art. 36 Ley Régimen Sector Público).

¿EN QUÉ CASOS PUEDO TENER PROBLEMAS DE COBERTURA SI SÓLO TENGO EL SEGURO DE LA EMPRESA PARA LA QUE TRABAJO?

En primer lugar, hay que tener en cuenta que pocas veces conocemos las características de los seguros de las entidades para las que trabajamos. ¿Tienen una suma asegurada suficiente? ¿Está bien descrita la actividad en póliza? ¿Sigo siendo asegurado en póliza si recibo una reclamación y ya no trabajo para la misma empresa? Aunque lo normal es que las pólizas estén bien hechas, es recomendable que no deleguemos en otros algo tan importante como la cobertura de nuestra responsabilidad y la protección de nuestro patrimonio.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que muchas veces los daños aparecen después de haber acabado los trabajos, y los plazos de responsabilidad son muy amplios. Como estos seguros funcionan en base a reclamaciones, imaginemos que trabajamos para una empresa que tiene su propio seguro, viene un momento de crisis o los socios se jubilan y la empresa cierra y desaparece, dando de baja sus seguros. En este caso, como la empresa ya no existe, la reclamación irá dirigida

únicamente contra el profesional que cometió el error, ya el socio y empleado. Como la póliza ya no existe en el momento de recibir la reclamación, no habría ningún tipo de cobertura y el profesional deberá hacer frente a los daños con su propio patrimonio.

Lamentablemente, ése es un caso real que se ha dado y que podemos encontrarnos, y que evitaríamos sui además del seguro de la empresa tuviéramos cobertura como persona física a través del seguro del Consejo.

¿Y SI SOY SOCIO DE LA EMPRESA Y SÉ QUE TENGO UNA BUENA PÓLIZA CONTRATADA?

Efectivamente, si eres socio de una empresa lo normal es que conozcas bien el seguro contratado y que éste se adapta bien a las necesidades de a empresa. Pero el caso anterior es también aplicable aquí. Si decides cerrar la empresa porque no va bien o simplemente por jubilación, todavía se pueden recibir reclamaciones por los errores pasados, por lo que, en caso de dardea a la póliza, no se tendría ninguna cobertura.

Y muy importante es tener también en cuenta que incluso tras el fallecimiento, aún se pueden recibir reclamaciones en caso de que no hayan prescrito, debiendo responder nuestros herederos. mientras que las pólizas individuales de empresa habría que mantenerlas en vigor, la póliza del Consejo da cobertura gratuita en casos de fallecimiento o jubilación.

Como podéis ver, son muchos los motivos por los que es altamente recomendable que los profesionales compatibilicen su propio seguro con el de la entidad para la que prestan sus servicios.

No olvidéis que Howden Iberia, como Correduría de Seguros del Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía, está a vuestra disposición para revisar gratuitamente los seguros de vuestras sociedades y analizar si se adaptan a vuestra actividad y necesidades ●.

PARA MÁS INFORMACIÓN:

T. (+34) 91 429 96 99 / M. (+34) 747 770 999
irherrera@Howdeniberia.com

NORMAS PARA **LA PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS** EN LA REVISTA

1. Los artículos enviados para su publicación deberán ser **inéditos**. No obstante si hubieran sido publicados en algún encuentro científico o profesional deberá indicarse tal circunstancia, a fin de que el comité editorial valore la idoneidad de su publicación.

2. El presentación del artículo será en formato digital en dos tipos de archivo: **uno en formato .pdf** donde el autor habrá maquetado a su gusto el artículo con la posición de las fotografías, tablas e ilustraciones que lo acompañan; y **otro** donde irá el texto **en formato Word editable**. Las fotografías, tablas o ilustraciones, irán en **formato .jpg o .png de alta resolución**, en archivos independientes no insertados en el documento de Word.

3. El **título** del artículo no sobrepasara los **60 caracteres**, contando los espacios. Se podrá hacer un **subtítulo** de igual extensión. Se valorará positivamente que se adjunte la traducción al inglés del título y el subtítulo.

4. Tras el titulo deberá adjuntarse el **nombre y apellidos** del autor/autores, con la **titulación**, **empresa o entidad** donde trabaja y **datos de contacto**: teléfono y email. Los datos de contacto no serán publicados en la revista y únicamente son por si el comité editorial debe ponerse en contacto con el/ los autor/es.

5. El artículo irá precedido de un **resumen** de entre 50 y 150 palabras con una relación de **palabras clave**. Se valorará positivamente que se adjunte la traducción al inglés.

6. La **extensión del texto** del artículo no será superior, sin fotografías ni tablas, o ilustraciones, a los seis páginas DIN A4, con tipo de letra Arial 12 y márgenes: superior 2,5 cm; inferior 2,5 cm; derecho 3 cm.; izquierdo 3 cm. El espaciado será 1,5.

7. Si el artículos va dividido en **apartados**, éstos tendrán un titulo apropiado al contenido, serán concisos, menos de 60 caracteres contando los espacios, y se harán en Arial 14 negrita.

8. Las **referencias bibliográficas** en el texto se harán con los apellidos del autor y año de publicación. En caso de varios autores se indicará solo el nombre del primero seguido de "et al".

9. La **bibliografía** se presentará al final en orden alfabético, indicando apellido e inicial del nombre de cada autor, año, título del trabajo, publicación, número de volúmenes: primera-última página.

10. Los trabajos se acompañarán de, al menos, tantos **documentos gráficos** (fotografías, tablas, ilustraciones,...), como páginas tenga el artículo. Los pies de fotos, tablas e ilustraciones, estarán perfectamente identificados. En el caso de las tablas, las unidades y símbolos serán los del Sistema Internacional.

11. Los documentos gráficos tendrán la **calidad suficiente** para su publicación, y no deberán requerir una reducción mayor del 50% del tamaño que se acompañe.

12. Los artículos se presentarán vía Colegio Territorial al que pertenezca el/los autor/es. En caso de pertenecer a más de un colegio, bastará con la presentación en uno de ellos.

13. Los artículos publicados quedarán en propiedad del Consejo. Los no publicados se devolver al colegio de procedencia.

14. Los autores, con la presentación del artículo para su publicación, aceptan las correcciones de textos y revisión de estilo que decida el comité editorial, así como lo dispuesto en las presentes normas.

En Howden, somos especialistas en soluciones aseguradoras para ingenieros en cualquier sector.

HOWDEN

Grupo Asegurador Global

¿AÚN NO SABES QUÉ ESTUDIAR?

GRADO DE MINAS Y ENERGÍA

CONSEJO GENERAL DE COLEGIOS OFICIALES
DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS
Y GRADOS EN MINAS Y ENERGÍA

¡INFÓRMATE!