



9

2011

# Energía & Minas

Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos de Minas





**Consejo General de los Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos de Minas**

C/ D. Ramón de la Cruz, 88 oficina 55  
28006 Madrid

Tel: 91 402 50 25

Fax: 91 402 50 63

[www.consejominas.org](http://www.consejominas.org)

[consejominas@consejominas.org](mailto:consejominas@consejominas.org)

**EDITA:**

Consejo General de los Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos de Minas  
C/ D. Ramón de la Cruz, 88  
oficina 55  
28006 Madrid  
Tel: 91 402 50 25  
Fax: 91 402 50 63  
www.consejominas.org  
consejominas@consejominas.org

**Comité de Redacción:**

**Presidente:**

José Luis Leandro Rodríguez

**Decano Colegio Aragón**

Juan Miguel Romero Morales

**Decano Colegio Cataluña y Baleares**

Jacinto López Pérez

**Decano Colegio Cartagena, Castellon, Valencia,**

Albacete, Murcia, Alicante y Almería

Virgilio Bermejo Vivo

**Decano Colegio Galicia**

Atanasio José Peña Álvarez

**Decano Colegio Huelva, Sevilla, Cádiz, Badajoz,**

Cáceres y Canarias

José Luis Leandro Rodríguez

**Decano Colegio León, Palencia, Burgos y Cantabria**

Fernando Fernández San Elías

**Decano Colegio Linares, Granada, Jaén y Málaga**

Pedro García Lozano

**Decano Colegio Madrid, Ávila, Cuenca, Guadalajara,**

Salamanca, Segovia, Toledo, Valladolid y Zamora

Pedro Layna Sanz

**Decano Colegio El País Vasco, Navarra, La Rioja y Soria**

Enrique Aresti Pardo

**Decano Colegio Principado de Asturias**

Fernando Hernández Sánchez

**Decano Colegio Ciudad Real**

Emiliano Almansa Rodríguez

**Decana Colegio Córdoba**

María del Carmen García Ruiz

**Directora de la publicación:**

Nuria Yagües Pérez

**Fotografía de portada:**

Arts&Press

**Colaboran en este número:**

Luis Mauricio Consuegra Ocaña; E. Almansa; F. Montes; J.M. Iraizoz; D. Fuentes; Jacinto López Pérez; Miguel Ortiz Mateo; J.F. Martín Duque; N. Bugosh; L. Balaguer; J.V. Campillo; C. De Francisco; J. García; N. Hernando; J.M. Nicolau; S. Nyssen; J. Oria; M.A. Sanz; M. Tejedor; Gerardo Menéndez Montero; Juan Vicente Moyo Dorado; F. García Torres; C. Fúnez Guerra; José Carlos Losilla Rayo; Jose Luis Sáez Hostaled; Juan Miguel Romero Morales; Arsacio Cruz Pascual; María Luisa Laviana Cuetos

**Diseño, Maquetación y edición:**

Arts&Press S.L.

ISSN 1699-7743

DEPOSITO 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.



### 05 editorial



¿Y ahora qué?...

### 06 actualidad tecnológica



#### MINERÍA

Las areniscas de Puertollano **06**

#### CANTERAS

Evolución histórica de la tecnología de aludeles para la obtención de azogue **14**

#### TECNOLOGÍA

Proceso de conformado: extrusión del aluminio **24**

#### MEDIO AMBIENTE

Reconstrucción geomorfológica en la restauración minera de la cantera Los Quebraderos de la Serrana de Toledo **32**

#### TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Tratamiento de los residuos generados en una cantera **38**

#### ENERGÍA

Distintas formas de generación de hidrógeno **44**

#### RIESGOS LABORALES

El amianto en España: responsabilidad empresarial **50**

#### COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

CO<sub>2</sub> en el mundo del cemento **54**

#### FORMACION PREVENTIVA

La formación preventiva en la industria extractiva **66**

#### INGENIEROS ILUSTRES

Biografía de un minero asturiano: Martín Laviana Antuña **76**

### 86 actualidad colegial



#### COLEGIOS

Colegio de Cataluña.

Colegio de Córdoba.

Colegio de Madrid.

### 89 actualidad profesional

Unión Profesional ha presentado sus aportaciones a la Directiva 2005/36

Manual sobre Túneles y Obras Subterráneas



## RELACIÓN DE COLEGIOS OFICIALES DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE ARAGÓN**  
 DECANO: Juan Miguel Romero Morales  
 Pº Mª Agustín, 4-6 Oficina 14 . 50004 - ZARAGOZA  
 Tlfno.: 976 44 24 00 . Fax.: 976 28 41 48  
 www.coitma.com . coitma@coitma.com

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE CATALUÑA Y BALEARES**  
 DECANO: Jacinto López Pérez  
 C/ Rosellón, 214 . 08008 - BARCELONA  
 Tlfno.: 93 215 13 59 . Fax.: 93 215 98 09  
 www.colegiominas.com . info@colegiominas.com

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE CARTAGENA, CASTELLÓN, VALENCIA, ALBACETE, MURCIA, ALICANTE Y ALMERÍA.**  
 DECANO: Virgilio Bermejo Vivo  
 C/ Salitre, 29 . 30205 - CARTAGENA  
 Tlfno.: 968 50 41 10 . Fax.: 968 50 41 85  
 www.coitminas.com . cartagena@coitminas.com

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE GALICIA**  
 DECANO: Atanasio José Peña Álvarez  
 C/ Alejandro Novo González, 4 bajo  
 15706 - SANTIAGO DE COMPOSTELA . LA CORUNA  
 Tlfno.: 981 53 43 56 . Fax.: 981 53 43 57  
 www.coitmgalicia.com . correo@coitmgalicia.com

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE HUELVA, SEVILLA, CÁDIZ, BADAJOZ, CÁCERES y CANARIAS**  
 DECANO: José Luís Leandro Rodríguez  
 Avda. Martín Alonso Pinzón, 11 . 21003-HUELVA  
 Tlfno.: 959 24 82 13 . Fax.: 959 25 79 10  
 www.coitmhuelva.com . secretaria@coitmhuelva.com

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE LEÓN, PALENCIA, BURGOS y CANTABRIA**  
 DECANO: Fernando Fernández San Elías  
 Pza. Sto. Domingo, 4-70 . 24001-LEON  
 Tlfno.: 987 23 19 37 . Fax.: 987 27 29 65  
 colegio@coitminasleon.com

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE LINARES, GRANADA, JAÉN Y MÁLAGA**  
 DECANO: Pedro García Lozano  
 C/ Isaac Peral, 10-10.23700 - LINARES (JAÉN)  
 Tlfno.: 953 60 63 12 . Fax.: 953 65 38 20  
 www.colegiominaslinares.com . colegio@minaslinares.com

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE MADRID, ÁVILA, CUENCA, GUADALAJARA, SALAMANCA, SEGOVIA, TOLEDO, VALLADOLID y ZAMORA**  
 DECANO: Pedro Layna Sanz  
 C/ Almagro, 28-50 . 28010-MADRID  
 Tlfno.: 91 308 2842 . Fax.: 91 319 35 56  
 www.coitm.org . secretaria@coibn.org

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DEL PAÍS VASCO, NAVARRA, LA RIOJA y SORIA.**  
 DECANO: Enrique Aresti Pardo  
 C/ José Mª Olabarrí, 6 . 48001- BILBAO  
 Tlfno.: 94 423 76 67 . Fax.: 94 423 76 67  
 colegio@colminasbi.org

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS**  
 DECANO: Fernando Hernández Sánchez  
 C/ Caveda, 14 . 33002- OVIEDO  
 Tlfno.: 98 521 77 47 . Fax.: 98 522 96 74  
 www.colminas.as . correo@colminas.es

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE LA PROVINCIA DE CIUDAD REAL. SEDE: ALMADÉN**  
 DECANO: Emiliano Almansa Rodríguez.  
 Pza. de la Constitución, 13 - 1º 13400 - ALMADEN (C. Real)  
 Tlfno.: 926 710 517. Móvil: 600 579 698. Fax.: 926 098 080  
 www.icoitma.com secretaria@icoitma.com

**COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS DE MINAS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.**  
 DECANA: María del Carmen García Ruiz  
 Pza. Sta. Bárbara, 26 14200-Peñanoya Pueblonuevo (CÓRDOBA)  
 Tlfno.: 957 56 06 95 . Fax.: 957 56 06 95  
 minaspya@arrakis.es



# ¿Y ahora qué?...



**José Luis Leandro Rodríguez.**

Presidente del Consejo

Quizás sea el momento de hacer unas reflexiones sobre el papel que deben tener los Colegios profesionales tras haber transcurrido poco más de un año de la entrada en vigor del Real Decreto 1000/2010 sobre visado colegial obligatorio y haber padecido los efectos de la persistente crisis económica durante los tres últimos años, lo que nos ha obligado a despidos en todos los Colegios y a cerrar la inmensa mayoría de nuestras delegaciones provinciales.

Como hemos comentado en más de una ocasión, a día de hoy desconocemos si hemos tocado fondo o tendremos que seguir aún con más reducciones; la respuesta a este interrogante está repartida entre: la necesaria recuperación económica de nuestro país —esperemos que sea pronto—, las posibles modificaciones del Real Decreto en las que se está trabajando, la acción de la Justicia cuando se pronuncie sobre los recursos presentados y sobre todo en un mayor grado de implicación de nuestros colegiados ejercientes a la hora de visar sus trabajos.

Es fácil entender que, de persistir la grave situación que atravesamos, es probable que nos veamos abocados a mayores restricciones, inclu-

so, llegado el caso, se tendrán que plantear fusiones y/o absorciones de Colegios, tanto de los nuestros de Minas, como quizás con los de otras especialidades de la Ingeniería.

Por ello, insistimos una vez más, haciendo una llamada de atención a todos los colegiados, en el sentido que si queremos que estas instituciones profesionales se mantengan, independientemente de las reconversiones que sean necesarias llevar a cabo, no tendremos más remedio que reaccionar ya que los Colegios pueden hacer más falta de lo que a priori pueda pensarse, veamos:

El visado, en los casos en que no es preceptivo, tiene ventajas y resulta imprescindible tratar de convencer al sector minero que puede ser de interés, tanto desde el punto de vista del propio colegiado como del de su cliente o empresa. Es necesario que el proyectista traslade su necesidad y debe poner de manifiesto el valor añadido que sin duda tiene. ¿Y dónde está ese valor?

Pues en general, solo nos acordamos de Santa Bárbara hasta que no suena. ¡Qué verdad encierra este dicho popular tan nuestro! Los Colegios realizan, pese a quien le pese, una labor silenciosa, ignorada y muchas veces ingrata en beneficio de los profesionales y de la sociedad en general, una labor que en la mayoría de las ocasiones no está suficientemente reconocida.

Somos conscientes que se habrán cometido errores, pero solo la unión hace la fuerza y si no existieran estas instituciones profesionales habría movimientos para crearlas y, si no, tratar de responder a las cuestiones que siguen:

¿Quién velará por el intrusismo profesional que está complicando gravemente otras profesiones y que nos consta ya está llegando a Minas?

¿Quién mejor que las Asociaciones profesionales para otorgar la habilitación profesional como se hace en casi todos los países europeos donde es

imposible que pueda trabajar un extranjero titulado sin el férreo control que ejercen estas Asociaciones?

Todos sabemos que las Administraciones públicas españolas carecen de medios para llevar a cabo estos controles. En algunas se limitarán a realizar, llegado el caso, un muestreo a posteriori, es decir, cuando el daño esté hecho y no tenga remedio. Esto del intrusismo, sin duda, será el problema más importante para ejercer como Ingeniero Técnico de Minas en España, por tanto ¿quién mejor que nosotros mismos para controlar el ejercicio profesional y que esto no ocurra?

Además, ¿quién va a dar cobertura de responsabilidad civil subsidiaria? ¿Quién puede dar una mejor y menos costosa garantía de calidad y seguridad de un trabajo sino una organización profesional?

¿A quién recurrirán los compañeros cuando tengan problemas de accidentes, competencia desleal, necesidades de formación post-grado, falta de entendimiento con las autoridades administrativas o incluso problemas de cobro con sus clientes?

Solo las organizaciones profesionales están pendientes de la defensa de nuestras competencias, ante Tribunales de Justicia y Administraciones públicas habiendo obtenido innumerables sentencias y resoluciones favorables todos estos años atrás.

Asimismo destacar la eficacia de las bolsas de trabajo de los Colegios que están sirviendo para que muchos compañeros, sobre todo recién terminada su carrera empiecen a trabajar.

Para terminar invitar a todos los colegiados de España a que participen si desean que todo esto continúe. Acudid a vuestros colegios, criticar y exigir, pero colaborar. Hay sobradas razones sobre el interés y conveniencia de trabajar codo a codo con los Colegios. Pensar que los Colegios serán en el futuro lo que decidamos entre todos nosotros. Nadie ajeno a estas organizaciones vendrá a ayudarnos. ■

# Las areniscas de Puertollano

**Luis Mauricio Consuegra Ocaña**

Ingeniero Técnico de Minas, Especialidad en Sondeos y Prospecciones mineras. Jefe de Mantenimiento de ENCAUR, S.A.U. (Centro Minero de Puertollano) prejubilado en enero de 2007

*A lo largo de este artículo vamos a descubrir que las areniscas de Puertollano –localidad más conocida por la minería del carbón–, ya fueron empleadas en la época de los romanos como piedras de cantería. Posteriormente, siguieron utilizándose para la construcción de edificios. Veremos que en iglesias del s.XIV y s.XV, se han encontrado mamposerías realizadas con piedra cuarcítica y sillares de Arenisca en esquinas, contrafuertes, zócalo, campanario, etc. También hay ejemplos más cercanos, en el s.XIX y s. XX, que evidencian que todavía, en algunos casos, ha sido utilizada esta piedra natural, por su belleza y por la gran aptitud de este mineral para la labra y los trabajos de escultura. Y por último, después de describir al detalle las características de esta roca, sus propiedades físicas y mecánicas, se pone en relieve el interesante mundo de la roca ornamental.*

Desde finales del siglo XIX, fecha del descubrimiento de la cuenca hullera en Puertollano (Ciudad Real), la historia y el desarrollo de la ciudad de Puertollano han estado íntimamente ligados a la minería del carbón.

En una primera etapa, hasta los años 70 del pasado siglo, la actividad extractiva se realizó fundamentalmente en forma de minería subterránea. En 1976 se inició la moderna minería a cielo abierto que en el momento actual se centra en la mina Emma, propiedad de ENCASUR, S.A., que es una de las mayores explotaciones de este tipo de Europa. La mina suministra combustible a las dos centrales termoeléctricas existentes en el término municipal de Puertollano: Central Termoeléctrica de Viesgo, S.L. y Grupo de Gasificación Integrado en un Ciclo Combinado de ELCOGAS, S.A.

Sin embargo, muy poca gente conoce que el pasado minero de Puertollano se remonta muchos siglos atrás, llegando incluso a la época de dominación Romana en la Península Ibérica. En efecto, el subsuelo del valle del río Ojalén contiene además del carbón otro recurso mineral, formado en el mismo periodo geológico pero de características y aplicaciones completamente distintas: nos referimos a las “areniscas”, utilizadas como piedra de cantería en la construcción de edificios.





Foto nº 1. Estratos de las areniscas de Puertollano

## ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LAS ARENISCAS DE PUERTOLLANO

Las areniscas de Puertollano son rocas sedimentarias de origen detrítico, es decir, formadas a partir de la erosión o descomposición física de otras rocas preexistentes y constituidas fundamentalmente por granos de cuarzo, trabados por una matriz de minerales de grano más fino y variada composición.

Según el estudio petrográfico realizado, se pueden caracterizar de la siguiente forma:

- **Reconocimiento de visu:** Roca areniscosa de tonalidades beige-marrónáceas, con una estratificación paralela muy marcada por la alternancia de finos niveles más o menos oscuros. La muestra es compacta y de fractura irregular y no efervesce al ser atacada en frío con HCl diluido al 10%.

- **Observaciones:** Roca constituida por un mosaico granoblástico de cuarzo relativamente equigranular, con tamaño de grano comprendidos entre 0.065 y 0.20 mm, presentando evidencias de recristalización.

La matriz de tipo sericítico está en parte preservada, apareciendo los microlitos de sericita ya sean intersticiales a los cuarzos, o formando pequeños microagregados.

La marcada estratificación observable de visu viene definida por la presencia de acumulaciones de opacos,

en su mayor parte óxidos de hierro, habiéndose preservado la  $S_0$  (estratificación) original.

Escasa fracción pesada formada por turmalina y circon. La roca deriva de un sedimento de tipo areniscoso sometido a fenómenos de metamorfismo que provocan la recristalización parcial de los cuarzos.

Para cuantificar las propiedades de esta roca se han realizado en un laboratorio homologado los ensayos de caracterización correspondientes, cuyos resultados se resumen en el siguiente cuadro:

Resultado de los ensayos de laboratorio. Denominación de la muestra: Arenisca Ojailén Ensayos:	
Absorción:	5.31 %
P. e. aparente:	2.29
Resistencia a las heladas:	0.00 %
Resistencia a compresión:	73.56 Mpa
Resistencia a la flexión:	6.09 Mpa
Resistencia al choque:	38.75 cm
Desgaste por abrasión:	22.00 mm

En la cuenca minera de Puertollano, esta roca aparece en forma de estratos o paquetes más o menos horizontales, flanqueados por otros niveles de rocas más arcillosas, mostrando el siguiente aspecto (ver foto nº 1):

Estas rocas se originaron en el mismo periodo geológico que la hulla de la cuenca carbonífera, es decir, a

Foto nº 2. Ripple marks en las superficies de estratificación de las areniscas de Puertollano



Foto nº 3. Sillar de arenisca procedente del asentamiento romano de Cerro Orusco



Foto nº 4. Iglesia de la Soledad



Foto nº 5. Cruz labrada en el sillar superior de la puerta de la Iglesia de la Soledad

finales de la Era Paleozoica, hace unos 280 millones de años.

Las condiciones en que se depositaron los sedimentos de la cuenca hullera de Puertollano han ido cambiando a lo largo de la evolución de la misma, deduciéndose a partir de los sedimentos y restos fósiles, ambientes sedimentarios de llanura aluvial, ambientes de aguas someras sin influencia marina aparente y ambientes lacustres con influencia marina, es en este último ambiente sedimentario donde se depositaron los sedimentos que posteriormente dieron lugar a las areniscas.

De sus características sedimentológicas se deduce que se formaron en un ambiente en el que existían

corrientes de agua, que arrastraban partículas de sedimentos que se depositaban cuando dichas corrientes perdían energía. Buscando analogías con ambientes sedimentarios actuales, podría tratarse de medios fluvio-deltáicos.

Debido a este origen, algunos niveles de esta roca presentan marcas ondulatorias de corrientes (“ripple marks”) que en una superficie de corte paralelo a la dirección de la corriente se muestran como laminaciones cruzadas.

La roca presenta mucha variación en cuanto a los colores, pudiendo variar desde gris claro a niveles ocre. Estas variaciones se deben fundamentalmente a la mayor o menor presencia de materia orgánica, fósiles de vegetales arrastrados por las corrientes, y de óxidos de hierro.

Esta variabilidad cromática resalta especialmente en alguna de las construcciones realizadas con esta roca.

## LAS ARENISCAS DE PUERTOLLANO A TRAVÉS DE LA HISTORIA

### Asentamiento romano de Cerro Orusco

A finales de los años 80 del pasado siglo, un historiador local José González Ortiz investigó un asentamiento romano, Cerro Orusco, situado cerca de Puertollano, en la orilla derecha del río Ojailén, entre el pozo El Burro y las Tejeras. Al realizarse una canalización, aparecieron algunos restos arqueológicos pertenecientes a una pequeña Vila Rusticae de época tardía dedicada seguramente a la agricultura y la ganadería.





Foto nº 6.  
Aplacado del zócalo de la Iglesia de la Soledad



Foto nº 7.  
Iglesia de Nuestra Señora de Gracia



Foto nº 8:  
Zócalo de la Iglesia de Nuestra Señora de Gracia



Foto nº 9.  
Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción



Foto nº 10 (izq).  
Sillares de piedra arenisca en esquinas de la Iglesia de la Asunción

Foto nº 11 (der).  
Sillar de arenisca en contrafuerte de la Iglesia de la Asunción.



Foto nº 12. Puerta norte de la Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción



Foto nº 13. Campanario y pináculos de la Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción

Entre los restos hallados, se encuentran varios sillares de forma rectangular de piedra Arenisca. Según el autor de estos trabajos, posiblemente muchos sillares de las casas romanas se reutilizaron para construcciones posteriores en Puertollano.

### Iglesia de la Soledad

Siguiendo un orden estrictamente cronológico, el siguiente indicio de empleo de piedra arenisca en Puertollano cabe situarlo en la Iglesia de la Soledad. Se trata de una ermita del siglo XIV, conocida anteriormente como

ermita de San Mateo. Se compone de tres naves que en su interior guardan algunos de los trabajos de mayor valor de la imaginería local, Jesús atado a la columna, Virgen de la Soledad y Nuestro Padre Jesús Nazareno.

El estado de conservación de esta pequeña iglesia hizo que en el año 2000 se acometiera su restauración. En el transcurso de las obras, apareció una pequeña puerta de sillería situada a la izquierda de la principal, construida íntegramente con sillares de piedra arenisca.

Foto nº 14.  
Casa de Baños



Esta puerta ha sido recuperada e incorporada a la fachada principal.

La arenisca presenta una fuerte coloración rojiza, debida a la presencia de óxidos de hierro, una de las características de este material.

En el sillar correspondiente a la clave de la puerta aparece labrada una cruz, perfectamente preservada.

Finalmente, en la restauración del zócalo se empleó un aplacado con lajas irregulares de piedra Arenisca procedente de la explotación de ENCASUR. Algunas de las lajas presentan ripples, estructuras sedimentarias características de este material.

Foto nº15. Piedra arenisca en los dinteles de una de las ventanas de la Casa de Baños



### Iglesia de Nuestra Señora de Gracia

Esta iglesia, dedicada a la patrona de Puertollano, Ntra. Señora de Gracia, fue construida en 1489 por los habitantes de Puertollano con motivo de la finalización de la epidemia de peste que asoló la población en el año 1486.

Se trata de una iglesia de una sola nave y a lo largo de los siglos ha sufrido numerosas transformaciones, las últimas tras la finalización de la Guerra Civil.

Está construida en mampostería de piedra cuarcítica. La piedra Arenisca aparece en los elementos de mayor responsabilidad estructural del edificio: zócalo y esquinas.

Los sillares de Arenisca presentan tonalidades rojizas y la laminación característica de este material. A pesar del tiempo transcurrido, no presentan un grado de alteración elevado como puede observarse en la foto nº 8.

Foto nº 16.  
Piedra arenisca labrada en el zócalo de la Casa de Baños.



### Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción

Por su emplazamiento privilegiado en uno de los puntos más elevados de la antigua ciudad, su majestuosidad, estado de conservación y dimensiones, esta iglesia puede ser considerada como la Catedral de Puertollano.

El templo comenzó a edificarse en el siglo XVI sobre el terreno que ocupaba una pequeña iglesia mencionada en escritos de 1245 de la Orden de Calatrava. Consta de una sola y hermosa nave de 50 metros de longitud y 12,5 de anchura, coronada por una torre campanario. Su estilo es gótico decadente en el interior y renacentista en el exterior.

La construcción está realizada en mampostería de piedra cuarcítica y sillares de Arenisca en esquinas, contrafuertes, zócalo y campanario.

Foto nº 17.  
Detalle de uno de los pilares de la Casa de Baños



Destacan por su belleza y ornato las puertas norte y sur de estilo renacentista, así como los pináculos situados en el campanario y coronación de la iglesia.

Los pilares, pináculos y demás elementos decorativos de las puertas de la Iglesia de la Asunción muestran la gran aptitud de estas Areniscas para la labra y trabajos de escultura.

La distribución de los materiales pétreos en este bello edificio, demuestran cómo a lo largo de la historia los canteros y constructores reservaron las Areniscas de Puertollano para ser empleadas en los elementos arquitectónicos sometidos a mayores solicitaciones mecánicas, sillares, zócalos y contrafuertes, y en los de mayor nobleza y representación, pilares, puertas, etc.

### Casa de Baños.

Este edificio, data de 1850 y fue concebido para albergar la Casa de Baños que se alimentaba con las aguas procedentes del manantial de la Fuente Agria.

Está formado por cinco cuerpos, cuatro angulares iguales y uno más elevado situado en el centro, unidos todos y reunidos a un grupo general por medio de dos crujías laterales, todo ello empleando un orden compuesto de gótico moderno y grecorromano.

La fachada principal, orientada al norte, está construida de magnífica sillería de piedra Arenisca. Las buenas cualidades de la misma, su color oscuro, sus características laminaciones y la entendida aplicación a la obra, dan a este edificio un carácter singular dentro de la arquitectura de Puertollano.

### Edificios de reciente construcción.

A pesar de abandonarse el empleo de la piedra natural en el siglo XX sustituyéndola por otros materiales de construcción, como hormigón, acero, etc, no obstante han existido en épocas recientes afortunadas excepciones entre las que cabe destacar el edificio de la Cruz Roja, construido en mampostería de piedra cuarcítica sobre un zócalo de Arenisca.

A un nivel más humilde, rastreando las calles de la ciudad pueden encontrarse pequeños restos de uso de la piedra Arenisca, en diversas edificaciones familiares de planta baja.

Finalmente, hay que destacar por su belleza y originalidad la Iglesia de Santiago Apóstol, situada en las



Foto nº 18.  
Edificio de la Cruz Roja.



Foto nº19. Iglesia de Santiago Apóstol



Foto nº 20.  
Detalle de la mampostería de arenisca de la Iglesia de Santiago Apóstol

antiguas barriadas mineras, en las proximidades de la carretera de Mestanza.

Esta iglesia, cuyo estilo recuerda al del arquitecto Manuel Fisac, está construida íntegramente en mampostería de piedra Arenisca.

El gran acierto del constructor fue la sabia combinación de los múltiples tonos y colores que puede adoptar la Arenisca, que dan al edificio un sorprendente toque de modernidad. Este efecto se refuerza por el perfecto encaje de los bloques de mampostería irre-

Foto nº 21.  
Mapa entresacado por Gascon F. De los documentos del Catastro de Ensenada (1.752)

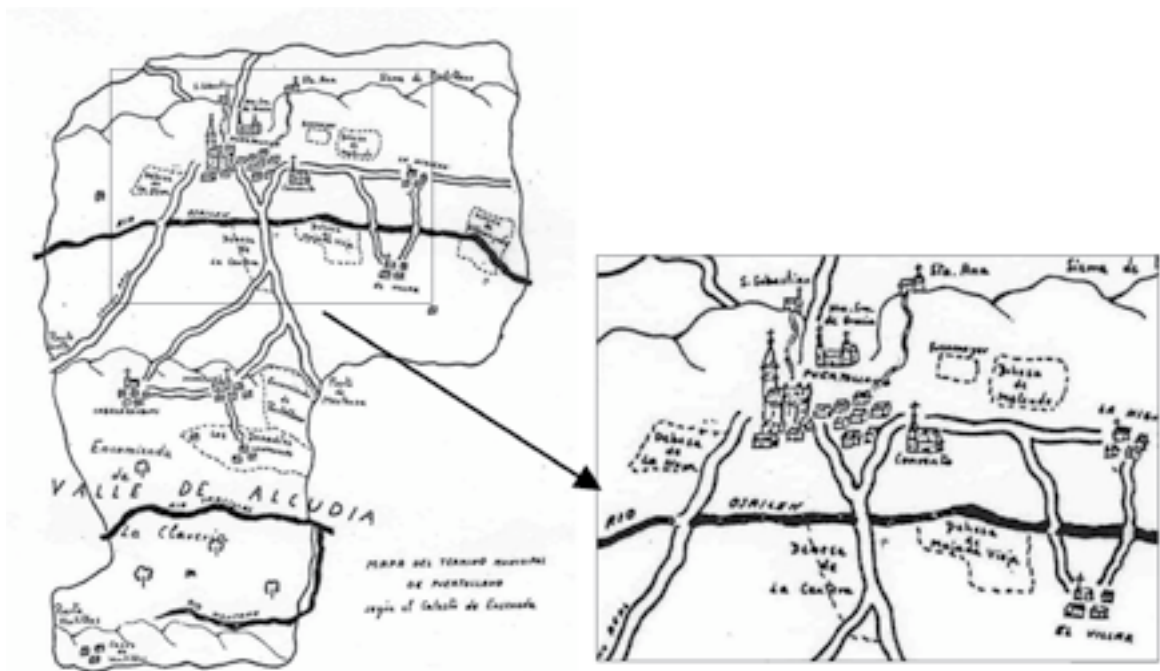


Foto nº 22.  
Plano catastral de la S.M.M.P. reflejando la situación de dos antiguas canteras de arenisca.



que se encuentra a 20 km de nuestra localidad. Si se tienen en cuenta los medios de transporte de la época, su empleo en esta iglesia da idea del valor que este material representaba para los promotores de la obra.

### LAS ANTIGUAS EXPLOTACIONES DE ARENISCA.

Lógicamente la utilización de estos materiales a lo largo de una etapa tan dilatada en el tiempo ha dejado un rastro de explotaciones mineras, canteras, en la comarca de Puertollano.

En efecto, en el Catastro del Marqués de la Ensenada de 1752, se señala la existencia de una Dehesa de la Cantera situada al oeste del camino que unía Puertollano con Mestanza y al sur del río Ojailén.

Concordante con lo anterior, en el plano catastral del término municipal de Puertollano, elaborado por la Sociedad Minero y Metalúrgica de Peñarroya(S.S.M.P) en el primer cuarto del siglo XX, se refleja la existencia de al menos dos pequeñas canteras en la margen derecha del río Ojailén a la altura de las antiguas tejeras.

De los datos disponibles se deduce que las antiguas canteras de roca arenisca consistieron en pequeños frentes de explotación, desarrollados en las proximidades del río Ojailén, aprovechando las zonas donde el río había erosionado el recubrimiento de las capas de arenisca y era fácil acceder a los mismos.

gulares y su acabado superficial mediante una labra somera.

Para finalizar esta breve reseña histórica hay que señalar que en el entorno del siglo XVI la arenisca de Puertollano era tan apreciada que llegó a emplearse en obras en lugares relativamente alejados de su origen. Nos referimos concretamente a la portada renacentista de la Iglesia de Santa Catalina de la localidad de Tirteafuera



Los niveles de arenisca se sitúan a techo de alguna de las capas de hulla que son explotadas en la mina Emma de ENCASUR, S.A., por lo que en el momento actual es factible plantearse la explotación de las mismas compatibilizándola con la extracción del carbón.

## CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

La presencia de las Areniscas de Puertollano en edificios construidos hace más de 500 años, demuestra claramente la bondad de las propiedades resistentes de estos materiales así como su adecuación para multitud de trabajos de construcción.

### Campo de utilización de las areniscas de Puertollano

De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio realizados y teniendo en cuenta su uso a lo largo de la historia en los edificios más representativos de la ciudad, aquí esbozados, podemos concluir afirmando que las Areniscas de Puertollano pueden emplearse entre otros, para los siguientes trabajos:

- Mampostería rústica.
- Aplacado de fachadas.
- Sillería.
- Ornamentación y arte escultórico.
- Etc.

## BIBLIOGRAFÍA

Archivos de ENCASUR-Puertollano.

La realización de este estudio no sería posible sin reconocer a D. Angel Luis Alonso Prieto, Ingeniero de Minas y Director de ENCASUR-PUERTOLLANO, prejubilado desde octubre de 2009, su iniciativa investigadora e interés por poner en valor un mineral catalogado como estéril en el proceso de la operación minera de extracción de carbón en la cuenca de Puertollano.

En su aportación técnica, así como de datos históricos y documentales dimanados de los archivos de ENCASUR, este artículo simplemente no existiría.

## CONCLUSION

Este artículo pretende, por tanto, dar a conocer a las personas interesadas en el mundo de la roca ornamental, las características de esta roca, sus propiedades físicas y mecánicas deducidas de ensayos de laboratorio y finalmente sus posibles campos de aplicación en el momento actual, en pro de una racionalización del uso de los recursos naturales y en un marco de desarrollo sostenible. ■

Cuadro comparativo Arenisca Ojailen vs otras areniscas nacionales

Nombre	Absorción %	Peso esp. aparente	Peso específico gr/cm <sup>3</sup>	Resistencia a las heladas %	Resistencia a compresión Mpa	Resistencia a la flexión Mpa	Resistencia al choque cm	Desgaste por abrasión mm
Arenisca Ariane					83,9	4,78	85,00	
Arenisca Brañosera Amarilla		1,03		0,03	104,07	6,78	82,50	6,35
Arenisca Brañosera Gris		1,03		0,03	104,07	6,78	82,50	6,35
Arenisca Brañosera Roja		1,03		0,03	104,07	6,78	82,50	6,35
Arenisca Dorada Urbión	5,10		2,20	0,14	34,6	0,8	5,00	17,25
Arenisca Dorada de los Pinares	5,40		2,20	0,15	37	01:08	5,00	17,50
Arenisca Ojo de Perdiz	4,07		2,20	0,02	37,08	6,32	42,50	2,65
Arenisca Roja Neila	1,95		2,50	0,07	137	22	80,00	7,15
Arenisca Roja San Adrián	6,12		2,25	-0,024	17,4	0,41	36,00	3,50
Arenisca San Adrián apomaza.	6,12		2,25	-0,024	17,4	0,41	36,00	3,50
Arenisca de Aguilar	5,10		2,20	0,14	34,6	0,8	5,00	17,25
Arenisca de Quintanar		2,15		-0,07	>29,36	3,9	55,00	18,20
Arenisca de Regumiel	5,70		2,20	0,14	35	02:08	5,00	17,50
Arenisca de Salas	5,01		2,19	0,24	26,2	0,3645	40,00	17,10
Arenisca de Valdeporres		2,02		0,26	> 35,36	> 1,2	45,00	31,28
Arenisca de Villamayor (CRV)			1,86	1,82	26-28,5	0,6-1,4	88,33	9,23
Arenisca de Villamayor (SR)			1,86	1,82	26-28,5	0,6-1,4	88,33	9,23
Arenisca del Duero			2,19	-0,06	31,35	2,0	45,00	20,00
Arenisca Ojailen	5,31	2,29		0,00	73,56	6,09	38,75	22,00

# Evolución histórica de la tecnología de aludeles para la obtención de azogue

**Almansa, E.**

Escuela de Ingenieros de Minas e Industriales de Almadén. UCLM

**Montes, F.**

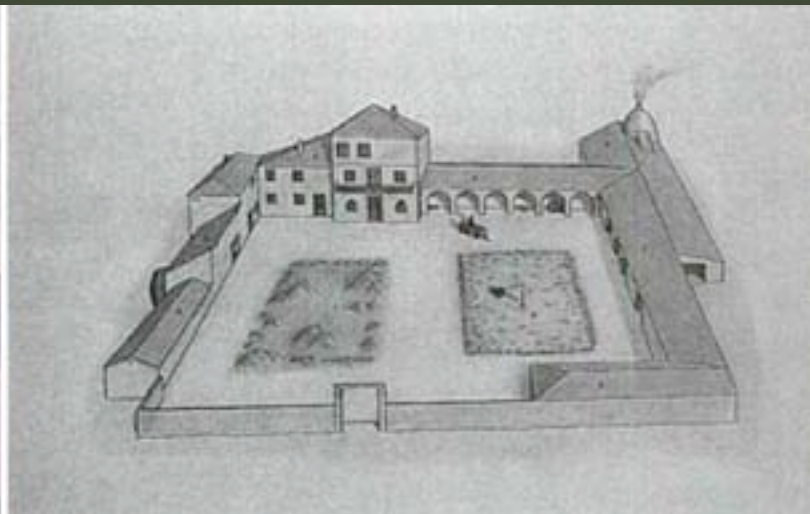
Escuela de Ingenieros Agrónomos de Córdoba. UCO.

**Iraizoz, J.M.**

Escuela de Ingenieros Agrónomos de Almadén. UCLM.

**Fuentes, D.**

Escuela de Ingenieros de Minas e Industriales de Almadén. UCLM



*Los autores de este artículo relatan la historia de la obtención del azogue, y distintas técnicas utilizadas a lo largo del tiempo. Entre ellas, la que más se ha extendido, ha sido el horno de reverberación. En 1633, Lope de Saavedra y Barba, natural de Siruela en Badajoz (a 40 km de Almadén) pero afincado en Huancavelica (Perú), inventó un horno para poder obtener azogue. Las ventajas que aportaron esta invención fueron enormes: reducción de tiempo de cocción, de combustible, etc. Poco después, aparecería la tecnología de “aludeles” (condensador de azogue hecho de arcilla que enchufados unos en otros constituyen las cañerías en las que condensan los vapores mercuriales que salen del horno) y que saltó el Atlántico a través de la persona de Juan Alonso Bustamante, natural de Zagala (Badajo), quien pudo conocer las técnicas empleadas en Huancavelica. Regresó a España y en Almadén, construyó el primer horno, similar al modelo de Saavedra Barba. Desde ese momento comienza la historia de los hornos de aludeles, tecnología que aunque ha sufrido modificaciones y variaciones a lo largo del tiempo, ha sido utilizada hasta épocas muy recientes.*

**E**s conocido que la importancia del azogue o mercurio surge en 1555 cuando el sevillano Bartolomé de Medina desarrolla en las minas de Pachuca (Nueva España), en México central, la técnica, a gran escala, de “beneficio del patio” (llamada así por realizarse en lugares abiertos) para amalgamar el azogue con los minerales de plata para el interés de la economía colonial y la corona española.

LANG, M. (revista Lull, 1999) expone que ha quedado, infravalorada, la técnica de “beneficio del patio” que facilitó la refinación de casi todo el mineral de plata del nuevo mundo, técnica de amalgamación inventada y aplicada por españoles emigrados a América unos dos siglos antes de la introducción de la amalgamación en la minería europea (la refinación de minerales de plata por amalgamación con azogue se impuso en Europa sólo a partir de mediados del siglo XVIII, sustituyendo al proceso de refinación por fundición en hornos).

BARGALLÓ, M., reproduce la carta descubierta por el historiador mexicano, Francisco Fernández del Castillo (en 1927) que le remite Bartolomé de Medina al virrey D. Luís de Velasco en diciembre de 1555 donde viene a indicarle la influencia de un alemán (se refería a maese Lorenzo que trabajaba en las minas de plata de Guadalcanal en Sevilla) en la invención del método: “Digo yo, Bartolomé de Medina: que por cuanto yo tuve noticia en España, de pláticas con un alemán que se podía sacar la plata de los

metales sin fundición, ni afinaciones y sin otras grandes costas; y con esta noticia determiné venir a esta Nueva España dejando en España mi casa e mi muger e hijos, y vine a probarlo por tener entendido que sabiendo con ello, haría gran servicio a Nuestro Señor e a su Majestad e bien a toda esta tierra y venido que fui a ella ...”

El beneficio de patio era una forma industrial americana de producir plata, que dependía de la cualidad de la plata mineral de combinar o amalgamar con el azogue. En las colonias españolas sustituyó a la fundición, por ser mucho más barato, y a finales del siglo XIX fue reemplazado por el proceso de cianuración (técnica más económica y más rápida, que permitía la refinación de minerales diez veces menos ricos que los que se sometían al método del patio que fue usada por primera vez en Transvaal en 1887 e introducida en México en 1910). Era un proceso químico, que dependía de la reacción del mineral que contiene plata, con varios ingredientes a los que se agrega, de los que el más importante es el azogue. Ha sido muy admirado por su sencillez pero también muy criticado por su lentitud, por el despilfarro de materiales que suponía (sobre todo de azogue, ingrediente caro y escaso a la vez) y por la falta de conocimientos químicos entre los que lo practicaban.

Las reacciones químicas que entraña el beneficio de patio están sintetizadas en las fórmulas dadas por BARGALLÓ, M. para el beneficio de patio, entre la mena



Figura 2. Situación de las minas americanas en Perú y México en el siglo XVIII. (Fuente: GALAOR, I. et al., 1998)

Figura 3. Obtención de azogue mediante xabecas, según Alonso Barba. (Fuente: OTERO, J.L., 2006)

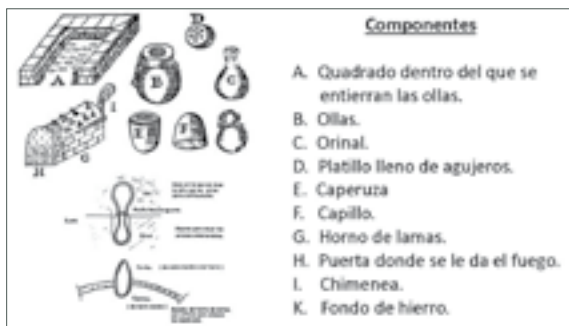
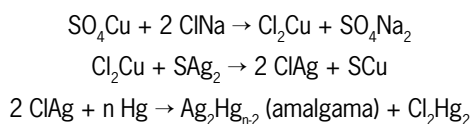


Figura 4. Xabeca (izqda.) y olla de reverbero (dcha.). Fuentes: TRENADO, A. (izqda.) y RODRÍGUEZ, J. (dcha.).

$\text{SAg}_2$ , cloruro de sodio  $\text{ClNa}$ , magistral (esencialmente  $\text{SO}_4\text{Cu}$ ) y azogue o mercurio  $\text{Hg}$ :



Las ventajas de este proceso, se relacionaban básicamente, con dos factores fundamentales:

- La mediocridad de la ley de las minas americanas a partir de mediados del siglo XVI.
- Las condiciones ambientales de la meseta mexicana y del altiplano peruano en que se concentraban la mayoría de las minas.

Para la obtención del azogue, AGRÍCOLA, G. (De Re Metallica, 1556) describe cinco procedimientos y el onu-

bense ALONSO BARBA, A. (El arte de los metales..., 1640), describe dos procedimientos (cuyos principios ya fueron descritos por Agrícola) donde se describen las tecnologías más utilizadas en la obtención de azogue, fundamentalmente: las xabecas o jábecas (empleada por los árabes y que dejaron de emplearse a comienzos del XVII según documento fechado en 1623. GONZALEZ, T., 1832.) y el horno de reverberación (utilizado en la época de los banqueros alemanes Fugger que eran los arrendatarios de las minas de Almadén entre 1525 y 1645. MATILLA TASCÓN, A.).

En la primera década del siglo XVII la tecnología de xabecas quedó desterrada de Almadén, cruzando el Atlántico para ser utilizada en Perú (introducidos por Pedro Contreras), mientras en Almadén se utilizaban los hornos de reverbero. La demanda de azogue era tan importante que la Corona enviaba a técnicos de Almadén con el fin de mejorar la metalurgia del azogue.

Fue el 14 de noviembre de 1633, cuando Lope de Saavedra y Barba, natural de Siruela en Badajoz (a 40 km de Almadén), de profesión médico y avecindado en 1617 en Huancavelica (Perú) donde se existía una explotación importante de cinabrio, presenta al Conde de Chinchón (enviado el 14 de mayo de 1635 que fue recibido por la Corona el 29 de marzo de 1636) un memorial dedicando su invención al monarca reinante Felipe IV. Las ventajas que aportaba su invención eran las siguientes:

- Considerable reducción en el tiempo empleado en cada "cochura" (operación que se realiza en los hornos para obtener el azogue del cinabrio).
- Ahorro de mano de obra.
- Economía de combustible (el combustible empleado era el ichu).
- Permitía apurar los minerales pobres (de baja ley) que no eran tratable con el sistema de xabecas (empleado entonces en Huancavelica).

Después de varios experimentos en 1640 se le seguía denegando la recompensa por su invención, con la excusa de que no había probado sus resultados, replicando Lope de Saavedra que la mejor demostración de la bondad de su sistema estaba a la vista: "sesenta hornos diseminados al pie del cerro de Huancavelica, en cada uno de los cuales se beneficiaban desde 100 hasta 300 arrobas (1 arroba = 11,5023225 kg)".

Al fin, en Provisión de 14 de agosto de 1641 se señaló a Saavedra Barba durante su vida y por otra siguiente, el valor del 2% libre de todo el azogue que de cualquier





manera se beneficiara en Huancavelica. Se señaló como requisito la confirmación real en un plazo de seis años.

Los metalúrgicos, ya conocían el secreto de su horno y se beneficiaban de sus ventajas sin asumir el canon de la recompensa pedida no dándose por vencidos e incoaron juicio contradictorio, alegando que el pretendido invento de Saavedra no había cumplido con las expectativas anunciadas.

El 24 de marzo de 1645 muere en su viaje de vuelta a Perú desde España, donde fue a defender sus legítimos intereses. Fueron numerosas las vicisitudes y peripecias que sufrieron sus hijos (Isabel, Juan, Sebastián y Salvador) para cobrar la renta que les legara su padre.

Pero, ¿en qué se basó el médico siroleño (catalogado, despectivamente, como “buscón de minas”) para inventar este horno?

- Algunos autores piensan que se limitó a perfeccionar el sistema de xabecas (LOHMANN, G. y otros), lo cual evidentemente logró y que el diseño final de horno de Saavedra es muy parecido a los que se empleaban desde tiempo inmemorial para cocer ladrillos, baldosas y otros objetos de alfarería (hornos de tejera) que Lope Saavedra conocía bien (ESCOSURA, L. y HERNANDEZ, A.M.).
- Otros, en cambio defienden que el origen del principio del horno de Saavedra está en los hornos usados en los laboratorios alquímicos de origen árabe (GONZALEZ, I. y FERNÁNDEZ, J., 1988), a pequeña escala, y que, por tanto, estaba ya inventado si bien, lo que en realidad aporta el horno de Saavedra es un diseño a escala industrial.

La tecnología de “aludeles” (condensador de azogue hecho de arcilla que enchufados unos en otros constituyen las cañerías en las que condensan los vapores mercuriales que salen del horno) saltó el Atlántico a través de la persona de D. Juan Alonso Bustamante, natural de Zagala (Badajoz) llegó a Perú como soldado y una vez licenciado fue mayordomo de la mina de Huancavelica y, por tanto, conocía la invención de Lope de Saavedra.

Al regresar a España en 1645, ya tenía referencias que en Almadén (LARRUGA, E., en 1787 aseguraba que conocía las minas de Almadén por haber hecho reparaciones en ella en 1643) existía enorme cantidad de metales pobres tirados por resultar caro su beneficio y pensó que podía beneficiarlo con los conocimientos adquiridos en Huancavelica. Idea que le comunicó a su amigo Diego de Sotomayor y Valdenebro, minero en Huancavelica durante once años,



Figura 5. Horno de tejera en Almadén. (Fuente: HERNÁNDEZ, A.M., 2007)

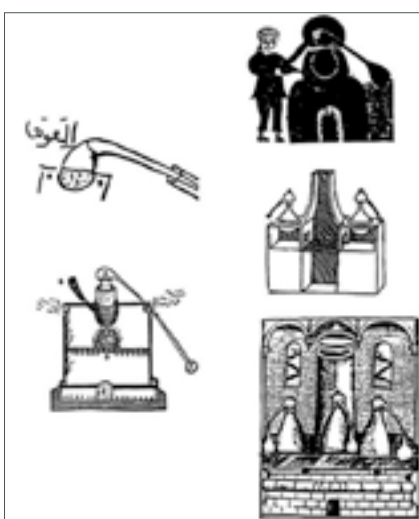


Figura 6. Esquemas de alambiques con condensador. (Fuente: OTERO, J.L., 2006)

dos veces procurador general de aquel mineraje y teniente de gobernador de la villa (MATILLA, A., 1987).

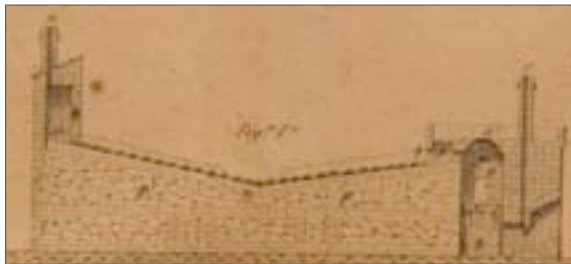
En septiembre de 1646 por Real Orden, Bustamante y Sotomayor llegan a Almadén y comprueban ser cierta la abundancia de metales abandonados por su pobreza. El primer horno que se construyó, en Almadén, similar al modelo de Saavedra Barba, para las demostraciones (cuyo coste ascendió a 131.828 mrs. el equivalente a 3.877,29 monedas de plata), se bautizó con el nombre de Nuestra Sra. de la Concepción (A.H.N., Legajo 1.556), realizándose la primera “cochura” el 19 de octubre de 1646 con una carga de 280 quintales (1 quintal = 46,009 kg) de metal de la que, el día 25, se obtuvieron 1.259 libras (1 libra = 0,46 kg) y media de azogue. Hasta finales de diciembre de 1646 se realizaron 6 “cochuras” con buenos resultados.

Bustamante derribó todos los hornos de reverberación (usados por los alemanes hasta 1645) y con sus materiales construyó hasta el 1 de enero de 1648 nueve hornos con el modelo de Saavedra. Poco antes, el 7 de noviembre de 1647 fue nombrado Superintendente de las minas de Almadén. No contento con esto, creyó el momento de cobrar su recompensa y pide al Consejo de Hacienda que se le concedan las

Figura 7. Placa en el cerco de buitrones de Almadén donde queda reconocido el invento de Saavedra Barba y reproducido por Juan A. Bustamante. (Fuente: elaboración propia)



Figura 8. Alzado en corte de un horno aludel. (Fuente: BARINNAGA, L., 1879)



mercedes en proporción al resultado obtenido, otorgándole además de la cantidad pactada de renta, el título de conde o marqués de la ciudad de La Serena (Chile), tres hábitos de las tres órdenes militares (uno para él y dos quienes casaren con sus dos sobrinas) y la presidencia de la Chancillería de las Charcas. A su amigo, Diego de Sotomayor se le había de dar un hábito de una de las órdenes militares y un oficio de corregidor de Cajamarca o Saña, en el Perú.

El Consejo de Indias se opuso a estas compensaciones y acusó a Bustamante de impostor por haber dado como propio un invento de Lope de Saavedra, pero el Consejo de Hacienda rechaza estas acusaciones y sale en defensa de Bustamante argumentado que, en ningún momento, éste había dado como suya esta idea y, muy al contrario, la había presentado como ya en uso y experimentada en el Perú.

De la importancia de la tecnología metalúrgica, el célebre químico francés, PROUST, L., en 1791, viene a decir: *“De todos los métodos conocidos en Europa para separar el mercurio de con sus minerales, el que los Españoles han aplicado a su mina de Almadén, es sin disputa el mejor: ¿Qué se puede emplear de más simple, y más expedito, que un horno, con el que se extrae en el intervalo de doce a quince horas tal cantidad de mercurio como la que pueden contener 250, y hasta 300 quintales de minerales? ¿Qué medio más económico que una práctica, que no administra otro intermedio que el de la llama, que no exige ni el aparato de pilones, ni triage, ni lavaderos, ni secaderos, ni el gasto de ingredientes? ...”*

El proceso metalúrgico comenzaba con una clasificación de la piedra de cinabrio mediante un estrío en cuatro clases:

1. Superior, “*meta*” o “*rico*”, que consiste en arenisca fuertemente impregnada de cinabrio.
2. Mediano “*china*” o “*requiebro*” que consiste en trozos menos puros y ricos, cuyo tamaño no pasa regularmente de 5 cm<sup>3</sup>.
3. “*Solera pobre*” o “*solera negra*” que consiste en una arenisca que solo tiene pintas del mineral.
4. Menudos de todas clases que se conocen con el nombre genérico de “*baciscos*”.

Después de apartado el mineral en estas cuatro clases y colocado en la proximidad de los hornos, se reducían los fragmentos mayores (el “*meta*”) en trozos más pequeños, por medio de porras y martillos para favorecer la acción del fuego. El sistema utilizaba el aire atmosférico como desulfurante.

Estos hornos, se construían por pares, de modo que cada batería constaba de dos vasos, terminados en su parte superior por una bóveda semiesférica.

Los hornos aludeles tienen forma cilíndrica, cubierta con una bóveda hemisférica y dividida en dos partes por medio de unos arcos de ladrillo colocados hacia su mitad, entre los cuales hay otros ladrillos, formando una especie de parrilla, a la cual llaman “*red*”.

En la figura 7 se ve el horno, en el cual *r* es la “*red*”. La parte *v* superior a esta, donde se cargaba el mineral, se llama el “*vaso*” y el “*hogar*”, era *h* parte inferior a la “*red*” donde se situaba el combustible (leña de encina, quejigos, lentiscos, charnecas conocidas ahora como cuernicabras, retamas, jaras, enebros, madroñas, azebuches, juagarzos término que englobaba a la jara, aulagas y espinos, ñestas actuales retamas, durillos y espinos). El fondo del horno es cóncavo y se llama la “*caldera*”. Tanto el “*vaso*” como el “*hogar*” tienen sus correspondientes puertas: la del “*hogar*” recibe, por el objeto al que se destina, el nombre especial de “*atizadero*”, y encima de ella existe una chimenea *c*, cuyo objeto es dar salida a los gases que pudiera salir por la puerta por ser muy perjudiciales.

En la parte central de la bóveda hay otra abertura circular *a*, llamada “*anillo*”, cerrada durante la operación con una chapa de palastro, que recibe el nombre de “*válvula*”. Al nivel del arranque de la bóveda hay en cada horno seis “*ventanillos*”, colocados en forma radial, con los cuales comunica el vaso con dos espacios *g* llamados generalmente “*arquetas*”, cada uno de los cuales recibe por consiguiente tres ventanillos. El piso de las “*arquetas*” no se encuentra al nivel del piso del horno, ni de la “*red*”, sino mucho más alto



(para conseguir estas diferencias de alturas se utilizaba la topografía natural del terreno o bien mediante obra de fábrica); y en la pared de las mismas, queda frente al “vaso”, y contiguos al suelo, se abren otros “ventanillos” en cada una. Por encima de los “ventanillos” hay en cada “arqueta” otra “ventanilla” **t**, tapada durante la operación con una baldosa.

A la altura de estas últimas “ventanillas” se encuentra el principio de un plano inclinado **P** de unos 9 m de longitud y 11°, aproximadamente, de pendiente, seguido de otro **P'**, próximamente igual pero de pendiente contraria, sobre los cuales se colocan los “aludeles” que permitía la condensación del azogue. La unión de ambos planos inclinados, que se llama la “quiebra”, tiene una pequeña caída hacia uno de sus extremos, a fin de que por ella corra el azogue hasta un recipiente. El primer plano inclinado se llama “cabeza o primer medio plan”; el segundo “radera o segundo medio plan”.

A la parte abultada de los “aludeles” se le llama “óvalo” y “boca” a la parte por donde se conectan en cada uno de ellos el extremo del otro, posteriormente, se tapan estas juntas con una mezcla de agua y cenizas para evitar pérdidas a la atmósfera. Estos formaban filas, cuyo número (generalmente 5, 6 u 8) dependía de la dimensión del horno y de cada fila salía de uno de los “ventanillos” de la “arqueta”, que está comunicado con ella por medio de un caño llamado “muela”, empotrado en la mampostería. Cada fila llevaba de 46 a 48 aludeles (medía, aproximadamente, 40 cms.) y se termina con uno de forma troncocónica **t**, llamado “trompeta”, empotrado también en el muro, que cierra otro espacio **m**, llamado “camareta” en el cual se reúnen las filas de aludeles. Los humos no condensados salen a la atmósfera por una chimenea **n**. A la “camareta” podía entrarse por una puerta, cerrada durante la operación con su hoja de madera, porque la temperatura que hay en esta parte del horno (que no pasaba nunca de 40° C), permitía perfectamente el empleo de este material (BARINNAGA, L., 1879).

Para que los operarios se pudiesen trasladarse, fácilmente, de un lado a otro de cada par de hornos, sin necesidad de dar vueltas y sin exponerse a romper los aludeles, se construyeron en un momento determinado, en uno de los planos próximos a la “quiebra” unos postes de ladrillo, cuya altura es, aproximadamente, de 40 a 50 cm, y en los cuales se apoyan unos tablones por los que se podía pasar sin afectar a los aludeles.

En el artículo 2 de su Tercera Memoria “Sobre las operaciones que se hacen dentro del cerco en que están los hornos de fundición del Almadén”, BETANCOURT, A.

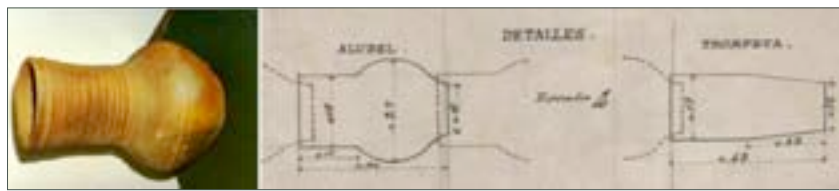


Figura 9. Aludel (izqda.) y forma de conexión (dcha.). (Fuentes: TRENADO, A. y Plano n° 88 FUNDACIÓN ALMADÉN “Francisco Javier de Villegas”)



Figura 10. Planes de “cabeza” y “radera” con los postes donde apoya un tablón de madera. (Fuente: Elaboración propia)



Figura 11. Planta y alzados de un par de hornos aludeles. (Fuente: BETANCOURT, A., 1783)

(1783) describe pormenorizadamente el modo de cargar los hornos de aludeles, hacer la cochura y descargarlos indicando los diferentes puestos de trabajo necesarios (*requibrador, cargador, cochurero, retapador, etc...*) y los diferentes útiles necesarios para realizar cada una de las labores (*raedera, rastro, maza de hierro, peso, etc...*). En esta misma Memoria, Betancourt aprovecha para contradecir a Guillermo Bowles (BOWLES, G., 1775) y afirma que no existe secreto, ni tan siquiera regla en relación al tiempo (variaba entre doce y catorce horas) que, los “cochureros”, debían mantener el fuego del horno y cuando estaba terminada la cochura, guiándose por el ruido que hacía el fuego dentro del horno y por una rutina carente de criterios racio-

Figura 12. Operación de levante a principio de siglo XX. (Fuente: TRENADO, A.)



Figura 13. Asiento o fábrica de fundición de Huancavelica por D. Juan de Oliva. (Fuente: ESCOSURA, L., 1878)



nales que permitiera optimizar la obtención de azogue en el proceso.

Una vez terminada la operación de destilación se abrían las puertas de los hornos y la de las “camaretas” para que se enfriara el contenido de los vasos, efectuándose la descarga y volviendo a cargar nuevamente. Esto es lo que constituía la operación denominada de “destape y enfrié”.

Posteriormente se pasaba a la operación denominada de “levante” o “fregadura”. Consistía esta operación en levantar la mitad de los caños (si se levantaban todos se denominaba “levante general”), sacudiéndolos para recoger el mercurio y los hollines que quedaban retenidos.

Los aludeles del “*plan de cabecera*” se solían levantar una vez al mes, o lo que es lo mismo cada diez “*cochuras*”, y los de “*rabera*” cada dos meses y al finalizar cada campaña se limpiaban también las “*camaretas*”. El procedimiento consistía en quitar primero los de la “*quebra*” y se continuaba limpiando hacia arriba hasta llegar al primero llamado “*muela*”, y al último “*trompeta*”. La limpieza de los aludeles se realizaba con una escoba y la ceniza se rascaba con rodillos.

Los productos del “*levante*”, a los que se denominaban “*hollines*”, se acumulaban formando montones para su posterior tratamiento.

Las características del horno de Lope Saavedra Barba eran las siguientes:

1. Los productos de la combustión y los vapores de mercurio salían juntos del horno a una sola cañería (formada por 7 u 8 aludeles colocados sobre una terraza) que arrancaban directamente del horno, regada exteriormente y llena en parte de agua, de tal forma que lo que no se condensaba se emitía a la atmósfera por el último aludel. La condensación mediante agua como refrigerante (diez veces superior al aire atmosférico) lograba la condensación del azogue. Posteriormente los hornos evolucionaron hasta llegar a tener 12 filas de cañerías a semejanza del tipo de horno que Bustamante construyó en Almadén.

La inclinación de la terraza o “*plan de cabecera*” de los hornos de Saavedra procede de la necesidad de dar pendiente al agua con que se regaban los aludeles colocados sobre ellas, y que el riego era absolutamente indispensable pues, de lo contrario, debido a las temperaturas alcanzadas se romperían.

2. Al igual que el construido por Bustamante no tenía chimenea (fue una innovación posterior) en la puerta del “*atizadero*” para el escape de la porción de humo, que, por no poder atravesar la “*red*”, se veía forzado a revocar, y que este humo saldría por el “*atizadero*” a la atmósfera como en otros hornos descritos por Agrícola, G..

3. En la cúpula del horno, había un agujero, como existieron en los hornos construidos, posteriormente, en Almadén y Almadenejos, que tapado durante la cochura, con un capirote móvil, servía para examinar la marcha del horno. Este recurso no fue utilizado, posteriormente, ya que el agujero permaneció siempre cerrado durante la operación de “*cochura*”.

4. Al igual que el de Bustamante los aludeles se llenaban, parcialmente, de agua y además, éstos se regaban exteriormente día y noche, sistema al que se renunció en Almadén en 1682, al advertir que alargando y multiplicando las cañerías, y recibiendo el último aludel en arquetas de condensación, antes de que los humos pasaran a la atmósfera, se lograba una mayor condensación del vapor de azogue. A partir de este año se utilizó como método de desulfuración el aire atmosférico al constatar que mejoraba la operación de “*cochura*”.

Las innovaciones de mejora continuaron y estuvieron siempre encaminadas a cumplir los siguientes objetivos: aumentar el rendimiento de los hornos, evitar las pérdidas de azogue y mejorar la salud de los que trabajaban en ellos.

El último administrador alemán de los banqueros Fugger, Mateo Naguelio (el conde de Molina informaba al rey que era



“uno de los grandes hombres de Europa en la facultad de minería”. GONZALEZ, I. y FERNANDEZ, J., 1988), aportó un par de mejoras de consideración a los nuevos hornos, en relación al modelo de Saavedra, al dotarlos de chimenea en la puerta del “atizadero” y de modificaciones en las cañerías. Con la primera medida se evitó el azogamiento de los trabajadores y con la segunda, la pérdida de azogue en fase vapor que se escapaba a la atmósfera o quedaba en forma de hollín en las “arquetas” siendo necesario volver a fundir.

En 1782 con la visita de Agustín de Betancourt a las minas expone la necesidad de aumentar el tiempo de enfriamiento de los hornos, no sólo como medida para tratar de eliminar el azogamiento de los trabajadores que realizaban la descarga, sino para evitar también las pérdidas de azogue, al abrir antes de tiempo, de producirse la condensación de todo el azogue que contenía el mineral.

BETANCOURT, A. también describe en su Tercera Memoria las innovaciones producidas en la mina de Idria (la mina de mercurio de Idria en la actual Eslovenia, fue descubierta en 1497) que un alemán (se refería al sueco Juan Jacobo Ferber), describió en su obra (FERBER, JUAN JACOBO. Descripción de la Mina de Azoque en caldo de Idria [Beschreibung des Quecksilber-Bergwerkes zu Idria in Mittel-Cräyn. Berlín, 1774) que trata de los hornos de aludeles construidos a imitación de los de Almadén y Almadenejos: “explica y demuestra que, para evitar la pérdida del azogue que con el humo del azufre salía por las chimeneas de las camaretas de atrás, han hecho dentro de ellas la pared **A**, que estriba sobre unos arcos, lo cual obliga al humo introducido por los caños o arcaduces **B**, a pasar rozando con la superficie del agua **C**, que hay en el depósito **D** colocado en el fondo de la camareta; y no contentos con esto, y con no dejar que salga directamente el humo por las chimeneas, le hacen pasar por la abertura **L** para que se introduzca en el cajón **e** y salga por la abertura **i** opuesta a las ventanillas **FG**, a fin de dar tiempo para que el azogue se condense, colocándose debajo de las referidas ventanillas, por donde al fin sale dicho humo, la canal **H** llena de agua; y afirma que en esta canal, a pesar de las precauciones expresadas, con el fin de que todo el mercurio caiga dentro de la camareta, se encuentra algunas porciones de azogue”.

José de Larrañaga, después de varios experimentos, propuso en 1823, la adopción de caños o aludeles con agujeros en el “óvalo” para los del primer plan (“plan de cabece-*ra*”), pero esta mejora no se adoptó hasta 1834. Con esta pequeña innovación, se consiguió terminar diez “cochuras”



Figura 14. Innovaciones realizadas en los hornos aludeles en Idria. (Fuente: BETANCOURT, A., 1783)

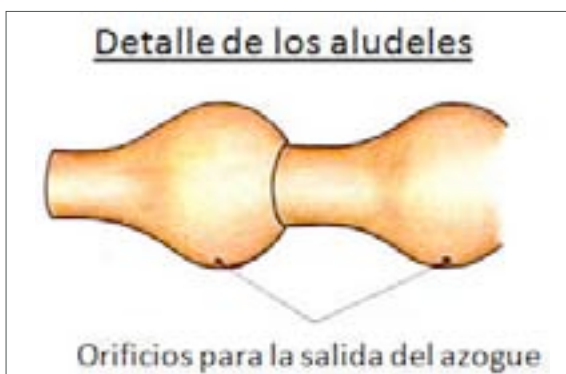


Figura 15. Detalle de la innovación realizada por José de Larrañaga. (Fuente: HERNANDEZ, A.M., 2007)

consecutivas con los mismos aludeles, sin tener que limpiarlos, mientras que, anteriormente, era necesario realizar el “levanté” en cada operación de “cochura”. También hizo aumentar el diámetro exterior e interior del óvalo para aumentar el espacio de condensación dentro de los aludeles, permitiendo además la entrada de aire que mejoraba la condensación.

En 1872, a sugerencia del Director de las minas, en ese momento Eusebio Oyarzabal, los “hollines” se echaban en calderas de hierro dulce, de escasa profundidad, que se colocaban sobre la carga del horno con el fin de obtener el azogue que pudieran tener.

José de Monasterio e Isidro Buceta (asesinados el 3 de julio de 1874 por una manifestación tumultuosa de más de un centenar de destajistas en las protestas laborales relacionadas con las condiciones de trabajo que pretendían aprobarse en un pliego de contratación. Cuatro trabajadores fueron sentenciados y ejecutados en un cadalso a las afueras de

Figura 16. Depósito de recogida del azogue de dos compartimentos. (Fuente: ESCOSURA, L., 1878)

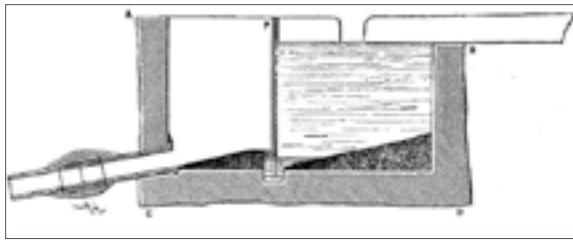


Figura 17. Par de hornos aludeles en Almadén. (Fuente: ADAME, J., 2009)



Almadén. En homenaje a ellos un par de hornos aludeles recibió sus nombres) plantearon una mejora para la recogida del azogue, que hasta ese momento se recogía en una pila de piedra, situada al final de la reguera de la “quebra”.

Estos dos Ingenieros de Minas diseñaron un depósito de recogida que dividieron en dos compartimentos separados por una plancha de palastro (hierro laminado). El suelo del compartimento más próximo a los hornos, estaba lleno de agua y era más profundo que el segundo, con el fin de que hubiera siempre azogue *r* debajo de la plancha *P* y no pudiera pasar agua a este. El azogue, que viene por la reguera, caía en el primer compartimento, atravesaba el agua llegando al fondo y pasaba al segundo compartimento por debajo de la plancha, corriendo después por el tubo que iba directamente al almacén para caer en el depósito correspondiente al par de hornos de donde procedía. En la parte superior del primer compartimento, había un rebosadero para dar salida al agua sobrante. Los tubos que conducían el azogue desde el se-



Figura 18. Hornos aludeles en el cerco de buitrones de Almadenejos. (Fuente: Elaboración propia, 2010).

gundo compartimento al almacén eran de hierro dulce, de los llamados de gas, ajustados a rosca en un manguito exterior y estaban colocados en una galería visitable para revisar los ajustes. Cada par de hornos de aludeles tenía su cañería y su depósito especial en el almacén.

Aparte de las innovaciones en los propios hornos, CASIANO DEL PRADO (1855) con el fin de mejorar el rendimiento de los mismos aconsejó que los hornos dejaran de funcionar durante el verano ya que era la época donde se producían las mayores pérdidas de azogue.

En Almadén en 1876 llegaron a contarse 10 pares de hornos aludeles del que solo queda uno (Figura 17) declarado BIC por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, con categoría de monumento en 1992.

En Almadenejos (Ciudad Real) llegaron a construirse 6 pares de hornos entre los cercos de buitrones de Almadenejos y Valdeazogues.

Esta tecnología llegó a extenderse a otros lugares de España hacia 1874, casos de Mieres y Lena (Asturias) después de haber probado con hornos de cámara para ver si éstos se adaptaban mejor a la presencia de arsénico en la mineralogía de la zona (LUQUE, C. y GUTIERREZ, 2006). En Usagre (Badajoz), concretamente, en mina “*Mariquita*” se construyó un par de hornos del que solo quedan restos de las chimeneas de los hornos.



Figura 19. Restos de un par de hornos aludeles en Usagre (Badajoz). (Fuente: GARCIA, G., 1999)



Figura 20. Horno aludel en Chóvar (Castellón). (Fuente: SANCHIS, J.M., 2008)



Figura 21. Horno aludel “Santa Matilde” en Orihuela (Alicante). (Fuente: SANCHIS, J.M., 2011)



## BIBLIOGRAFÍA

En Chóvar (Castellón) se encontró un horno aludel que parece ser, nunca funcionó.

En este mismo año se ha descubierto un horno llamado “Santa Matilde” (inaugurado en marzo de 1888) en Orihuela (Alicante) junto a la explotación del mercurio en el cerro del Oriolet. Tras el fracaso de la Sociedad “La Amistad”, que extrajo cinabrio durante dos o tres campañas y lo abandonó con anterioridad a 1880, se constituyó a finales de julio de 1886 en Alicante una nueva compañía con el mismo nombre de la mina que iban a trabajar: Virgen del Carmen (Fuente: Diario de Orihuela, 5 de marzo de 1888).

En 1901, solamente se mantenían en funcionamiento 11 pares de hornos de aludeles en Almadén, un par de hornos en Granada (en el pueblo de Cástaras) y 2 pares de hornos en Asturias.

Huancavelica y Almadén fueron los centros de innovación y de donde se obtenían los resultados que se pondrían en práctica en minas como las que estaban cerca de Chilapa (fueron trabajadas durante 5 años pero con poco éxito. LANG, M., 1969) en el Estado de Guerrero (México) o en las minas de La Jarilla y Majada de Cabritos (descubiertas en 1763. MILLÁN, A., 2001), cerca de Andacollo (Chile), provocando un flujo e intercambio de tecnología entre las dos orillas del Atlántico.

En Europa la difusión de estos hornos fue más tardía y en algunas de las zonas productoras de mercurio incluso no llegaron a usarse, como es el caso de Monte Amiata (Italia) donde solo hubo algunos intentos pero sin éxito. El caso de Idria (Eslovenia) fue diferente, aunque se tardó mucho tiempo, casi un siglo (1752) a través del Conde de Königsegg y del maestro de cochuras Rasezky quien introdujo algunas mejoras para evitar las pérdidas por las chimeneas.

La tecnología de aludeles llegó a utilizarse durante 283 años (1646-1929). Demasiado tiempo como para que no hubiera surgido otra tecnología mejor con anterioridad, hecho que sucedió con la llegada de los hornos Cermak-Spirek, en febrero de 1904, lo que supuso su fin. La obsolescencia de la tecnología de aludeles fue claramente superada por los primeros hornos de producción continua y marcha regulable lo que aumentaba la versatilidad y flexibilidad de la producción de mercurio.

En reconocimiento a su inventor, en palabras de Escosura: “La gloria es de Lope Saavedra Barba. El fue el primero que se aventuró a destilar en hornos abiertos un metal tan volátil como el azogue, y antes que nadie había aplicado, al beneficio de los minerales, el principio que los hermanos Siemens llaman de la regeneración del calor”. ■

1. AGRICOLA, GEORG. De Re Metallica. Basilea, 1556.
2. A.H.N.. Almadén. Fondo histórico. Legajo 1.556
3. BARBA ALONSO, ALVARO. Arte de los metales, en que se enseña el verdadero beneficio de los de oro, y de plata por azogue. El modo de fundirlos todos, y como se han de refinar y apartar unos de otros (1640). Ed. facsimil. Librerías París-Valencia. Valencia, 1993.
4. BARGALLÓ, MODESTO. La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial. Ed. Fondo de Cultura Económica. México-Buenos Aires, 1955.
5. BARINNAGA Y CORRADI, LUÍS. Curso de metalurgia especial explicado (sic) en la Escuela de Minas de Madrid. Imprenta a cargo de Lucas Polo. Madrid, 1879.
6. BETANCOURT, A. Memoria de las Reales Minas de azogue de Almadén (1793). Editado por Ignacio González Tascón y Joaquín Fernández Pérez, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología. Madrid 1990.
7. BOWLES, GUILLERMO. Introducción a la Historia Natural y a la geografía física de España. Imprenta Real. Madrid, 1775.
8. CASTILLO, M. y LANG, M.. Grandes figuras de la minería y metalurgia virreinal. Servicio de publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2006.
9. ESCOSURA Y MORROGH, LUÍS DE LA. Historia del tratamiento metalúrgico del azogue en España. Imprenta Tello. Madrid 1878.
10. GONZÁLEZ, IGNACIO Y FERNANDEZ, JOAQUIN. Evolución tipológica de los hornos de mercurio de Almadén. XVI Simposio Internacional ICOHTEC. Madrid, 1988.
11. GALAOR, I.; GLONER, D.; HAUSBERGER, B.; HÖFLEIN, M.; PROBST, G.; SCHEFFEL, R.; THAMM, S.; VOEL, V.. Las minas hispanoamericanas a mediados del siglo XVIII. Informes enviados al Real Gabinete de Historia Natural. Ediciones Iberoamericanas. Madrid, 1998.
12. GONZALEZ, TOMÁS. Registro y relación de minas de la Corona de Castilla. M. de Burgos. Madrid, 1832.
13. HERNÁNDEZ SOBRINO, ÁNGEL MANUEL. Los Mineros del Azogue. Editado por la Fundación Almadén – Francisco Javier de Villegas. 2007.
14. LANG, M. Azoguería y amalgamación en la época colonial. Revista de la sociedad española de la historia de las ciencias y de las técnicas (Revista Llull). V. 22 n.º44, 1999.
15. LANG, M. La búsqueda de azogue en el México colonial. Historia mexicana. V. 18 n.º 4, 1969.
16. LARRAÑAGA, JOSÉ. Memoria científico-económica sobre los inventos y mejoras en el beneficio de los minerales de cinabrio de la villa de Almadén. Imprenta Real. Madrid, 1822.
17. LARRUGA, EUGENIO. Memorias políticas y económicas sobre los frutos, comercio, fábricas y minas de España, con inclusión de los reales decretos, órdenes, cédula, aranceles y ordenanzas para su gobierno y fomento. Imprenta de Tello. Madrid 1787.
18. LOHMANN VILLENA, GUILLERMO. Las minas de Huancavelica en los siglos XVI y XVII. Edita la Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, 1999.
19. LUQUE, C. y GUTIERREZ, M. La minería del mercurio en Asturias. Rasgos históricos. Edita el Dpto. de Geología de la Universidad de Oviedo. Oviedo, 2006.
20. MATILLA TASCÓN, ANTONIO. Historia de las Minas de Almadén. Vol. I y II. Minas de Almadén e Instituto de Estudios Fiscales. Madrid 1958-1987.
21. MILLAN, AUGUSTO. Historia de la minería del oro en Chile. Editorial Universitaria. Santiago de Chile, 2001.
22. OTERO DE LA GÁNDARA, JOSÉ LUÍS. Notas para la historia de la Destilación. Editorial Tebar. Madrid 2006.
23. PRADO Y VALLO, CASIANO DE. Minas de Almadén. Editado en la imprenta y Fundición de D. Eusebio Aguado. Madrid, 1848.
24. PROUST, L.J.. Teoría de los hornos Bustamante. Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia. Tomo I. Segovia, 1791

# Proceso de conformado. Extrusión del aluminio

**Jacinto López Pérez**

Ingeniero Técnico de Minas  
TECMINA (Técnica Minera Aplicada, S.L.)

*El hecho de que los metales hayan sido y sean tan importantes para el avance de nuestra civilización, se debe en gran parte a la facilidad que ofrecen para su mecanizado, conformado y su unión, que nos permiten poder obtener múltiples piezas, con distintas características geométricas y propiedades. Los metales sometidos a unos esfuerzos determinados modifican o alteran el equilibrio de su red cristalina, produciéndose unos desplazamientos atómicos, que dan lugar a dos deformaciones: Elástica y Plástica. Los procesos de conformación suelen realizarse en la deformación plástica. Uno de estos procesos de conformado es la Extrusión.*

## PROCESOS BÁSICO DE MOLDEADO DE METALES

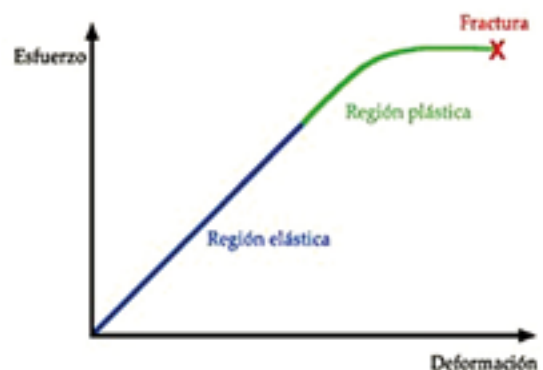
**A**

l aplicar un esfuerzo en un material se producen dos tipos de deformaciones (Figura 1):

Elástica: Al cesar la fuerza los átomos recuperan la situación de equilibrio.

Plástica: Los átomos no recuperan la posición inicial. La deformación es permanente. Es la zona donde se suele realizar el proceso de conformado.

El conformado, en función de la temperatura a la que se realice el proceso de deformación, se puede distinguir entre:





- Conformado por deformación en frío: Cuando esta se realiza por debajo de la temperatura de recristalización, (formación de granos libres de deformación), del material.
- Conformado por deformación en caliente: Cuando se realiza por encima de esa temperatura.

Los procesos básicos que se utilizan para dar forma a los metales (conformado) son, básicamente, cinco:

- *Solidificación en molde*. El metal fundido rellena un molde que se corresponde con el negativo de la forma a obtener.
- *Deformación plástica*. El metal se desplaza en el interior de una matriz relleno la huella. Se conserva el volumen.
- *Pulvimetalurgia*. Un polvo metálico se compacta y sinteriza en una técnica de "near-net shape".
- *Arranque de viruta*. El material se arranca de la superficie de la pieza de forma progresiva para obtener la forma deseada.
- *Soldadura*. Se pueden conformar piezas y estructuras por la unión metálica de componentes elementales.

## PROCESOS DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA

En general, se aplica el esfuerzo de compresión para deformar plásticamente el metal. Sin embargo, algunos procesos de formado estiran el metal, mientras que otros lo doblan y otros más lo cortan.

Para formar con éxito un metal éste debe poseer ciertas propiedades, que nos ayuden en el proceso. Las propiedades convenientes para el formado son:

- Baja resistencia a la fluencia
- Alta ductilidad.

Estas propiedades son *afectadas por la temperatura*.

La ductilidad se incrementa y la resistencia a la fluencia se reduce cuando se aumenta la temperatura de trabajo.

Por otro lado la velocidad de formación y la fricción son factores adicionales que afectan el desempeño del formado de metales.

Cómo hemos comentado en el aparatado anterior hay, básicamente, dos tipos de conformado en función de la temperatura de trabajo, aunque también se puede considerar un tercero: **el conformado tibio**, éste tiene lugar cuando trabajos con temperaturas altas, pero por debajo de la temperatura de recristalización.

Cuando el metal se deforma **en frío** aumenta su resistencia debido al endurecimiento por deformación, pero si el metal se deforma a una temperatura lo suficientemente ele-

**En general, se aplica el esfuerzo de compresión para deformar plásticamente el metal. Sin embargo, algunos procesos de formado estiran el metal, mientras que otros lo doblan y otros más lo cortan**

vada (por arriba del punto de recristalización), **en caliente**, no ocurre el endurecimiento por deformación, en su lugar se forman nuevos granos libres de deformación.

Esta temperatura es aproximadamente al 50% de la temperatura de fusión del metal, llamándose temperatura de recristalización y se requiere aproximadamente una hora para la formación de nuevos granos.

En frío el proceso de conformado es en chapas metálicas.

En caliente hay varios:

- Laminación
- Forja
- Extrusión
- Estirado
- Doblado
- Embutido

## CONFORMADO POR EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso de conformado por deformación plástica que consiste en obligar a una pieza, situada en un contenedor, a fluir a través de una matriz mediante la acción de un punzón.

Los metales que pueden trabajarse en caliente se pueden extrusionar con formas de sección transversal uniforme con ayuda de presión.

El principio de extrusión, similar a la acción del chorro de la pasta de dientes de un tubo, ha sido muy usado para procesos en serie desde la producción de ladrillos, tubo de desagüe, tubo de drenaje, hasta la manufactura de macarrones.

Algunos metales como el plomo, estaño y aluminio pueden extruirse en frío.

Material	Temperatura [C°(F°)]
Magnesio	350-450 (650-850)
Aluminio	350-500 (650-900)
Cobre	600-1100 (1200-2000)
Acero	1200-1300 (2200-2400)
Titanio	700-1200 (1300-2100)
	1000-1200 (1900-2200)
Aleaciones Refractarias	Mayores a 2000 (4000)

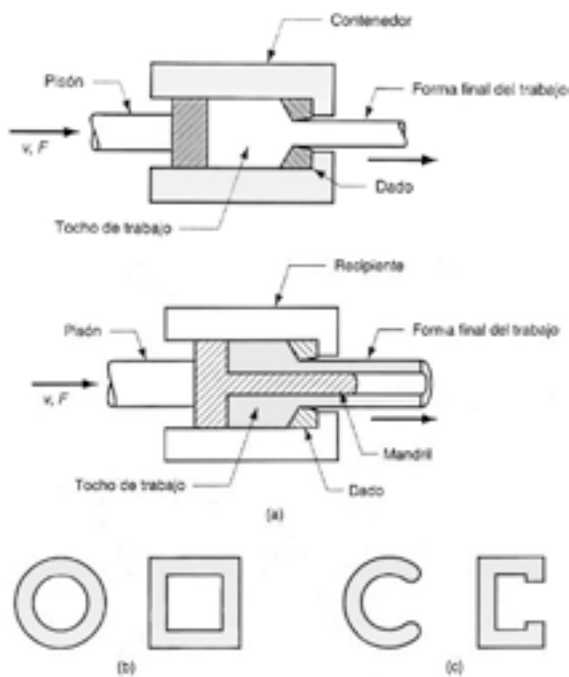
Consiste en forzar al metal (confinado en una cámara de presión) a salir a través de dados especialmente formados.

Varillas, tubos, guarniciones moldeadas, formas estructurales, cartuchos de bronce, y cables forrados con plomo son productos característicos de metales extruidos.

Las velocidades de operación dependen sobre todo de la temperatura y material, varían de unos cuantos metros sobre minuto hasta 275 m/min.

La extrusión puede ser de dos tipos:

Directa: **El metal es extruido a través del dado abriéndolo hasta que sólo queda una pequeña cantidad.**



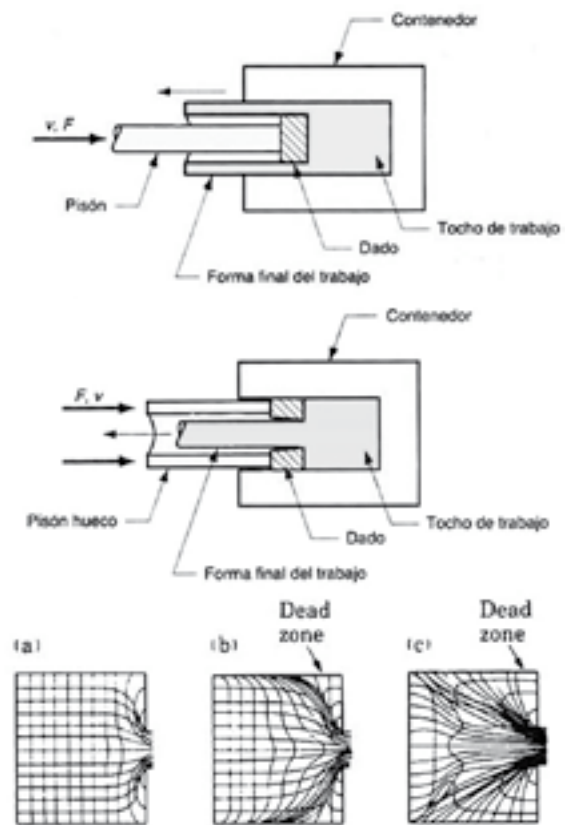
Indirecta: **la parte extruida es forzada a través del vástago apisonador.**

La extrusión puede ser de dos tipos: directa o indirecta, dependiendo de cómo el metal es extruido

En la extrusión indirecta se requiere menos fuerza, debido a que no existe fuerza de rozamiento entre el tocho y la pared continente.

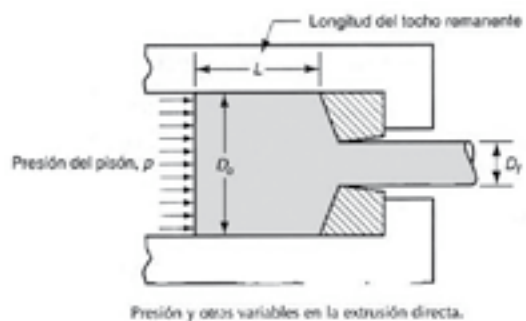
En cambio el debilitamiento del apisonador cuando es hueco y la imposibilidad de proveer soporte adecuado para la parte extruida constituyen las restricciones de este proceso.

El flujo que se produce del metal, se puede ver en la imagen siguiente.



### ANÁLISIS DE LA EXTRUSIÓN

Pasaremos a definir una serie de parámetros importantes en el proceso de extrusión, para lo que utilizaremos la siguiente figura:



El primer parámetro que vamos a definir es la Relación de Extrusión, también llamada relación de reducción:

$$r_x = \frac{A_0}{A_f}$$

Donde:

$r_x$  = relación de extrusión;

$A_0$  = área de la sección transversal del tocho inicial, (mm<sup>2</sup>);

$A_f$  = área final de la sección recta de la parte extruida, (mm<sup>2</sup>)

Esta relación se utiliza igualmente para la extrusión directa e indirecta.

Con este primer valor podemos calcular la deformación ideal, mediante la expresión:

$$\varepsilon = \ln r_x$$

La presión (Ideal) aplicada por el pisón para comprimir el tocho a través de la abertura del dado se describe en la figura anterior y se puede calcular bajo la suposición de deformación ideal como sigue:

$$p = \bar{Y}_f \ln r_x$$

Donde

$\bar{Y}_f$  = esfuerzo de fluencia promedio durante la deformación, (MPa).

De hecho, la extrusión no es un proceso sin fricción, y las ecuaciones anteriores subestiman totalmente la deformación y la presión en una operación de extrusión. La fricción existe entre el dado y el material de trabajo, a medida que el tocho se comprime y pasa a través de la abertura del dado. En la extrusión directa, también existe la fricción entre la pared interna del contenedor y la superficie del tocho.

La fricción incrementa la deformación experimentada por el metal. Por tanto, la presión real es mayor que la obtenida en la ecuación anterior, que supone una extrusión sin fricción.

La siguiente ecuación empírica propuesta por Johnson para estimar la deformación de extrusión está bastante reconocida:

$$\varepsilon_x = a + b \cdot \ln r_x$$

Donde a y b son constantes empíricas para el ángulo del dado. Los valores típicos de estas constantes son

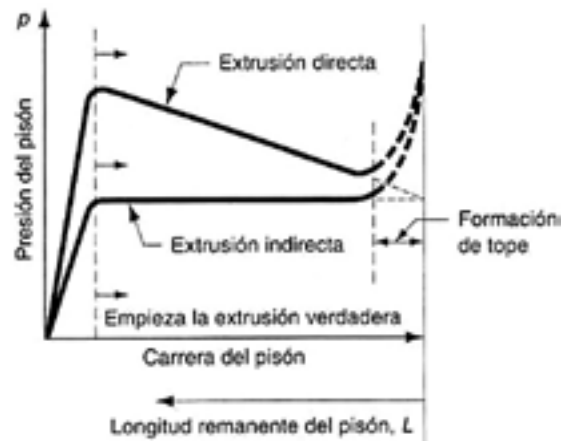
a = 0.8 y b = 1.2 a 1.5. Los valores de a y b tienden a aumentar cuando se incrementa el ángulo del dado.

La presión del pisón para desempeñar la extrusión indirecta se puede estimar con base en la fórmula de Johnson para la deformación de extrusión como sigue:

En la extrusión directa, el efecto de fricción entre las paredes del recipiente y el tocho ocasiona que la presión del pisón sea más grande que para la extrusión indirecta.

$$p = \bar{Y}_f \left( \varepsilon_x + \frac{2L}{D_0} \right)$$

Las siguientes gráficas son las típicas de la presión contra la carrera del pisón (y la longitud remanente del tocho) para extrusión directa e indirecta. Los valores más altos de la extrusión directa resultan de la fricción en las paredes del recipiente.



La forma de la acumulación de la presión al inicio de la gráfica depende del ángulo del dado (mayores ángulos del dado significan acumulaciones de presión más pronunciadas). El incremento de presión al final de la carrera se relaciona con la formación del tope.

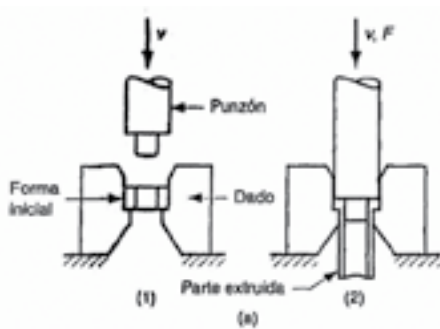
**La ecuación propuesta por Johnson para estimar la deformación de extrusión está bastante reconocida.**

### OTROS PROCESOS DE EXTRUSIÓN

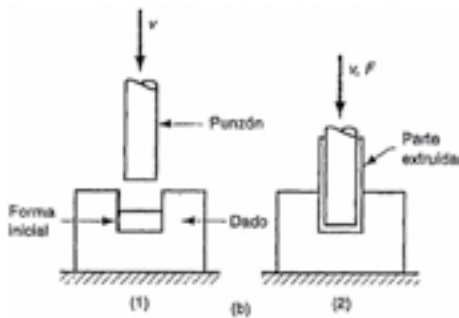
Los métodos principales de extrusión son la extrusión directa e indirecta. Ahora describiremos otras formas de extrusión y los procesos relacionados.

**La extrusión por impacto.** La extrusión por impacto se realiza a altas velocidades y carreras más cortas que la extrusión convencional. Se usa para hacer componentes individuales. Como su nombre lo indica, el punzón golpea a la parte de trabajo más que aplicar presión. La extrusión por impacto se puede llevar a cabo como:

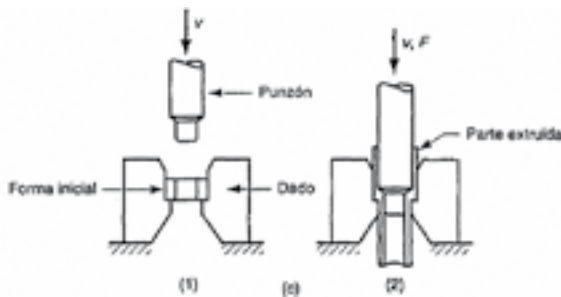
- a) extrusión hacia adelante,



- b) extrusión hacia atrás



- c) o una combinación de ambas.



La extrusión por impacto se hace usualmente en frío, con varios metales, la extrusión por impacto hacia atrás es la más común.

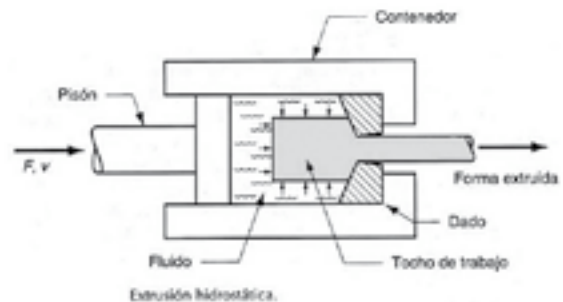
Además de la extrusión directa e indirecta, existen otros procesos, como la extrusión por impacto o la hidrostática.

Los productos hechos por este proceso incluyen tubos para pastas de dientes y cajas de baterías.

Estos ejemplos muestran que se pueden hacer paredes muy delgadas en las partes extruidas por impacto. Las características de alta velocidad del proceso por impacto permiten grandes reducciones y altas velocidades de producción, de aquí su alta importancia comercial.

**Extrusión hidrostática.** Un problema de la extrusión directa es la fricción a lo largo de la interfase tocho-contenedor. Este problema se puede solucionar utilizando un fluido en el interior del contenedor y ponerlo en contacto con el tocho, luego presionar el fluido con el movimiento hacia adelante del pistón, como se muestra en la figura.

De tal manera que no exista fricción dentro del recipiente y se reduzca también la fricción en la abertura del dado. La fuerza del pistón es entonces bastante menor que en la extrusión directa. La presión del fluido que actúa sobre todas las superficies del tocho da su nombre al proceso.



Se puede llevar a cabo a temperatura ambiente o a temperaturas elevadas. Para temperaturas elevadas se necesitan fluidos y procedimientos especiales.

La extrusión hidrostática es una adaptación de la extrusión directa.



La presión hidrostática sobre el material de trabajo incrementa la ductilidad del material. Por consiguiente, este proceso se puede usar con metales que son demasiado frágiles para operaciones de extrusión convencional.

Los metales dúctiles también pueden extruirse hidrostáticamente y es posible una alta relación de reducción en esos materiales.

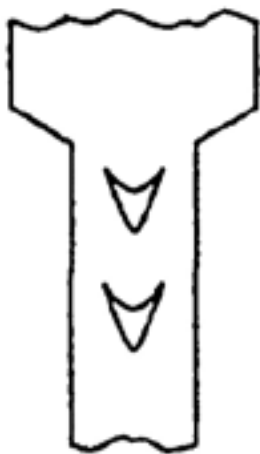
Una desventaja del proceso es que se requiere preparar los tochos iniciales de trabajo.

El tocho debe formarse con un huso en uno de sus extremos para ajustarlo al ángulo de entrada del dado. Éste actúa como un sello que previene fugas del fluido a través de la abertura del dado, al iniciar la presurización del recipiente.

## DEFECTOS EN PRODUCTOS EXTRUIDOS

Debido a la considerable deformación asociada a las operaciones de extrusión, pueden ocurrir numerosos defectos en los productos extruidos. Los defectos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

**Reventado central.** Este defecto es una grieta interna que se desarrolla como resultado de los esfuerzos de tensión pueden parecer improbables en un proceso de compresión como la extrusión, tienden a ocurrir bajo condiciones que ocasionan gran deformación en regiones de trabajo apartadas del eje central.



El movimiento de material más grande en las regiones exteriores, estira el material a lo largo del centro de la pieza de trabajo. Si los esfuerzos son lo suficientemente grandes, ocurre el reventado cen-

tral. Las condiciones que promueven estas fallas son los ángulos obtusos del dado, las bajas relaciones de extrusión y las impurezas del metal de trabajo que sirven como puntos de inicio para las grietas.

Lo difícil del reventado central es su detección. Es un defecto interno que no se observa generalmente por inspección visual.

Otros nombres que se usan para este efecto son *fractura de punta de flecha*, *agrietao central* y *agrietao tipo chevron*.

**Tubificado (bolsa de contracción).** La tubificación es un defecto asociado con la extrusión directa. Como se puede apreciar en la figura es un hundimiento en el extremo del tocho.

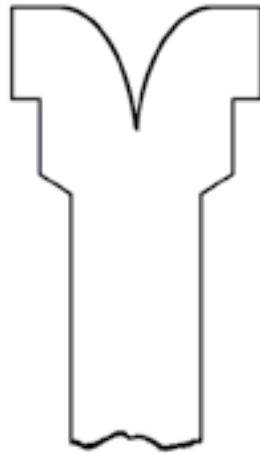


El uso de un bloque simulado, cuyo diámetro sea ligeramente menor que el del tocho, ayuda a evitar la tubificación. Otros nombres que se dan a este defecto son *cola de tubo* y *cola de pescado*.

**Agrietado superficial.** Este defecto es resultado de las altas temperaturas de la pieza de trabajo que causan el desarrollo de grietas en la superficie; ocurre frecuentemente cuando la velocidadde extru-

El uso de un bloque simulado, cuyo diámetro sea ligeramente menor que el del tocho, ayuda a evitar la tubificación.

sión es demasiado alta y conduce a altas velocidades de deformación asociadas con generación de calor



Otros factores que contribuyen al agrietamiento superficial son la alta fricción y el enfriamiento rápido de la superficie de los tochos a altas temperaturas en la extrusión en caliente.

### EXTRUSIÓN DEL ALUMINIO

Los Productos extruidos representan más del 50% del mercado europeo de productos de aluminio; de este porcentaje, el sector de la edificación utiliza la mayor parte.

El aluminio extruido se usa en los sistemas de perfiles de ventanas y puertas en edificios residenciales y comerciales, en estructuras de viviendas y edificios prefabricados, en materiales para tejados y revestimientos exteriores, muros cortina, fachadas de locales comerciales, etc. Además, el aluminio extruido se

usa también en el transporte de cargas, en fuselajes de aviones, vehículos de carretera y ferrocarriles, y para aplicaciones marinas.

Las características fundamentales del proceso de extrusión del aluminio son las siguientes: Un lingote caliente, cortado de un tocho largo (o, para diámetros pequeños, de una barra extruida más grande), se aloja dentro de un contenedor caliente, normalmente entre 450 °C y 500 °C.

A estas temperaturas, la tensión de flujo de las aleaciones de aluminio es muy baja, y aplicando presión por medio de un pistón hidráulico (ariete) el metal fluye (extrusión directa) a través de una matriz de acero situada en el otro extremo del contenedor.

Este proceso da, como resultado, un perfil cuya sección transversal viene definida por la forma de la matriz.

Todas las aleaciones de aluminio pueden ser extruidas, pero algunas son menos adecuadas que otras, ya que exigen mayores presiones, permiten sólo velocidades bajas de extrusión y/o tienen acabado de superficie y complejidad de perfil menores de las deseadas. El término "extrusionabilidad" se utiliza para abarcar todos estos temas, con el aluminio puro en un lado de la escala, y las fuertes aleaciones de Aluminio-Zinc-Magnesio-Cobre en el otro. Las aleaciones de la serie 6000 (Aluminio-Magnesio-Silicio) ocupan la mayor parte del mercado de la extrusión.

Este grupo de aleaciones tiene una combinación atractiva de propiedades, importantes tanto desde el punto de vista de la producción como de su uso, y han sido objeto de una gran cantidad de proyectos de I+D en numerosos países. Como resultado se ha obtenido un conjunto de materiales, con una resistencia entre 150 Mpa y 350 Mpa, y todos con buena dureza y formabilidad. Se pueden extrusionar con facilidad y en general, su "extrusionabilidad" es buena, aunque aquellos que contienen niveles de magnesio y silicio en los límites inferiores de la escala, por ejemplo la 6060 y la 6063, se extruyen a velocidades muy altas, hasta 100 metros por minuto, con un buen acabado de superficie, aptitud para el anodizado y un complejidad máxima de sección transversal del perfil junto con un mínimo espesor de pared.

La potencia de empuje de las prensas varía desde unos pocos cientos de toneladas hasta 20.000 tone-

**Todas las aleaciones de aluminio pueden ser extruidas, pero algunas son menos adecuadas que otras, ya que exigen mayores presiones**



ladas, aunque la mayoría están en el rango comprendido entre 1.000 y 3.000 toneladas. El diámetro de los tochos de extrusión va desde 50 mm hasta 500 mm. con una longitud de entre 2 y 4 veces el diámetro. Aunque la mayoría de las prensas tienen contenedores cilíndricos, algunas los tienen rectangulares para la producción de perfiles con secciones anchas y de pequeño espesor.



La facilidad con que las aleaciones de aluminio pueden ser extruidas en formas complejas convierte en legítima la afirmación de que permite al diseñador “poner el metal justo donde hace falta”, un requisito importante cuando se habla de una material relativamente caro. Es más, esta flexibilidad en el diseño hace que sea fácil, en muchos casos, superar el hecho que el aluminio y sus aleaciones sólo tienen un tercio del módulo elástico del acero.



Dado que la rigidez depende no sólo del módulo elástico sino también de la geometría del perfil, es posible, aumentando 1,5 veces el grosor de una viga de aluminio respecto a la de acero que pretende reemplazar, obtener la misma rigidez del acero con la mitad de peso.

Además, con un poco de coste extra en la fase de mecanizado, se pueden añadir características a la forma del perfil que aumentan la rigidez de torsión y añaden surcos para, por ejemplo, eliminar fluidos, meter cableado, muescas antideslizantes, etc.

Estas características en una viga de acero significarían costes extras debido a la necesidad de soldadura y conformación, lo que reduce en parte la diferencia inicial entre los costes del acero y del aluminio. ■



La flexibilidad en el diseño hace que sea fácil, en muchos casos, superar el hecho que el aluminio y sus aleaciones solo tienen un tercio del módulo elástico del acero

## BIBLIOGRAFÍA

Ingeniería de Materiales. M<sup>a</sup> Dolors Riera. EUPM.

Formado de Materiales. Francisco Montaña. UMSS.

ANEXPA.

## Reconstrucción geomorfológica en la restauración minera de la cantera

# Los Quebraderos de la Serrana de Toledo

**Zapico Alonso, I.** Universidad Complutense, Madrid  
**Martín Duque, J.F.** Universidad Complutense, Madrid  
**Bugosh, N** Compañía GeoFluv, Estados Unidos  
**Balaguer, L.** Universidad Complutense, Madrid  
**Campillo, J.V.** Construcciones Lozoya S.A. Toledo  
**De Francisco, C.** Universidad Complutense, Madrid  
**García, J.** Licenciado en CC Ambientales  
**Hernando, N.** Universidad Complutense, Madrid  
**Nicolau, J.M.** Universidad de Zaragoza  
**Nyssen, S.** Universidad Complutense, Madrid  
**Oria, J.** Ingeniero de Montes  
**Sanz, M.A.** Universidad Complutense, Madrid  
**Tejedor, M.** Universidad Complutense, Madrid

*En este artículo se describen los aspectos fundamentales de un Plan de Restauración. Se explican las actuaciones realizadas en el caso concreto de la cantera los Quebraderos de la Serrana (Noez, Toledo). Primero se realiza una reconstrucción geomorfológica, para después proponer un diseño de explotación y restauración que compatibiliza la obtención de aglomerado asfáltico, con la conservación del águila imperial. Al final de este artículo se llega a concluir que deberían realizarse este tipo de actuaciones frente a la mera corrección del impacto visual.*





**E**ste trabajo forma parte del *Estudio de Impacto Ambiental y del Plan de Restauración de la cantera "Los Quebraderos de la Serrana"*, situada en el término municipal de Noez (Toledo), desarrollado en el marco de un contrato de investigación entre la Universidad Complutense de Madrid y la empresa Construcciones Lozoya.

## MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

La minería es una actividad imprescindible para nuestro bienestar, hasta el punto que somos totalmente dependientes de ella. Un ejemplo muy ilustrativo, es uno de los mensajes corporativos de la Asociación Minera del Estado de Nevada (EEUU): *"Si no se cultiva, entonces hay que extraerlo de una mina"*. Por otra parte, la minería es una actividad que genera un fuerte impacto ambiental, ya que afecta a todos los compartimentos del ecosistema. En definitiva, dado que la minería es una actividad tan imprescindible como generadora de un fuerte impacto ambiental, es necesario buscar soluciones eficientes para compa-

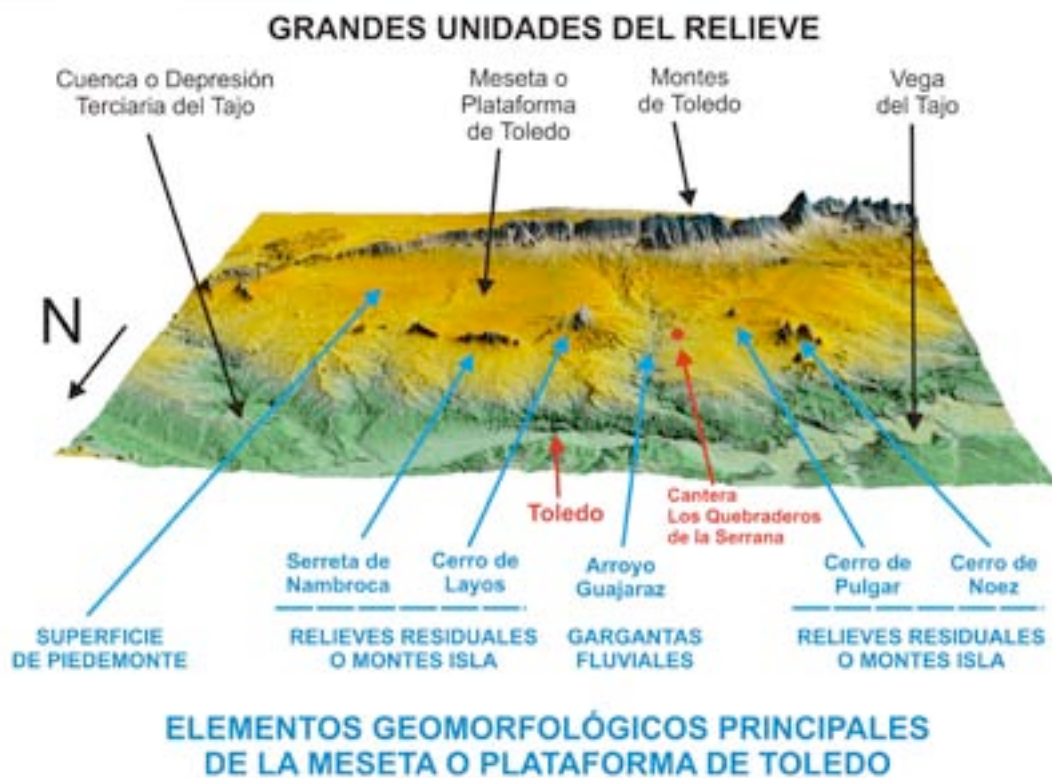
tibilizarla con el medio ambiente en el que se lleva a cabo.

En este artículo se tratan los aspectos fundamentales del Plan de Restauración de la cantera los Quebraderos de la Serrana (Noez, Toledo), donde, por medio de la Restauración Ecológica, y más concretamente por la reconstrucción geomorfológica, se propone un diseño de explotación y restauración que compatibiliza la obtención de aglomerado asfáltico, con la conservación del águila imperial.

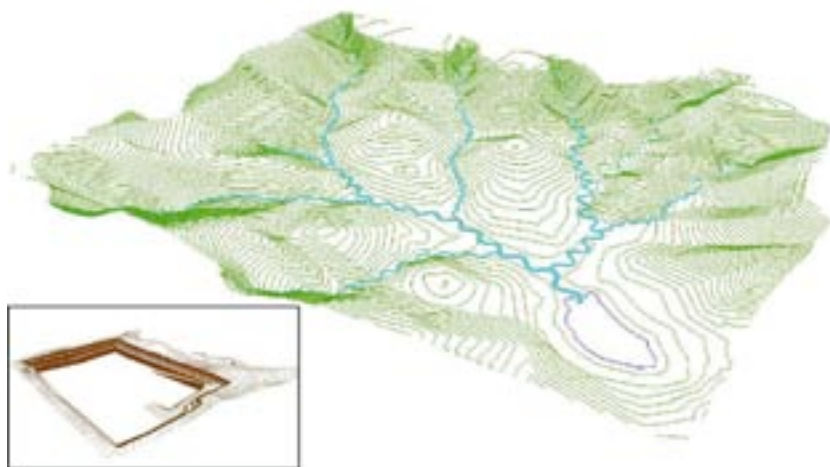
## CANTERA LOS QUEBRADEROS DE LA SERRANA

El proyecto de cantera Los Quebraderos de Serrana, promovido por Construcciones Lozoya S.A., se sitúa sobre la denominada Meseta de Toledo, rodeada por relieves residuales de gran valor geomorfológico, como los Cerros Pulgar y Layos (ver **Figura 1**). Al Norte de la cantera se encuentra la ciudad de Toledo, y al Sur los Montes de Toledo.

De esta cantera se pretenden extraer unas pizarras de gran calidad y valor para su uso como aglo-



**Figura 1:** Situación del proyecto de cantera Los Quebraderos de la Serrana, sobre la meseta de Toledo.



**Figura 2:** Vista en 3D de las curvas de nivel (en verde) del relieve diseñado con Natural Regrade (Alternativa 1). En azul se muestran la red de canales principales. La imagen inferior izquierda corresponde a una vista en 3D del estado del hueco de explotación que quedaría en caso de no hacer restauración. De este hueco se extraerán unas 650.000 m<sup>3</sup> a lo largo de los 13 años de actividad, que es el volumen de estériles con el que se ha diseñado la restauración. El hueco a explotar tendrá 16 hectáreas de superficie y una profundidad de 30 metros aproximadamente.

merado asfáltico. Todo ello a lo largo de los 13 años que contempla el Plan de Explotación. A su vez, este emplazamiento es *Zona de Dispersión e Importancia del Águila Imperial*. Este reconocimiento significa que este territorio es necesario para la conservación de esta especie. Inevitablemente, la extracción de este material va a generar una alteración en el relieve, que aunque no afecte al águila directamente, pero sí que lo va a hacer sobre el hábitat del conejo que allí habita, y que es su principal presa.

Para poder compatibilizar la extracción de pizarras con la *Zona de Dispersión e Importancia del Águila Imperial* se ha elaborado Plan de Restauración cuyo núcleo lo constituye un diseño de reconstrucción geomorfológica. Para ello se ha utilizado la metodología GeoFluv y el software Natural Regrade, que son las únicas herramientas del mercado que diseñan restauraciones mineras teniendo como base principios geomorfológicos (Bugosh, 2002). Con esta actuación se pretende corregir la alteración del relieve que se producirá con el desarrollo de la actividad minera. Este diseño, junto con la reposición de suelos y la revegetación, permitirán crear una serie de hábitats, capaces de albergar densidades óptimas de conejo.

## RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LA CANTERA LOS QUEBRADEROS DE LA SERRANA

En la restauración ecológica de espacios afectados por minería a cielo abierto el aspecto más importante es la reconstrucción geomorfológica. Si no se logra establecer un relieve estable, el éxito de las otras dos fases de la restauración ecológica en espacios mineros, restitución de suelos y revegetación, se verá comprometido (Martín Duque et al., 2010).

### Reconstrucción geomorfológica con Natural Regrade y GeoFluv

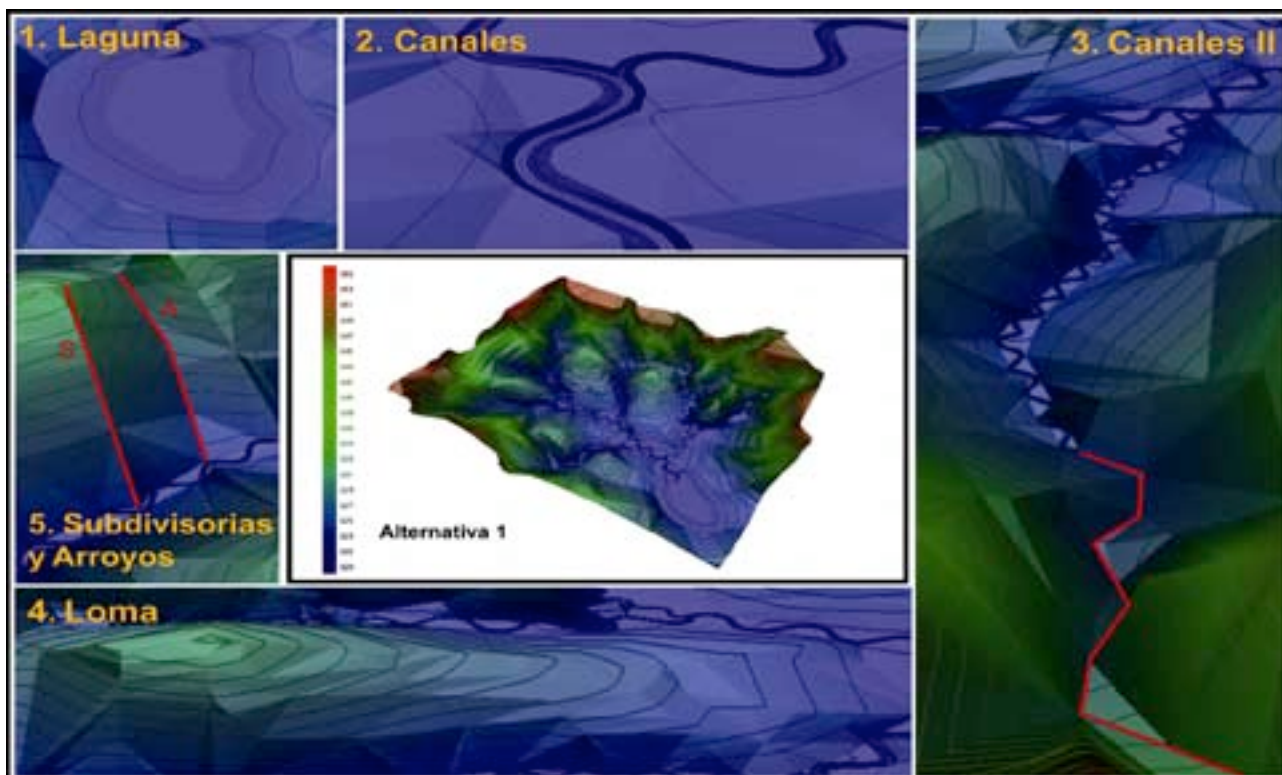
El diseño se basa en crear una topografía que replica las formas naturales del entorno, caracterizadas por laderas convexo-cóncavas y por poseer redes de drenaje. Todo este diseño se hace teniendo en cuenta cuatro aspectos:

- **Referente próximo a la zona:** como los estériles generados por la explotación serán similares a depósitos coluvionares, se eligió como referente los pies de los cerros de Layos y Pulgar, por ser de similares características. De ellos se extrajeron parámetros como la densidad de drenaje y la forma de los canales.
- **Clima del entorno:** se tiene en cuenta para dimensionar los canales y caracterizar su perfil transversal. Se establece a partir de valores de precipitación para diferentes periodos de retorno.
- **Tipo de estériles:** en este caso se trata de bloques de pizarras y calcoesquistos de diferentes tamaños. Su naturaleza, junto con el suelo que se repondrá, determinan el coeficiente de escorrentía.
- **Cantidad de estériles y topografía:** El software no sólo tiene en cuenta las condiciones naturales del entorno, sino que también considera las características de la cantera que se va a restaurar (hueco de explotación, método de extracción y restauración y volumen de estériles).

Con estos cuatro elementos de partida, se ha elaborado el primer diseño de restauración en España de una superficie restaurada con el software Natural Regrade, tal y como se puede ver en la **Figura 2**.

La imagen de la **Figura 2** corresponde a la *Alternativa 1* de restauración, que se ha elaborado para la cantidad de estériles que generará la explotación, sin tener en





**Figura 3:** Detalles del diseño geomorfológico elaborado con el software Natural Regrade y la metodología GeoFluv. Donde: “S” hace referencia a la subdivisoria; “A” al arroyo; la línea roja del recuadro 3 hace referencia a la parte del canal que tiene una pendiente superior al 4% y por tanto forma de zig-zag, patrón este muy común en la naturaleza. La escala de colores de la imagen central corresponde a las diferentes alturas que alcanza el relieve diseñado.

cuenta ningún aporte externo. Algunos detalles de esta alternativa (ver **Figura 3**) son:

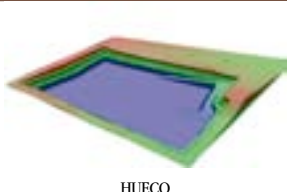
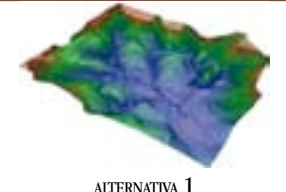
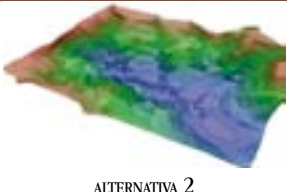
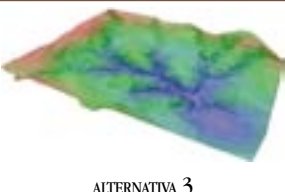
1. **Laguna:** el hueco minero que quedará tras la explotación va a ser endorreico (no verterá agua fuera de él). Así que el canal principal, en lugar de conectar con la red fluvial natural, terminará en una laguna, que dará lugar a un humedal. Su dimensionamiento se ha realizado sobre la base de un balance hidrológico de la cuenca que vierte a la laguna.
2. **Canales:** el perfil transversal de todos los canales están preparados para evacuar agua correspondiente a lluvias de distinta duración y periodo de retorno. Todo ello por medio de su *bankfull* y de una llanura de inundación.
3. **Canales II:** el patrón general de las redes fluviales naturales muestra que, para pendientes de canales superiores al 4%, los canales están excavados en el sustrato (es decir, no son ríos aluviales), al tiempo que domina en los mismos un patrón en forma de zig-zag (línea roja de la **Figura 3**). En su inmensa

mayoría, cuando la pendiente pasa a ser inferior a 4%, los ríos pasan a ser aluviales, y los canales dominantes son de tipo meandriforme (Rosgen, 1994) El software reproduce estos detalles.

4. **Lomas:** entre los canales, se sitúan lomas estables, carentes de formas geométricas, a diferencia de lo que ocurre en las restauraciones convencionales (modelo *berma-talud*) (Nicolau, 2003).
5. **Subdivisorias y arroyos:** cada uno de las lomas principales, a su vez, se subdivide en otras más pequeñas, representadas por subdivisorias secundarias. Entre estas subdivisorias se situarán pequeños arroyos, que dirigirán el agua hasta los canales principales. Esto asegurará que toda la escorrentía que se genere en la superficie restaurada esté dirigida y gestionada.

A parte de esta alternativa, se han elaborado otras dos, Alternativas 2 y 3. Éstas consideran la posibilidad de relleno con otro tipo de materiales, tales como otros estériles mineros o RCDs (Residuos de Construcción y Demolición), siempre y cuando cumplan toda una serie de condiciones

**Tabla 1:** Tabla comparativa entre las alternativas propuestas para la restauración de la cantera Los Quebraderos de la Serrana. En la misma se comparan todo lo referente al movimiento de tierras y a la superficie de hábitats creados.

				
	HUECO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
<b>Caraterísticas</b>				
<b>Características básicas sobre movimientos de tierras</b>				
Volumen de excavación (m <sup>3</sup> ) (apertura de cuñas en frentes de explotación)	181.354,61	34.433,49	22.407,96	
Volumen de estériles total (incluyendo material procedente de la apertura de cuñas en frentes de explotación)	831.976,52	1.568.109,95	2.676.464,55	
Volumen de estériles neto (m <sup>3</sup> )	650.621,9	1.533.676,5	2.654.056,6	
Profundidad media del relleno (m)	6,33	10,67	17,06	
<b>Superficies de los distintos hábitats reconstruidos</b>				
Superficie de hábitat “cortados rocosos” (ha)	1,54	1,54	1,54	
Superficie de hábitat tipo “canchal” (ha)	5,66	5,66	5,66	
Superficie de hábitat tipo “tomillares y espartales sobre lomas” (superficie sobre la que se extenderían suelos) (ha)	7,57	7,57	7,57	
Superficie de hábitat “arbustos espinosos en fondo de vaguadas” (ha)	1,41	1,41	1,41	
Superficie de tipo humedal (ha)	0,6	0,6	0,6	
Superficie total de nuevos hábitats (ha)	16,78	16,78	16,78	
<b>Limitaciones para la restauración</b>				
Superficie con pendientes > 45% (ha)	2,2	0,9	0,18	

establecidas en el Plan de Restauración. En la **Tabla 1** se puede ver una comparativa entre las tres alternativas. El modelo de restauración es el mismo para las tres alternativas, y viene establecido por la presencia de una red de drenaje y una laguna final. La principal diferencia entre estas tres alternativas reside en que, al aumentar la cantidad de material de relleno, aumenta la profundidad de relleno, y se reducen por tanto las zonas de pendiente más elevada.

### Restitución de suelos

Durante el proceso de explotación se procederá a la retirada y acopio de los suelos originales, incluyendo una capa arcillosa situada bajo el suelo edáfico. Todo el proceso de retirada y acopio de los suelos se llevará a cabo siguiendo un protocolo establecido en el Plan de Restauración, para procurar su correcta conservación. Estos

suelos, una vez retirados y acopiados en el exterior de la explotación, se extenderán sobre el nuevo relieve, con un espesor próximo a 40 cm.

### Revegetación y hábitats

El último paso del Plan de Restauración es la revegetación, que en este caso está totalmente dirigida a la reconstrucción de hábitats para el conejo. En la actualidad, la superficie sobre la que proyectará la cantera se caracteriza por poseer un hábitat, dominante y homogéneo, de pastizales sobre llanuras ligeramente alomadas. El relieve diseñado con Natural Regrade, junto con la reposición de suelos y la revegetación, permitirá la creación de cinco nuevos hábitats (ver **Figura 4**): 1, cortados rocosos; 2, canchales; 3, tomillares y espartales sobre lomas; 4, arbustos espinosos en fondos de vaguada; y 5, humedal.



## Leyenda

— Canales

Tipos de Hábitats



1. Cortados rocosos



2. Canchales



3. Tomillares y espartales sobre lomas



4. Arbustos espinososo en fondo de vaguadas



5. Humedales

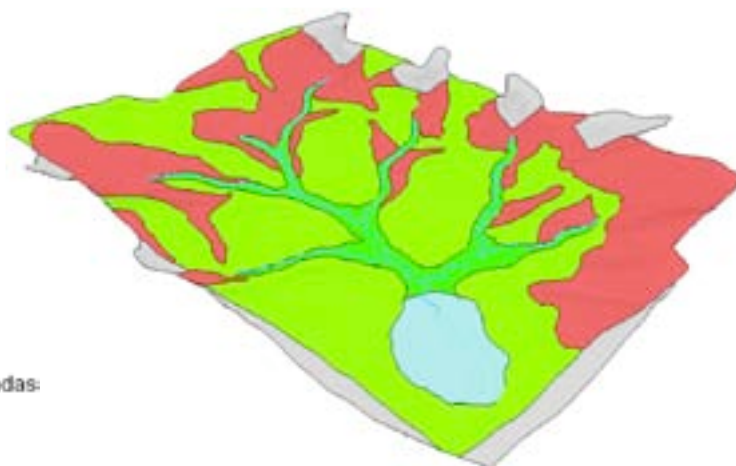


Figura 4: Vista 3D que muestra la distribución de hábitats sobre la futura superficie restaurada de la cantera Los Quebraderos de la Serrana.

## CONCLUSIONES

Mediante la consideración de criterios geomorfológicos se ha conseguido un diseño de restauración que: **1)** aumenta el número y diversidad de hábitats respecto a los que había antes de la actividad; **2)** asegura la estabilidad del sustrato a largo plazo, lo que contrasta con la inestabilidad de muchos de los modelos convencionales berma-talud; **3)** disminuirá o eliminará los costes de mantenimiento; **4)** consigue un mayor atractivo visual que los modelos convencionales berma-talud. En definitiva, una solución de restauración que permite restituir hábitats que soportarán al conejo, y que harán compatible la actividad minera con la conservación del águila imperial.

Este ejemplo nos permite concluir que, en la corrección de impactos ambientales de actividades humanas que mueven tierras (minería, infraestructuras lineales, urbanización,...), debería priorizarse la restauración ecológica de los terrenos afectados, frente a la corrección del impacto visual. Ello es debido a que la primera posibilidad la recuperación de bienes y servicios ambientales, esenciales para hacer frente al desafío del Cambio Global. Para conseguir una verdadera restauración ecológica de estos espacios es preciso incorporar criterios geomorfológicos, puesto que el movimiento de tierras ha transformado el relieve y el sustrato, y el resto de componentes y factores del ecosistema (hidrología, suelos o vegetación) son directamente dependientes de la geomorfología.

## AGRADECIMIENTOS

Además del contrato de investigación entre la UCM y la empresa Construcciones Lozoya, este trabajo repre-

## BIBLIOGRAFÍA

- Bugosh N. 2002. Slope and channel reclamation using fluvial geomorphic principles at San Juan Coal Company Mines in New Mexico. In *Approaching bond release: Postmining land use in the arid and semi-arid west*, Abstracts, August 25–30, 2002, Office of Surface Mining, North Dakota State University and North Dakota Public Service Commission: Bismarck, ND.
- Martín Duque JF, Sanz MA, Bodoque JM, Lucía, A. & Martín, C. 2010. Restoring earth surface processes through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes. *Earth Surf. Proc. Landforms*, Volumen 35. Publicado on line DOI:10.1002/ESP.1950.
- Nicolau, J.M. 2003. Diseño y construcción del relieve en la restauración de ecosistemas degradados. Implicaciones ecológicas. En: Rey Benayas, JM, Espigares, T. y Nicolau, JM (eds). *Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos*. Pp. 173- 188. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- Rosgen, D.L. 1994. A Classification of Natural Rivers. *Catena*, Volumen 22. Pp. 169-199.

senta una contribución a los proyectos de investigación REMEDINAL 2 (S2009AMB-1783) y *Mejora de la eficiencia ecológica y económica de las restauraciones mineras mediante reconstrucciones geomorfológicas que favorecen el control hidrológico* (CGL2010-21754-C02-01), este último financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. ■



# Tratamiento de los residuos generados en una cantera

**Gerardo Menéndez Montero y Juan Vicente Moyo Dorado**

Ingenieros Técnicos de Minas

*El autor de este artículo explica cómo se debe poner en marcha un plan de tratamiento de residuos en una empresa y, concretamente, cómo gestionar los residuos generados en una cantera que, generalmente, son residuos inertes. Una vez clasificados deben de someterse a unos procesos de separación y de almacenamiento. El productor de residuos peligrosos está obligado a llevar un registro de control interno de la gestión y almacenamiento de residuos peligrosos.*

**S**e podría comenzar este artículo con dos preguntas claves: ¿Quién es un productor de residuos? y ¿Cómo realizar su tratamiento correctamente? Según la Ley 10/1998 de 21 de abril, se considera productor de residuos, a cualquier persona física o jurídica que produzca residuos o que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla, o de otro tipo que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de estos.

Según esta definición todas las empresas, autónomos o personas físicas, en mayor o menor grado, son generadoras de residuos. Ahora bien que categoría de



productor de residuos tengo. El gráfico lo que da respuesta.

Un pequeño productor de Residuos Peligrosos es aquél:

- Que genera menos de 10.000 Kg de Residuos Peligrosos al año.
- Ha adquirido esta condición mediante su inscripción en el Registro de Pequeños Productores de Residuos Peligrosos ante la administración autonómica correspondiente.

Estando la mayoría de las canteras y plantas de tratamiento en esta categoría, lo que da respuesta a la primera pregunta y al mismo tiempo a plantearnos la segunda de las cuestiones. ¿Cómo realizar su tratamiento correctamente?

Un correcto tratamiento de los residuos comienza en el momento mismo en que se generan y en este sentido es amplia y variada la normativa que hace referencia a la producción y gestión de residuos, tanto a nivel comunitario, como nacional, autonómico y local.

Éstas son las principales obligaciones legales para gestionar los residuos peligrosos:

- Conocer los residuos que se generan.
- Segregarlos en origen y envasarlos.
- Etiquetarlos y almacenarlos.
- Registrarlos y entregarlos a un gestor autorizado.

Un forma lógica de comenzar este tratamiento es realizar, lo primero, un inventario de todos los residuos generados en la empresa, indicando el nombre del residuo, la cantidad generada, la naturaleza, el origen y el Gestor Autorizado que lo retira, teniendo en cuenta que todo residuo potencialmente reciclable o valorizable deberá ser destinado a estos fines, evitando su eliminación en todos los casos posibles.

## Un correcto tratamiento de residuos comienza en el momento mismo en que se generan

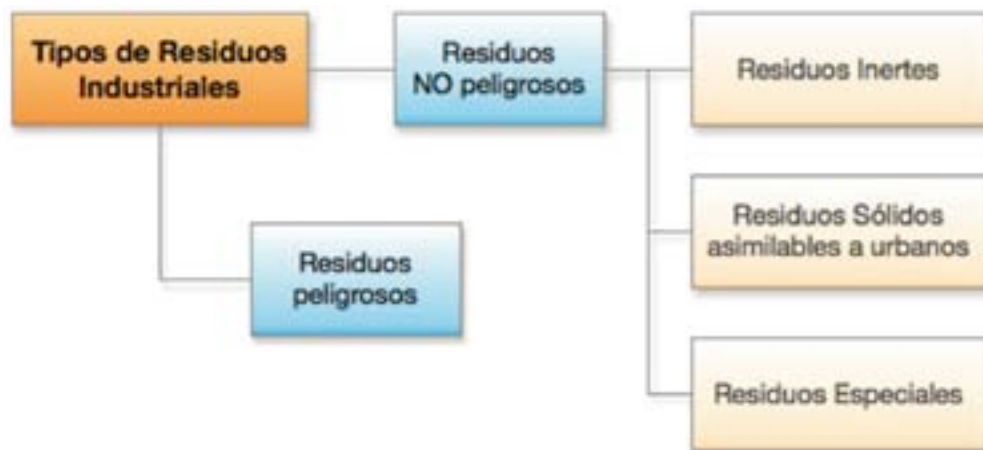
Una vez que ya se han inventariado los residuos industriales que se generan en la empresa, lo que debe hacerse es clasificar por tipo de residuos en una de las siguientes categorías:

Los residuos generados por una cantera son considerados como residuos industriales inertes, cuya definición es: "es el residuo que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas; no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana; la lixiviabilidad, la cantidad de contaminantes de los residuos y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes en el caso de un residuo inerte".

Y los residuos inertes producidos en una cantera, sin analítica previa, son:

- Residuos sólidos o semisólidos generados en la explotación, que no hayan sido trasladados a una planta de tratamiento para procesamiento. (Estos residuos incluyen la montera, así como los recursos extractivos no aptos para un uso comercial.)





Los residuos industriales asimilables a urbanos son aquellos residuos generados por las industrias que poseen las mismas características que los residuos urbanos y cuya gestión puede hacerse de forma conjunta con ellos

- Residuos de extracción sólidos o semisólidos extraídas para su procesamiento. (Los residuos pueden incluir bloques de arcilla retirados de las cintas transportadoras, tamaños grandes, materiales inadecuados, materiales derramados que hayan caído desde las cintas transportadoras).
- Residuos extractivos secos sólidos o líquidos producidos en las etapas de procesamiento (Los materiales finos procedentes de los sistemas de captación de polvo o de depuración del aire en la planta de tratamiento. Residuos de los sistemas de control del polvo en vía húmeda).
- Residuos extractivos de partículas de grano fino en suspensión en agua, o bien secadas por medios mecánicos o por sedimentación, drenaje o evaporación, producidos durante el procesamiento y el tratamiento, **previo a la separación por flotación.**

Quedan excluidos de la lista de residuos inertes sin analítica previa:

- todos aquellos provenientes de la extracción y tratamiento de las siguientes rocas y minerales: Residuos de minerales del boro, celestina (sulfato de estroncio), minerales del litio, minerales del bario

(barita, witherita), minerales del fluor (fluorita), fosfatos, sulfatos no metálicos [barita (sulfato de bario), glauberita y thenardita (sulfatos sódicos), cloruros [sal gema (cloruro sódico), carnalita (cloruro de magnesio y potasio hidratado) y silvina (cloruro de potasio)] .

- todos los residuos provenientes de la flotación y aquellos residuos que sean precipitados mediante coagulantes y floculantes en un proceso posterior a la flotación.

Los residuos industriales asimilables a urbanos son aquellos residuos generados por las industrias que poseen las mismas características que los residuos urbanos y cuya gestión puede hacerse de forma conjunta con ellos. Normalmente corresponde a los residuos industriales que no proceden del proceso. Ejemplos: restos de alimentos, papel, cartón, embalajes de plástico...

En cuanto a los residuos peligrosos son considerados cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda y que contenga en su composición sustancias o materiales en concentración tal que, pueda representar un riesgo para la salud humana, los recursos naturales o el medio ambiente.

Ejemplos de residuos peligrosos en una explotación de áridos:

- Filtros de aceite y gasoil.
- Residuos de algodones y absorbentes.
- Ferodos de freno.
- Envases que hayan contenido RTPs.
- Lámparas fluorescentes.
- Baterías.
- Anticongelante.





## En este artículo encontramos ejemplos de residuos peligrosos en explotación de áridos

- Aceites industriales.
- Neumáticos.

Un residuo peligroso debe estar perfectamente identificado para poder llevar un adecuado control sobre él. Para ello, se debe identificar de dos formas diferentes asignándole dos códigos:

- El código LER, que se puede encontrar en el Anejo 2 de la Orden MAM/304/2002, Lista Europea de Residuos.
- El código que se asigna utilizando las tablas que aparecen en el Anejo I del RD 833/88 modificado por el RD 952/97.

La información sobre la identificación del residuo la encontraremos en el documento de aceptación. Este documento nos lo entregará cumplimentado el Gestor Autorizado de Residuos Peligrosos.

La gestión de residuos peligrosos implica una serie de obligaciones legales, estando entre las principales:

- Conocer los residuos que se generan.
- Segregarlos en origen y envasarlos.
- Etiquetarlos y almacenarlos.
- Registrarlos y entregarlos a un gestor autorizado.

La correcta separación de residuos, prioritariamente en su lugar de origen es el punto de partida fundamental para hacer una correcta segregación de los mismos, dando como resultado unos residuos con mayor posibilidad para su valorización. Por tanto, para alcanzar una correcta segregación:

- Evitar poner en contacto residuos peligrosos con no peligrosos.
- Separar adecuadamente y no mezclar los residuos peligrosos entre sí, ya que se aumenta la peligrosidad del residuo y dificulta su gestión.
- Disponer de los contenedores necesarios y específicos para cada tipo de residuo.

Una vez identificados y separados es necesario envasar los residuos. Los productores habrán de aplicar



las siguientes normas de seguridad en cuanto al envasado:

- Los recipientes deberán estar perfectamente identificados.
- Serán de materiales adecuados y **homologados**, mediante la realización de las pruebas pertinentes. Además no podrán estar contruidos con materiales susceptibles de ser atacados por el contenido ni de formar con este combinaciones peligrosas.
- Los envases y sus cierres estarán concebidos y realizados de forma que se evite cualquier pérdida de contenido.
- Los envases y sus cierres serán sólidos y siempre serán resistentes a las manipulaciones a las que hayan de ser sometidos sin defecto alguno ni fugas aparentes.
- Envases serán individuales para cada tipo de residuo generado

Lo recomendable es utilizar los envases proporcionados por el gestor para envasar los distintos tipos de residuos peligrosos ya garantiza la seguridad y evita posibles sanciones. Es una garantía frente accidentes, vertidos y fugas.

Los recipientes o envases que contengan residuos peligrosos deberán estar etiquetados de forma clara, legible e indeleble al menos en la lengua española oficial del Estado.

En la etiqueta aparecerá la siguiente información:

- Datos del productor del residuo: Nombre de la empresa, dirección y teléfono.
- Código LER (Lista Europea de Residuos). El código LER, que se puede encontrar en el Anexo 2 de la Orden MAM/304/2002 y Código del Residuo. El código que se asigna utilizando las tablas que apa-



recen en el Anexo I del RD 833/88 modificado por el RD 952/97.

- Fecha de inicio del almacenamiento.
- Pictograma del riesgo.

La etiqueta deberá estar fijada firmemente y se anularán las anteriores que pudiera llevar el envase, pues podrían inducir a error. Las características generales de la etiqueta serán las siguientes:

- El tamaño de la etiqueta será de 10×10 cm. (mínimo).
- Material de la etiqueta: papel para interior, plastificado para exterior.
- Dorso de la etiqueta de material adhesivo.
- Color de la etiqueta: fondo en blanco y letras en negro.
- Pictogramas, dibujo en negro y fondo en amarillo-naranja.

Los gestores de residuos peligrosos suelen proveer de estas etiquetas, pero es necesario comprobarlas y sobre todo cumplimentarlas con los datos que faltan como los datos del productor y la fecha de envasado.

Los recipientes internos, recipientes auxiliares, que mejoran la operabilidad dentro de las instalaciones no es necesario etiquetarlos (Etiqueta de almacenamiento temporal de residuos peligroso), lo que sí se debe hacer es identificarlo, que quede claro qué tipo de residuo va en esos envases para no crear riesgo de mezcla o equivocación. La forma de identificarlo dependerá de cada uno, se puede utilizar una etiqueta sencilla, una codificación por colores, por materiales, etc.

## El productor de residuos peligrosos está obligado a llevar un registro de control interno de la gestión y almacenamiento de residuos peligrosos

Para el almacenamiento temporal de residuos los productores dispondrán de zonas a este efecto para su gestión posterior. Dichos emplazamientos deberán cumplir con la legislación y normas técnicas que les sean de aplicación.

El marco legal de referencia para establecer las condiciones de almacenamiento temporal son:

Art. 15 del RD 833/1988 cuyas exigencias son:

- Definir una zona específica.
- Cumplir con la normativa técnica de aplicación.
- No superar los 6 meses de almacenamiento.

No existe, por el momento, instrucción técnica específica. La normativa que se debe aplicar es el reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (Real Decreto 379/2001).

El productor de residuos peligrosos está obligado a llevar un registro de control interno de la gestión y almacenamiento de residuos peligrosos, que como mínimo tendrá el contenido que establece el Artículo 17 del Real Decreto 833/1988, sobre "Contenido del Registro":

- Origen de los residuos, indicando si proceden de generación propia o de importación.
- Cantidad, naturaleza y código de identificación.
- Fecha de cesión de los mismos.
- Fecha y descripción de los pretratamientos realizados, en su caso.
- Fecha de inicio y final de almacenamiento temporal.
- Fecha y descripción de las operaciones de tratamiento y eliminación en caso de productor autorizado a realizar operaciones de gestión "in situ".

No existe un documento oficial de libro registro y éste puede ser elaborado por la propia empresa, siempre y cuando incluya los siguientes campos.

- Un productor de residuos peligrosos (que genera más de 10 Tn./año de Residuos Peligrosos) se debe realizar cada año una declaración anual.




- Todos los productores de residuos peligrosos con independencia de la cantidad que generen al año deben presentar un *plan de minimización* de residuos peligrosos.
- Se puede conseguir minimizar residuos, por ejemplo, contando con vehículos que precisen un intervalo mayor de cambio de aceite, hacer los pedidos de anticongelante o aceite en envases más grandes, etc..
- La entrega de los residuos peligrosos debe realizarse siempre a un gestor autorizado por la administración local correspondiente.
- El pequeño productor sólo puede entregar los residuos al gestor, una vez obtenga el Documento de Aceptación de los gestores (un documento de aceptación por cada tipo de residuo).
- El Gestor de residuo nos entregara un documento de entrega cada vez que retire residuos de nuestra empresa.
- El gestor me entregara el Documento de Control y seguimiento.

Por último, se dan unas indicaciones de carácter general para evitar el arrastre o transporte por agua de los residuos peligrosos

- El almacenamiento debe ser tal que evite el arrastre por lluvia o nieve de las sustancias contaminantes y la contaminación del suelo que puedan ocasionar los residuos peligrosos (sean líquidos, pastosos o sólidos impregnados).
- Se deben disponer a cubierto, ya sea en sitio cerrado (dentro de las instalaciones), en ubicación exterior cubierto de la lluvia o en envases cerrados herméticamente.
- Se debe disponer de suelo impermeable (hormigón).

**Las zonas de almacenamiento de sustancias peligrosas deben estar separadas de la red de saneamiento**

<b>Pictogramas y frases de riesgo</b>  	<b>Código de Identificación del residuo</b> <b>Q 70 R2 // L 5 // C 41 // H JB6 // A 841 // B0005</b> <small>Env. Decreto 134/1988</small>
	<b>Fecha última de envasado:</b>
<b>Datos del productor :</b> Nombre Dirección Teléfono:	<b>Datos del gestor:</b> Nombre Dirección Teléfono: N° autorización:

Evitar la contaminación derivada de derrames accidentales especialmente en el caso de residuos líquidos. Se debe instalar algún sistema de recogida como:

- Cubeto de recogida con capacidad suficiente.
- Bordillo de altura suficiente y suelo en pendiente que conduzca a una arqueta estanca.
- Los cubetos de retención de vertidos deben contener un volumen equivalente al máximo entre: el depósito de mayor volumen y el 10 % de volumen total almacenado, esta condición se establece para el almacenamiento de residuos peligrosos en depósitos fijos o en cualquier otro tipo de envase.
- Otro sistema que asegure el confinamiento.

Evitar arrastre por el viento y la contaminación del suelo que puedan ocasionar los residuos peligrosos pulverulentos; disponiéndolos sobre suelo estanco, envasados correctamente (envases herméticos) y/o confinados en sitio cerrado adecuado.

Áreas diferenciadas. Estas áreas de almacenamiento deberán ser diferenciadas para cada tipología de residuo peligroso, especialmente en el caso de incompatibilidad físico-química y para evitar mezcla de residuos valorizables con aquellos que puedan dificultar su valorización.

En cualquier caso las zonas de almacenamiento estarán separadas de la red de saneamiento, para evitar contaminación de eventuales vertidos accidentales.

Asimismo, el plazo máximo de almacenamiento será de **6 meses** en las instalaciones de los productores de residuos peligrosos, a no ser que reglamentariamente se establezcan plazos inferiores, tal y como se dispone en el artículo 3.n de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. ■



# Distintas formas de generación de hidrógeno

## **García Torres, F.**

Ingeniero Industrial (Ingeniero del Centro Nacional del Hidrógeno)

## **Fúnez Guerra, C.**

Ingeniero de Minas, Ingeniero Técnico de Minas (Ingeniero del Centro Nacional del Hidrógeno y Profesor de la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén)

*«...Sí, amigos míos, creo que algún día se empleará el agua como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno de los que está formada, usados por separado o de forma conjunta, proporcionarán una fuente inagotable de luz y calor, de una intensidad de la que el carbón no es capaz [...] El agua será el carbón del futuro»*

*Julio Verne, La isla misteriosa (1874).*

*El incremento generalizado de la demanda energética, unido a los altos costes del petróleo, siendo cada día más difícil la obtención del mismo hace pensar en nuevos esquemas energéticos. Las propiedades del hidrogeno, su abundancia en la naturaleza, si bien, no en su estado principal hace que se posicione como la gran alternativa para una sociedad que evoluciona hacia un uso de la energía respetuoso con el medio ambiente.*



La concepción del hidrogeno como combustible limpio depende en gran medida de la tecnología que se emplee para su generación. A lo largo de este artículo se describirán las formas más comunes de producción de hidrogeno: proceso de reformado, electrolisis, fotolisis, a partir de biomasa

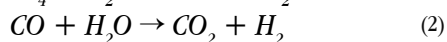
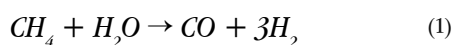
## PROCESOS DE REFORMADO

Los procesos de reformado son la opción más habitual para la producción de hidrogeno en la actualidad. Desde un punto de vista termodinámico se pueden clasificar en exotérmicos y endotérmicos según requieran o desprendan calor. Atendiendo a esta clasificación se tiene el reformado de vapor que es endotérmico y la oxidación parcial que es exotérmica. Por último, se tiene el reformado autotérmico como una combinación de las dos tecnologías anteriores (1).

### a. Reformado de vapor (SMR, Steam Methane Reforming)

Actualmente, es la manera más barata y común de producción de hidrogeno, siendo el 48% de la producción de hidrogeno mundial producido a partir de esta tecnología. El hidrogeno se obtiene a partir de hidrocarburos y consiste básicamente en separar las moléculas de hidrogeno de las de carbono.

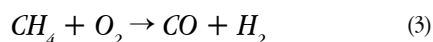
Mayoritariamente la reacción se produce a partir del gas natural cuyo componente predominante es el metano  $CH_4$ . El proceso tiene lugar en tres fases. En la primera etapa el gas natural se convierte en hidrogeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono. En la segunda se produce hidrogeno adicional y dióxido de carbono a partir de monóxido de carbono producido en la primera etapa. Por último, se procede a una etapa de purificación. Estas reacciones tienen lugar a temperaturas superiores a  $730^{\circ}C$ .



Los procesos de reformado son la opción más habitual para la producción de hidrógeno en la actualidad

### b. Oxidación parcial (POX, Partial Oxidation).

La oxidación parcial consiste en una oxidación incompleta de un hidrocarburo, dándose la oxidación tan sólo del carbono y hasta CO y dejando libre el hidrogeno.



### c. Reformado autotérmico (ATR, Auto Thermal Reforming).

Se trata de unir ambas tecnologías comentadas anteriormente para utilizar el calor residual de la segunda para producir la primera.

## ELECTROLISIS

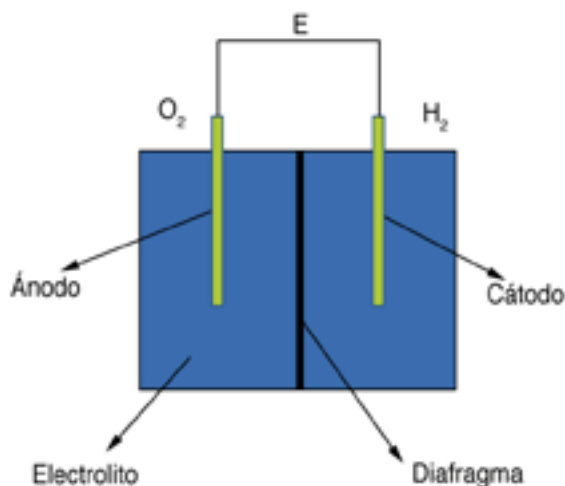
La tecnología de producción de hidrogeno mediante electrolisis tiene una importancia generalizada frente al resto de tecnologías de producción de hidrogeno por disponer de mayor versatilidad para ser integrada con las distintas formas de producción renovable existentes como puede ser energía eólica, solar, mareomotriz, etc.

Otra de las ventajas de la generación de hidrogeno mediante electrolisis frente al resto de las tecnologías es su mayor modularidad que permite su escalado desde bajas a altas potencias. La controlabilidad del sistema mediante la electrónica de potencia aplicada le permite una gestión óptima.

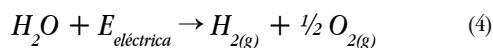
Existen tres tipos fundamentales de electrolizadores: **Alcalinos** (refiriéndose a la naturaleza de su electrolito liquido, siendo habitualmente potasa), **PEM (proton-exchange membrane, membrana de intercambio de protones**, haciendo referencia a su electrolito solido), y de **oxido sólido** (los cuales utilizan electrolitos cerámicos). Tanto los electrolizadores PEM como los poliméricos son bien conocidos, mientras que los electrolizadores de oxido sólido se encuentran bajo desarrollo. Los electrolizadores tipo PEM se suelen utilizar para aplicaciones de generación distribuida y los electrolizadores alcalinos se suelen utilizar para producción global de hidrogeno electrolítico (4).

Las grandes plantas de electrolisis tienen capacidad para producir hasta  $100.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  pero una única unidad de electrolisis produce entorno a  $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ . La electrolisis a gran escala normalmente se lleva a cabo cuando el precio de la electricidad es bajo. Los electrolizadores pueden realizar la electrolisis a presión atmosférica o pueden realizar la electrolisis presurizada. Hoy en día, los electrolizadores atmosféricos tienen capacidades de  $50\text{-}500 \text{ Nm}^3/\text{h}$  y los electrolizadores presurizados tienen una capacidad de  $1\text{-}65 \text{ Nm}^3/\text{h}$  (2).

Figura 1. Celda básica de electrolisis



Una celda de electrolisis está constituida por una disolución acuosa de un electrolito con una conductividad iónica adecuada (ver Figura 1) donde se insertan dos electrodos, separados por una membrana o diafragma, cuya misión es permitir la conducción iónica pero impedir el flujo de gases desde la cámara anódica a la catódica, o viceversa. Si se aplica un corriente continua suficiente entre ambos electrodos aparecerá una diferencia de potencial entre los mismos produciéndose la electrolisis del agua. La reacción global de la electrolisis del agua es:



Atendiendo a la naturaleza del electrolito se tienen dos grandes clasificaciones de electrolisis, la electrolisis ácida o la electrolisis básica. Si bien la reacción global de electrolisis es similar, las reacciones parciales que se producen en cada uno de los electrodos son diferentes (1)(3).

En la Tabla 2, se encuentran los datos termodinámicos correspondientes a la reacción de electrolisis a diferentes temperaturas para presión de operación de 1 atmósfera. Como se puede observar en dicha tabla, la electricidad necesaria para la obtención de la reacción de electrolisis ( $\Delta G$ ) disminuye a medida que aumenta la temperatura.

A modo de ejemplo, el balance de operación en planta de un sistema de electrolisis alcalina está compuesto por las siguientes partes fundamentales:

**1. Stack:** Compuesto por una serie de celdas de electrolisis, es la parte fundamental del sistema donde se produce la reacción de electrolisis de la molécula del agua mediante inyección de potencia eléctrica.

**2. Separador de hidrógeno:** Depósito que tiene una doble función abastecer de agua al cátodo del stack de electrolisis así como albergar a la salida de la corriente de gas que se produce en cátodo del stack de electrolisis.

**3. Condensador de agua de la corriente de hidrógeno:** El gas de salida del cátodo está compuesto por hidrogeno y vapor de la mezcla de agua con electrolito, se realiza la condensación del vapor de vapor de agua con la potasa para disponer de hidrogeno a la salida del mismo.

**4. Separador de oxígeno:** Depósito que tiene una doble función abastecer de agua al ánodo del stack de electrolisis así como albergar a la salida de la corriente de gas que se produce en ánodo del stack de electrolisis.

**5. Condensador de agua de la corriente de oxígeno:** El gas de salida del ánodo está compuesta por hidrogeno y vapor de la mezcla de agua con electrolito, se realiza la condensación del vapor de vapor de agua con la potasa para disponer de hidrogeno a la salida del mismo.

**6. Sistema de calefacción/refrigeración:** Se utiliza para el control de la temperatura de operación y para mantener los separadores a la temperatura óptima de funcionamiento.

**7. Rectificador de potencia:** Equipo de electrónica de potencia utilizado para conseguir a partir de la red eléctrica una corriente continua adecuada para la inyección de corriente en el stack de electrolisis.

**8. Tanque de agua de abastecimiento:** Es el tanque que abastece de agua a los separadores.

**9. Depósito de nitrógeno:** Se utiliza para realizar una purga para en caso de emergencia inertizar al sistema.

Electrolito	Reacción Anódica	Reacción Catódica
Básico	$2 OH^-_{(aq)} \rightarrow \frac{1}{2} O_{2(g)} + H_2O_{(l)} + 2 e^-$	$2 H_2O_{(l)} + 2 e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2 OH^-_{(aq)}$
Ácido	$H_2O_{(l)} \rightarrow \frac{1}{2} O_{2(g)} + 2 H^+_{(aq)} + 2 e^-$	$2 H^+_{(aq)} + 2 e^- \rightarrow H_{2(g)}$

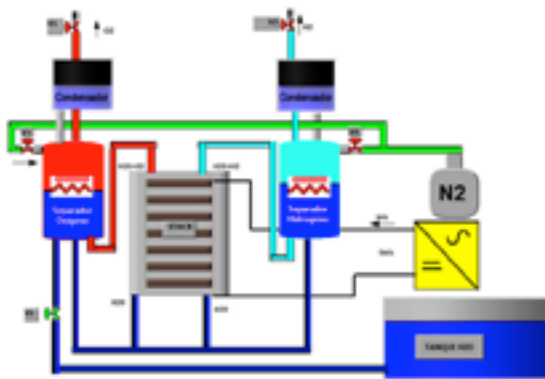
Tabla 1. Reacciones parciales de la electrolisis básica y ácida.

Temperatura Operación	$\Delta H$ (kJ/mol)	$T\Delta S$ (kJ/mol)	$\Delta G$ (kJ/mol)
25 °C	-285,830	48,72	237,75
1000 °C	-249,870	72,17	177,66

Tabla 2. Balances termodinámicos para la reacción a diferentes temperaturas y 1 atm.



**Figura 2.**  
Balance de operación en planta de un sistema de electrolisis alcalina.



Al aplicar corriente en el stack de celdas de electrolisis se generan burbujas de hidrogeno y oxígeno que son arrastradas a la parte superior de las celdas junto con el electrolito, y recogidas en dos canales independientes que desembocaran en los separadores de oxigeno e hidrogeno. Dichos separadores consisten en dos depósitos cilindricos llenos hasta la mitad de electrolito donde se produce el burbujeo y la separación de los gases. Ambos gases salen con una considerable humedad que se disminuye mediante la condensación de agua mediante refrigeración del gas de salida.

## FOTOLISIS

Las tecnologías de producción de hidrogeno fofolítico se encuentran bajo desarrollo y buscan la ruptura de la molécula del agua mediante el efecto de la luz solar. Se tienen dos familias de fofolizadores, las de origen electroquímico y biológico. Las de origen fofoelectroquímico buscan procesos que mediante el uso de un semiconductor similar a la tecnología fofovoltaica se busca la fofoelectrolisis que consiste en sumergir una célula fofovoltaica en agua que actúe de manera similar a como lo hace un electrolizador. Las de origen fofobiológico buscan las propiedades de diferentes organismos como las algas verdes o cianobacterias que funcionan como catalizador biológico para producir la ruptura de la molécula de agua.

## PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE LA BIOMASA

Existen tecnologías que buscan la producción de hidrogeno a partir de fuentes renovables que no incluyen electricidad, por lo que, se pueden convertir en una alternativa viable a medio plazo para la producción masiva de hidrogeno. Ambas tecnologías requieren un aporte energético mayor que el reformado de gas natural, sin embargo, serán de rentabilidad en aquellas

regiones en las que la biomasa sea abundante. Fundamentalmente se tiene la gasificación de la biomasa y la pirolisis.

### a. Gasificación de la biomasa.

La gasificación es una técnica de producción de hidrogeno que puede ser aplicable tanto a la biomasa como al carbón. Se trata de una combustión incompleta que se lleva a cabo a unas temperaturas de operación de entre 700 y 1.200 °C. La reacción tiene como gas resultante un combustible formado por hidrogeno, metano y monóxido de carbono.

### b. Pirolisis.

La tecnología de la pirolisis es de aplicación tanto al carbón, como a la biomasa, se trata de una descomposición del combustible mediante aplicación de calor en ausencia de oxigeno, la temperatura de operación suele ser de 500 °C.

## PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO POR ALTA TEMPERATURA

La producción de hidrogeno mediante energía solar térmica de alta temperatura son los procesos en los que se tiene depositada la confianza como gran solución a medio-largo plazo para la producción masiva de H<sub>2</sub> limpio a partir de energía solar. Se tienen dos tecnologías:

- La electrólisis a alta temperatura del vapor de agua, suministrando el calor y la electricidad a partir de colectores cilindrico-parabólicos, discos parabólicos e instalaciones de torre central. Este método, frente a la electrólisis a temperatura ambiente, presenta la ventaja de requerir una entrada de energía eléctrica menor.
- Los métodos termoquímicos, entre los que se incluyen: termólisis directa del agua y los ciclos termoquímicos, generalmente de dos pasos, basados en la reducción de óxidos metálicos. Estos procesos utilizan la radiación solar concentrada como fuente calorífica de alta temperatura para llevar a cabo una reacción endotérmica. Para conseguir razones de concentración elevadas se hace uso de dos de las tres configuraciones ópticas más comunes: discos parabólicos y sistemas de torre, ya que con colectores cilindrico-parabólicos no se alcanza el nivel necesario de temperatura.

El rendimiento global, o rendimiento de conversión de energía solar a energía química, es un parámetro adecuado para evaluar el potencial industrial de un proceso y, en el caso de energía solar de alta temperatura, adquiere especial importancia. Cuanto mayor sea dicho rendimiento, menor

será el área de colectores necesaria para producir una cantidad dada de hidrógeno y, consecuentemente, menores serán los costes en los que se incurra para el sistema de concentración solar, que normalmente corresponden a la mitad de la inversión total del conjunto de la planta solar-química.

**a. Electrólisis a alta temperatura.**

La electrólisis del agua es una tecnología conocida, en la que se lleva investigando muchos años. De forma teórica se puede afirmar que la electrólisis del agua se produce cuando se hace pasar una corriente eléctrica entre dos electrodos sumergidos en un electrolito.

Si se aplica un potencial al agua en una celda de electrólisis (electrolizador) que contenga un electrolito adecuado, la siguiente reacción ocurre en los electrodos:

El cambio de entalpía para la descomposición electroquímica de agua es:

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S$$

Donde H es la entalpía, G es la energía libre de Gibbs, S la entropía y T la temperatura.

Como se ha expuesto anteriormente, la cantidad total de energía requerida para la electrólisis del agua es solo ligeramente dependiente de la temperatura. Sin embargo, la parte reversible de la energía,  $\Delta G$ , la cual le deben ser suministradas en forma de energía eléctrica, disminuye con temperaturas crecientes. Esto quiere decir que una cantidad creciente de la energía total puede ser suministrada como energía térmica al incrementar la temperatura.

Usando estos datos, la energía eléctrica requerida para el proceso de electrólisis viene a ser:

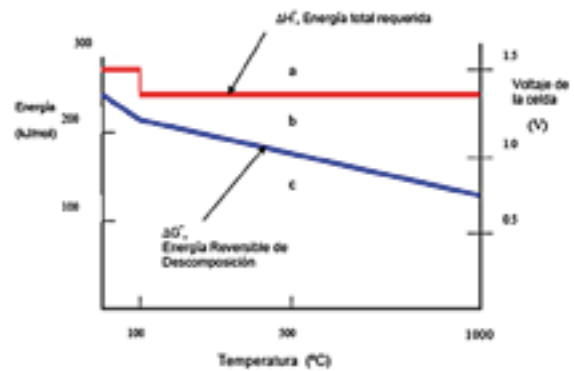
$$W = \Delta G = F \cdot n \cdot E_{rev}$$

Donde la F denota la constante Faraday (96.500 A · s/mol), n el número de electrones transferidos, y  $E_{rev}$  es el potencial ideal de descomposición (reversible).

**b. Métodos termoquímicos.**

La producción termoquímica de hidrógeno hace uso de una fuente calorífica de alta temperatura para llevar a cabo una reacción endotérmica.

Los ciclos termoquímicos no son exclusivamente nucleares, ni exclusivamente solares ya que, en general, se pueden acoplar a ambas fuentes de energía. Puede afirmarse, no obstante, que los que se utilizan con reactores nucleares presentan la característica de emplear temperaturas “moderadas” (no superiores a 1.000 °K), que garantizan un funcionamiento seguro del reactor.



**Figura 3.** Dependencia de la temperatura con la energía requerida en la electrólisis de agua.

En el caso solar, la limitación de temperatura no es tan restrictiva como lo puede ser en la generación nuclear, aunque siempre existen problemas constructivos y de materiales. Para conseguir elevadas temperaturas se utilizan preferentemente centrales de torre y discos parabólicos, dispositivos que se incluyen dentro de la categoría de colectores concentradores.

Los reactores termoquímicos para producir hidrógeno utilizan normalmente receptores tipo cavidad, en los que la radiación solar concentrada entra por una pequeña apertura y sufre reflexiones múltiples antes de ser absorbida. Cuanto mayor es la razón de concentración, mayor es la temperatura que se alcanza en el receptor, pero también es mayor el coste de la instalación solar. La búsqueda de un óptimo pasa por un estudio de las temperaturas necesarias para cada aplicación, en este caso, los cinco procesos termoquímicos para obtener hidrógeno a partir de energía solar:

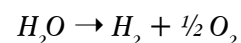
- Termólisis directa.
- Ciclos termoquímicos.
- Cracking.
- Reformado.
- Gasificación.

Todos estos procesos presentan una reacción endotérmica con un umbral de temperatura, tal como se aprecia en la tabla 3.

Se citan a continuación las principales características de los procesos termoquímicos considerados de forma independiente, es decir, sin tener en cuenta el subsistema solar.

**b.1. Hidrógeno a partir de agua por termólisis solar**

La termólisis del agua es una reacción de disociación que ocurre en un único paso:



Aunque esta reacción es aparentemente muy sencilla, presenta dos graves inconvenientes que dificultan su desa-





rollo. Por un lado, las elevadas temperaturas que se precisan para conseguir un grado de disociación razonable (superiores a 2.500 °K), dan lugar a problemas de materiales y a un aumento de las pérdidas por re-radiación, disminuyendo la eficiencia de absorción. Por otro, la necesidad de una técnica efectiva de separación del hidrógeno y el oxígeno, para evitar una mezcla explosiva. Estos dos inconvenientes son la causa de que no exista de momento ninguna planta piloto en la que se realice la descomposición directa del agua.

### b.2. Hidrógeno a partir de agua mediante ciclos termoquímicos solares

Los altos flujos de radiación que se consiguen con los sistemas ópticos para concentración solar dan lugar a temperaturas estacionarias por encima de los 3.000 °K, que permiten que la conversión de la energía solar a energía térmica se realice a temperaturas del orden de los 2.000 °K y superiores, que son las que se emplean en los ciclos termoquímicos de dos pasos que se basan en la reducción de un óxido metálico.

El primer paso, endotérmico, es la reducción, mediante energía solar, del óxido metálico (MxOy). Como se observa, esta reducción puede ser al metal o a un óxido metálico de menor valencia. También se puede realizar una carboreducción del óxido metálico, utilizando como agente reductor carbón o gas natural. El segundo paso, que no requiere de

## BIBLIOGRAFÍA

1. Linares Hurtado JI, Moratilla Soria BY. *El hidrógeno y la energía*. s.l.: Universidad Pontificia de Comillas.
2. [http://www.hyapproval.org/Publications/The\\_Handbook/HyApproval\\_Final\\_Handbook.pdf](http://www.hyapproval.org/Publications/The_Handbook/HyApproval_Final_Handbook.pdf).
3. Rosa Iglesias, Manuel Felipe. *Estudio teórico y experimental sobre la producción de hidrógeno electrolítico a partir de energía solar fotovoltaica: diseño, operación y evaluación de una planta piloto de producción de hidrógeno electrolítico de 1,2 Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/h*.
4. Newborough, Marcus. *A report on electrolyzers, future markets and the prospects for itm power ltd's electrolyser technology*.

energía solar, es la hidrólisis exotérmica del agua, acompañada de la oxidación del metal, para formar el hidrógeno y el correspondiente óxido metálico. Ya se ha comprobado experimentalmente que la reacción de separación de la molécula de agua ocurre de forma exotérmica y con una tasa de realización razonable cuando se burbujea vapor a través del metal fundido, a temperaturas del orden de 700 K.

La reacción neta es la descomposición del agua en hidrógeno y oxígeno pero, puesto que el hidrógeno y el oxígeno se forman en pasos diferentes, no es necesaria una separación de los mismos a altas temperaturas. ■

**Tabla 3.**  
Ciclos Termoquímicos para producción de hidrógeno.

Clase I			T ≤ 1000K
Proceso		Reacción endotérmica	
Ciclos termoquímicos de temperaturas "moderadas"	Ciclos de la familia del azufre	Descomposición del ácido sulfúrico $H_2SO_4(g) \rightarrow SO_2(g) + H_2O(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$	T=1000
	Ciclos del tipo UT-3	Hidrólisis del bromuro de calcio y del bromuro de hierro $CaBr_2(s) + H_2O(g) \rightarrow CaO(s) + 2HBr(g)$ $3FeBr_2(s) + 4H_2O(g) \rightarrow Fe_3O_4(s) + 6HBr(g) + H_2(g)$	T=900
Clase II			1000K ≤ T ≤ 2500K
Proceso		Reacción endotérmica	
Ciclos termoquímicos de temperaturas elevadas	Reducción óxidos metálicos	Disociación del óxido metálico $M_xO_y \rightarrow xM + \frac{y}{2}O_2$	T=2500
	Descarbonización de combustibles fósiles	Cracking	Descomposición térmica de hidrocarburos $C_xH_y \rightarrow xC(g) + \frac{y}{2}H_2$
Reformado		Descarbonización de hidrocarburos ligeros $C_xH_y + xH_2O \rightarrow \left(\frac{y}{2} + x\right) \cdot H_2 + xCO$	T=1100
Gasificación		Descarbonización de hidrocarburos pesados $C_xH_y + xH_2O \rightarrow \left(\frac{y}{2} + x\right) \cdot H_2 + xCO$	T=1100
Clase III			T > 2500K
Proceso		Reacción endotérmica	
Termólisis directa del agua		Disociación del agua $H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$	T > 2500

# El amianto en España: responsabilidad empresarial

**José Carlos Losilla Rayo**

Ingeniero Técnico de Minas. Técnico Superior Prevención Riesgos Laborales.  
(Consejería Empleo, Igualdad y Juventud. Junta Comunidades de Castilla La Mancha)

*Después de que la Directiva Europea 1999/77/CE prohibiese la producción, uso y comercialización de materiales con amianto, en el año 2001 en España se prohibió la comercialización y la utilización de este mineral por tratarse de un producto cancerígeno. Actualmente, los materiales que todavía existen instalados, únicamente pueden ser manipulados por empresas especializadas en la retirada controlada de materiales con amianto, debiendo estar inscritas en el Registro de Empresas con Riesgo de Amianto (RERA). En este artículo, se pone de manifiesto la gran responsabilidad, profesionalidad y ética preventiva que deben de tener las empresas dedicadas o íntegramente a la retirada de amianto.*

**E**l término *amianto* o *asbestos* es un término que designa, de forma genérica, a un grupo de minerales, silicatos fibrosos hidratados que, en función de su estructura cristalina, se clasifican en dos grupos de minerales: serpentinas y anfíbol.

## PROHIBICIÓN DEL USO DEL AMIANTO

España ha importado cerca de tres millones de toneladas de amianto hasta el año 2002, año que se hizo efectiva la prohibición de la producción, uso y comercialización de materiales con amianto (*Directiva Europea 1999/77/CE, de 26 de julio*), al haberse demostrado que el amianto, cualquiera sea su variedad (anfíbol y crisotilo), es un producto cancerígeno para el hombre, incluso en pequeñas dosis.

En diciembre de 2001 España se adelantaba al plazo máximo previsto por la UE y prohibía la comercialización y la utilización de crisotilo (amianto blanco), el único tipo que todavía seguía siendo utilizado en España. Las variedades más perjudiciales para la salud (el amianto azul y el amianto marrón) fueron prohibidas en España en 1984 y 1993, respectivamente.

La Orden Ministerial, aprobada el 7 de diciembre de 2001, establecía un plazo de seis meses para su entra-



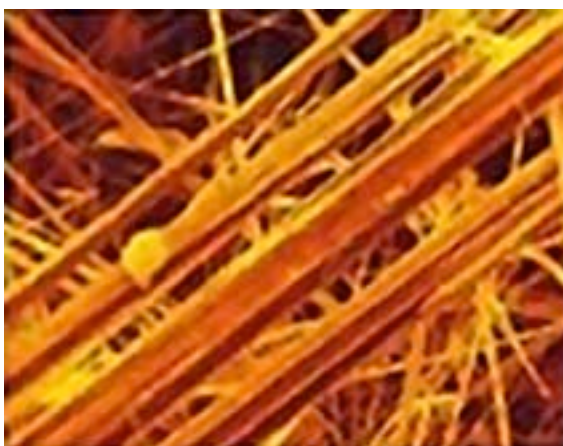
da en vigor, pero introducía una prórroga de seis meses más para la comercialización de los productos ya fabricados. De esta manera, hasta el 15 de diciembre de 2002, se podían comercializar e instalar productos con amianto fabricados antes del 15 de junio de 2002. La prohibición de producir, comercializar e instalar amianto y productos que lo contengan, se estableció a partir del 15 de diciembre de 2002.

La exposición al amianto es la causa principal del mesotelioma y de la asbestosis, incrementa el riesgo de padecer cáncer de pulmón y puede ser causa de patologías pleurales no malignas.

Los materiales que todavía existen instalados únicamente pueden ser manipulados por empresas especializadas en la retirada controlada de materiales con amianto, debiendo estar inscritas en el Registro de Empresas con Riesgo de Amianto (RERA) y, en aplicación de la legislación vigente, previo inicio de cualquier obra que implique riesgo de exposición al amianto, deben disponer de la Resolución positiva por parte de la Autoridad Laboral al respecto del Plan de Trabajo específico para la obra en cuestión (R.D. 396/2006, de 31 de marzo).

Además, deberá establecerse un procedimiento para la evaluación y control del ambiente de trabajo, fijando un índice de descontaminación para la zona de trabajo en función de la afectación para otras personas que pudiera derivarse después del desamiantado. En España no se ha establecido ningún valor de referencia para la evaluación de muestras estáticas ambientales y suele aplicarse el valor de referencia de 0,01 fibras/cm<sup>3</sup> para evaluar el índice de descontaminación tras los procesos de retirada de materiales con amianto. Otros países, como Reino Unido y Estados Unidos, tienen establecido este valor para el índice de limpieza tras estos procesos de retirada de materiales con amianto.

Los países que hoy utilizan el amianto, en el futuro no podrán evitar el altísimo costo económico y sanitario incurrido por la exposición a este producto. Existe una estrecha correlación entre el número de víctimas y el nivel de consumo de amianto en los veinte o treinta años pasados. Así pues, la utilización del amianto en la actualidad tendrá repercusiones en la economía de un país durante más de treinta años, imputando a las generaciones futuras la responsabilidad y la carga financiera de la indemnización de las víctimas.



Amosita (amianto marrón)



Crocidolita (amianto azul)

---

## LA FUNCIÓN DEL SERVICIO DE PREVENCIÓN EN EL RIESGO DE AMIANTO

El Servicio de Prevención concertado por la empresa de desamiantado para la prevención del riesgo de amianto debe ser capaz de dar la cobertura suficiente a las empresas en la construcción, mantenimiento y seguimiento, a través de las actividades preventivas necesarias de su Sistema de Gestión de la Prevención, el cual, debe girar entorno al Plan de Prevención de Riesgos Laborales de la empresa, la Evaluación de Riesgos, la Planificación de la Actividad Preventiva y las actividades preventivas que de éstos se desprenden.

En el año 2001 se publicó el conocido como “Informe Durán”, a petición del Gobierno y elaborado por el entonces Presidente del Consejo Económico y Social, Federico Durán López, en el que se desarrollaba un análisis global de la problemática de la Seguridad y Salud en el Trabajo en España. El encargo se materializó en dos volúmenes: “Informe sobre Riesgos Laborales y su Prevención” y “La Seguridad y la Salud en el Trabajo en España”.



Mesotelioma pleural

En este Informe, los Servicios de Prevención Ajeno son considerados como un recurso excepcional para el empresario y que, a lo largo del tiempo, se ha generalizado en el sistema de Prevención de Riesgos Laborales español, la ejecución de las actividades de prevención por los servicios de prevención ajenos convirtiéndose éstos en una externalización de las obligaciones propias del empresario, siendo grandes productores de documentación.

El empresario de desamiantado debe cerciorarse que su servicio de prevención ajeno está capacitado y tiene experiencia en la prevención del riesgo de exposición al amianto y contribuye a la normalización de la gestión preventiva en el seno de la empresa. Por ello, es fundamental que el servicio de prevención esté especializado en el riesgo de amianto.

La empresa dedicada parcial o íntegramente a la retirada de amianto (sea friable o no friable), requiere de un alto grado de responsabilidad, de profesionalidad y ética preventiva tanto por parte del empresario desamiantador como del Servicio de Prevención Ajeno que actúa como proveedor estratégico de actividades preventivas asociadas al desamiantado en sí mismo.

## PANORAMA JURÍDICO ACTUAL EN ESPAÑA

En España, la vía de la legislación ha sido abordada, predominantemente, por el Derecho Laboral y de la Se-

guridad Social. El Derecho Laboral contempla la asbestosis como enfermedad profesional y, desde 1978, el mesotelioma y el cáncer de pulmón.

Más allá del derecho de la Seguridad Social, y en los supuestos que puedan dar lugar a responsabilidad criminal o civil, las pensiones de la Seguridad Social son compatibles con indemnizaciones procedentes de los presuntos responsables criminal o civilmente, como se deriva del artículo 127.3 del R.D.L. 1/1994, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social (TRLGSS).

De acuerdo con lo anterior, un trabajador que contraiga alguna de las enfermedades del amianto por exposición laboral, puede cobrar:

- Prestaciones reconocidas por la legislación laboral (en concreto, prestaciones del sistema público de Seguridad Social con, en su caso, el recargo por incumplimientos empresariales de normas de seguridad e higiene). (artículo 123 del TRLGSS).
- “Mejoras voluntarias” pactadas, normalmente, en Convenio Colectivo. (artículos 191 a 194 del TRLGSS).
- Indemnizaciones por responsabilidad civil. (artículos 1101 y ss. y 1902 y ss. del Código Civil y 109 y ss. del Código Penal)

La **regulación penal** está relacionada con la pretensión indemnizatoria de daños en los casos en que se considera que los hechos generadores de la contingencia por amianto son penalmente típicos, en concreto, si son constitutivos de un delito contra la seguridad e higiene en el trabajo previsto en los artículos 316 (comisión dolosa) y 317 (comisión imprudente) del Código Penal.

Además, el tratamiento de los residuos o la emisión de polvo de amianto a la atmósfera con infracción de la normativa aplicable, pueden ser constitutivos del delito contra los recursos naturales y el medio ambiente previsto en el artículo 325 del Código Penal.

La **regulación civil** está referida a las contingencias de responsabilidad civil eventualmente derivadas de la exposición ocupacional, así como las derivadas de la exposición no ocupacional por contacto familiar o doméstico con el polvo de amianto (como familiares o allegados de un trabajador que lavan su ropa) o por particulares que han estado expuestos al polvo de amianto por su proximidad a centros de producción o edificios e instalaciones que incorporaban este material de construcción, deberán ser indemnizadas,



Trabajos de desamiantado



Retirada y limpieza materiales con amianto



Unidad móvil de descontaminación



en su caso, de acuerdo con los artículos 1902 y ss. del Código Civil y siempre que concurren los presupuestos básicos de la responsabilidad civil (acción u omisión, daño, relación de causalidad, antijuridicidad y culpa).

La **regulación administrativa** está relacionada con los incumplimientos del empresario en materia de prevención de riesgos laborales y las infracciones laborales en esta materia de acuerdo con el artículo 42.1 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y el artículo 5.2 de la LISOS (R.D.L. 5/2000, de 4 de agosto).

## BIBLIOGRAFÍA

Directiva Europea 199/77/CE, de 26 de julio, por la que se adapta al progreso técnico por sexta vez el Anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo (Diario Oficial Unión Europea nº L-207, de 06/08/1999).

Orden de 7 de diciembre de 2001 por la que se modifica el Anexo I del R.D. 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (BOE nº 199, de 14/12/2001).

R.D.L. 1/1994, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social. (BOE nº 154, de 29/06/1994).

Código Civil español (R.D. del 24 de julio de 1889) (Gaceta de Madrid de 25/07/1889).

Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal (BOE nº 281, de 24/11/1995).

R.D.L. 5/2000, de 4 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Infracciones y Sanciones en el Orden Social. (BOE nº 189, de 08/08/2000).

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. (BOE nº 269, de 10/11/1995).

Informe “Durán” sobre riesgos laborales y su prevención (13 marzo de 2001).

R.D. 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto. (BOE nº 86, de 11/04/2006).

“La prevención del riesgo de exposición al amianto” (Revista PW Magazine, nº 30, marzo-abril 2010).

Directiva 2009/148/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al amianto durante el trabajo. (Diario Oficial Unión Europea nº L-330/28, de 16/12/2009).

R.D. 665/1997, de 12 de mayo, sobre protección de los trabajadores frente los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. (BOE nº 124, de 24/05/1997).

Por último, cabe indicar el orden jurisdiccional “contencioso-administrativo” referido a la impugnación de sanciones administrativas por infracción de medidas de seguridad. ■

# CO<sub>2</sub> en el mundo del cemento

Molino vertical.

## Jose Luis Sáez Hostaled

Licenciado en Ciencias Químicas

(Gerente de Producción. CEMEX ESPAÑA, S.A. Fábrica Morata)

## Juan Miguel Romero Morales

Ingeniero Técnico de Minas

(Director Facultativo CEMEX ESPAÑA, S.A. Fábrica Morata)

*El Protocolo de Kioto, firmado en 1992 en la famosa Cumbre de la Tierra, definía unos objetivos de reducción del 5% de emisión de gases de efecto invernadero, con un horizonte situado en el año 2012. Veremos, a lo largo de este artículo, cuál ha sido el grado de cumplimiento de España en el marco de la Unión Europea. Posteriormente, el autor, se adentra en el mundo de la fabricación y características del cemento, generación de CO<sub>2</sub>, consumo de energía y el uso cada vez más común de combustibles alternativos en la industria cementera en la Unión Europea.*



## PROTOCOLO DE KYOTO Y PERIODOS DE ASIGNACIÓN

Comencemos por definir qué es el Protocolo de Kyoto: es un instrumento internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un porcentaje de un 5%, dentro del periodo 2008 - 2012, en comparación a las emisiones del año 1990.

Este instrumento se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (Gráfica 1).

La Política ambiental de la Unión Europea viene de lejos y Mercado Común significa normas comunes. En 1997 la Unión suscribe el Protocolo de Kyoto y adquiere un compromiso de reducción.

El porcentaje de reducción para la Unión Europea es global y cada país tiene sus propios porcentajes individuales de emisión. Los estados miembro de la Unión que

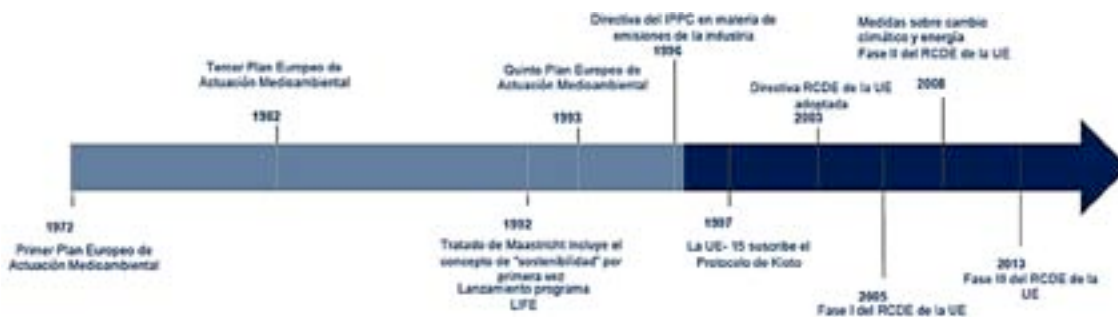
pasaron a formar parte de ella con posterioridad a 1997 tienen sus propios objetivos.

La Unión Europea, en conjunto debía reducir un 8%, y dentro de ella cada Estado Miembro tiene objetivos diferentes. El “reparto de la carga” de los 15 estados miembros de la UE en 1990 era el siguiente:

Bélgica – 92,5%	Dinamarca – 79%	Alemania – 79%
Grecia – 125%	<b>España – 115%</b>	Francia – 100%
Irlanda – 113%	Italia – 93,5	Luxemburgo – 72%
Países Bajos – 94%	Austria – 87%	Portugal – 127%
Finlandia – 100%	Suecia – 104%	Reino Unido – 87,5 %

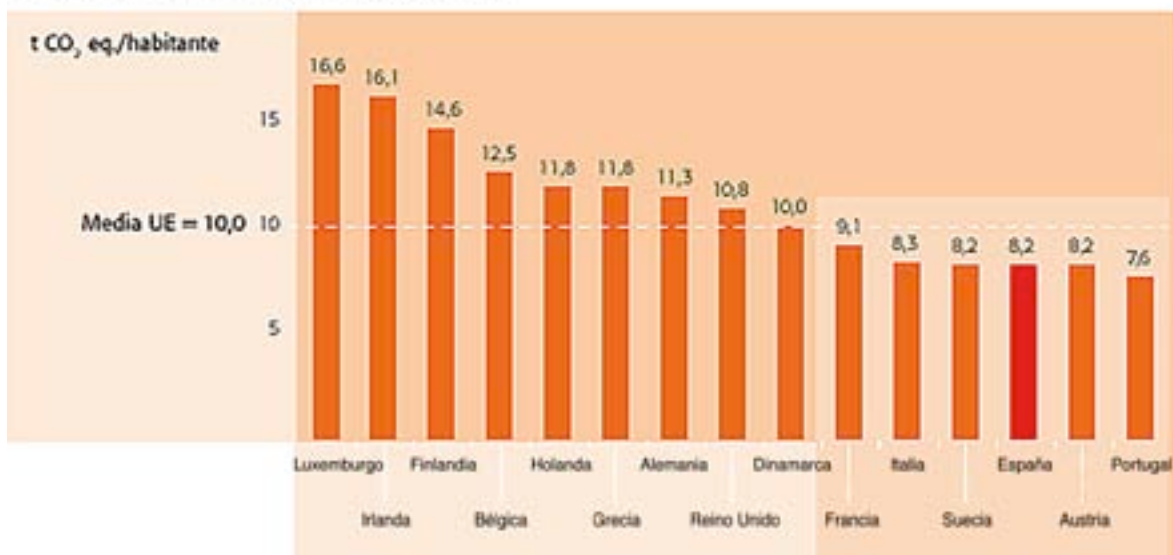
A priori, España salió beneficiada en el reparto de cuotas de CO<sub>2</sub>... ¿no? Si observamos la siguiente gráfica (Gráfica 2) comprenderemos más fácilmente porque España no logra cumplir el objetivo.

Nótese que, en los planes de la Unión, un luxemburgués tipo emitiría más del doble que un español tipo y eso a pesar de ver reducida su cuota como país al 72%. Parece claro que España, entre otros, no resultó tan favorecida en el reparto como parecen indicar los porcentajes de referencia.



Gráfica 1. Fuente Bloomberg Energy.

## Emisiones GEI objetivo de Kyoto per cápita (2010).



Gráfica 2: Emisiones GEI objetivo de Kyoto per cápita (2010). Fuente Oficemen.



Gráfica 3. Fuente Bloomberg Energy

	Fase I (2005-07)	Fase II (2008-12)
Instalaciones comprendidas	11.000	12.000
Países incluidos	La UE-25 junto con Bulgaria y Rumania sumándose en 2007.	La UE-27 con Islandia, Noruega y Liechtenstein vinculados.
Sectores incluidos	Eléctrico, siderúrgico, de cemento y cal, de refino del petróleo, de vidrio, cerámico, pasta de papel y papel.	Añadidas instalaciones de combustión y acero. La aviación a incluirse a partir de 2012.
GIE incluidos	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Asignación gratuita	99 % del límite asignado gratuitamente.	95 % del límite asignado gratuitamente y el 4 % restante se subasta.
Prórrogas	No se permite la prórroga de cuotas a la Fase II.	Cantidad limitada de cuotas que pueden transferirse a la Fase III.
Consumo RCDE	Limitado según cada PNA	1,4 GtCO <sub>2</sub> e
Miscelánea	Multa de 40 € / MtCO <sub>2</sub> e por no ceder las cuotas a tiempo (las cuotas aún deben cederse posteriormente).	Multa de 100 € / MtCO <sub>2</sub> e por no ceder las cuotas a tiempo (las cuotas aún deben cederse posteriormente).

Gráfica 4. Fuente Bloomberg Energy.

Los intentos de establecer un impuesto que gravase las emisiones de gases de efecto invernadero fracasaron debido a presiones políticas, en su lugar se habilita una nueva herramienta como la forma más rentable de disminuir la emisión de gases de efecto invernadero: el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión.

Esta herramienta fue adoptada como directiva en 2003 y comenzó su fase I en 2005.

FASES I (2005-2007) Y II (2008-2012).  
FASES DE “PRUEBA”

En estas fases, cada país realizó su Plan Nacional de Asignación, PNA, en el que “repartió” por sectores productivos los derechos de emisión, y finalmente asignó unos derechos a cada instalación particular (instalación concreta, no a una empresa o sociedad). Solamente se consideraron las emisiones de CO<sub>2</sub> y unos sectores determinados (Gráfica 3).

Estos son los valores globales para la Unión Europea en las fases I y II (Gráfica 4), y, si vemos la siguiente gráfica (Gráfica 5), parece ir arrojando resultados, si bien insuficientes, si van en la dirección correcta.

Para la fase I la asignación del PNA español para el sector cementero fue de 85 MtCO<sub>2</sub>. A finales de 1985 las impresiones del sector cementero eran las siguientes: (Gráfica 6).

Gráfica 5:  
Emisiones RCDE UE por país (MtCO<sub>2</sub>e). Fuente Bloomberg Energy.

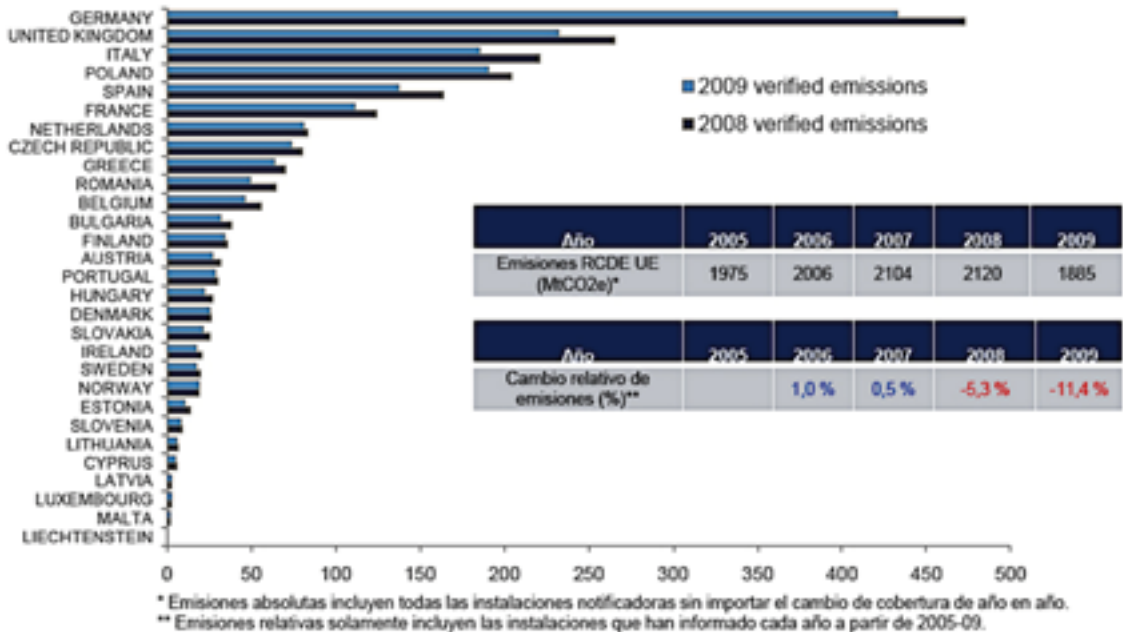






Tabla 2.  
Fuente Bloomberg  
Energy.

Sector	¿Riesgo significativo de F&C?
Refinado de petróleo	✓
Fabricación de acero	✓
Cemento y cal	✓
Pasta de papel y papel	✓
Cobre	✓
Aluminio	✓
Sustancias químicas	✓
Metales no férricos	✓
Vidrio	
Vidrio plano	✓
Vidrio hueco	✓
Fibra de vidrio	✗
Vidrio hueco	✓
Cerámica	
Uso doméstico y sanitario	✓
Aislantes	✓
Refractaria	✓
Azulejos y losas	✓
Ladrillos, tejas y material de construcción de arcilla cocida	✗

suponen el 60 % de las instalaciones, pero tan solo el 3 % del total de emisiones.

El sector eléctrico, salvo en aquellos países (10 en total) que recibirán un tratamiento especial) deberá acudir a subasta para adquirir los derechos de emisión que necesite.

Los diferentes sectores industriales recibirán una asignación gratuita del 80 % que irá disminuyendo hasta el 30 % en el 2.020 y deberá adquirir todos los derechos que necesite en el 2027 salvo que el sector esté expuesto a fugas de carbono (deslocalización en países no sujetos a control de emisiones), en cuyo caso recibirá el 100 % de la asignación establecida.

Se fijan dos criterios para definir si en un sector existe riesgo de fuga de carbono:

- Si la cantidad de gastos adicionales directos e indirectos provocados por la aplicación de esa Directiva conllevara un aumento considerable de los gastos de producción calculados como parte proporcional del valor bruto añadido, es al menos un 5%.

- Si la intensidad del comercio con terceros, definida como la proporción entre el valor total de las exportaciones a esos países y el total del tamaño del mercado comunitario (volumen anual más el total de importaciones de terceros países), supera el 10%.

Cuya aplicación arroja como resultado que prácticamente todos los sectores involucrados se encuentran en riesgo de fuga de carbono (Tabla 2).

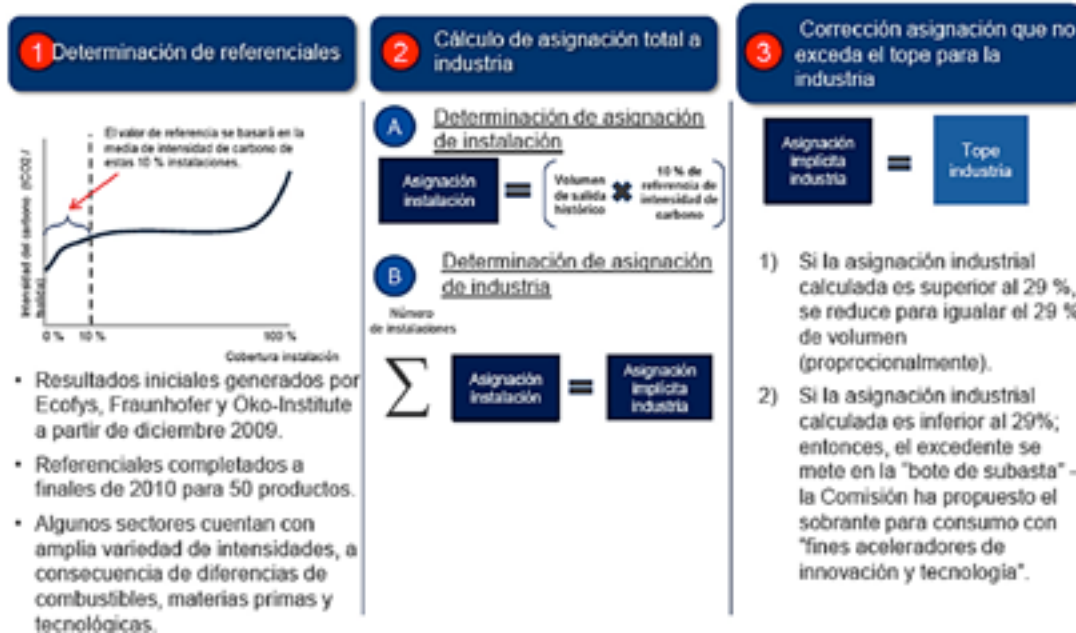
El modo previsto de asignación es el siguiente:

- La UE establecerá un volumen total global de emisión.
- Basándose en los valores verificados para el periodo de la fase I (2.005 - 2.007), establecerá el tope máximo para la industria.
- Dentro de cada sector industrial, la asignación gratuita individual se realizará mediante un marco de referencia de intensidad del carbono (tCO<sub>2</sub> emitidas por t de producto fabricado), a partir del 10 % de las instalaciones más eficaces. (Gráfica 8)

El reglamento de subastas todavía está en fase de reglamento pero:

- El precio será homogéneo – una ronda – licitación cerrada.
- El calendario será previsible.
- Habrá una plataforma de subastas que será un mercado regulado por la Directiva de mercados financieros (MiFID).
- La plataforma será común, lo que garantizará una licitación competitiva conjunta de los Estados miembros y la Comisión Europea y estará abierta a intercambios ya existentes, nuevos participantes podrán solicitar la entrada.
- Los Estados miembros tendrán derecho a no participar y designar una plataforma de subastas propia. Alemania, Reino Unido, Polonia y España ya han manifestado su interés en hacerlo así.
- Existirá elección de producto – “de disposición inmediata” o de “disposición futura”. Los dos son contratos al contado diferenciándose únicamente en la supervisión normativa.
- Muchas instalaciones pequeñas podrán pujar a través de terceros (bancos, intermediarios financieros, etc.).





Gráfica 8. Fuente Bloomberg Energy.

## Desde las materias primas y hasta la obtención del cemento, son necesarias unas operaciones de preparación, manipulación, procesos e instalaciones

### FABRICACIÓN DEL CEMENTO

En esencia, el cemento es el producto resultante de la mezcla y molienda conjuntas de clinker, yeso y adiciones.

El clinker, componente fundamental y responsable de las propiedades mecánicas y químicas del cemento, es el resultante de la combinación a alta temperatura de los componentes de las materias primas, fundamentalmente caliza y arcilla, molidas y homogeneizadas adecuadamente en unos porcentajes determinados.

El yeso, roca natural, es el responsable de la velocidad de fraguado del cemento, es decir, de la manejabilidad durante el amasado con el agua del cemento y las primeras horas tras el amasado.

Las adiciones son productos naturales o subproductos industriales que mejoran las características del cemento ya sea modificando su resistencia química o mecánica.

Así pues, desde las materias primas y hasta la obtención del cemento, son necesarias unas operaciones de preparación, manipulación, procesos e instalaciones que describiremos a continuación.

### Materias primas

En el análisis de un clinker Pórtland encontramos los siguientes elementos, expresados en forma de óxidos, como componentes principales, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub> y cloruros.

Sin embargo, hoy en día conocemos que aquello que hace al clinker tan especial es su composición mineralógica y, más concretamente, la presencia de silicatos y aluminatos cálcicos (Silicato tricálcico, C<sub>3</sub>S o SiO<sub>2</sub>·3CaO; silicato bicálcico, C<sub>2</sub>S o SiO<sub>2</sub>·2CaO; aluminato tricálcico, C<sub>3</sub>A o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3CaO) y otras fases mineralógicas en menor proporción.

De acuerdo con esto, las materias primas básicas para la obtención de clinker son un aportador de cal (CaO) y un aportador de sílice (SiO<sub>2</sub>).

Entre las fuentes más habituales de cal encontramos calizas, cretas y margas, en la que el calcio se encuentra



Ejemplo de voladura de grandes barrenos.

en forma de carbonato cálcico, Aunque es obviamente antieconómico, también el mármol sería un aportador adecuado de cal.

Como aportadores de sílice es frecuente utilizar arcillas y margas, en las que el silicio se encuentra formando silicatos complejos con aluminio, hierro, sodio... entre otros.

En función de la naturaleza del material, las canteras se explotan mediante la técnica de voladuras de grandes barrenos, método frecuente para las canteras de caliza, o mediante ripado, método frecuente en el caso de canteras de arcilla.

Los tamaños de partícula que se obtienen tras la extracción de la cantera no son adecuados para su manipulación, por lo que los materiales extraídos son sometidos a una trituración primaria.

Dados los requisitos de calidad existentes hoy en día, no suele ser habitual disponer de un único material con la composición adecuada para la fabricación de clinker (cemento natural), ni tan siquiera dos materiales que mezclados satisfagan todos los requisitos necesarios. Este hecho obliga al uso de los llamados correctores.

Los correctores son materiales naturales o artificiales que “completan” la dosificación de las materias primas en aquellos elementos que carecen.

## En función de la naturaleza del material, las canteras se explotan mediante la técnica de voladuras de grandes barrenos

Algunos ejemplos de correctores son la arena, como corrector de sílice, la hematites parda o la limonita, como correctores de fundentes (en general, se denomina fundentes a los óxidos de alúmina y hierro).

Estos materiales se introducen en las tolvas de las básculas dosificadores que alimentan al molino de crudo. Para conseguir la mayor estabilidad posible en las características de los materiales alimentados al molino de crudo, las materias primas se suelen proceder a un proceso de prehomogeneización.

Existen dos posibilidades básicas: homogeneizar cada una de las materias primas por separado u homo-





Molino de bolas.

## La reducción de tamaño de las materias primas se realiza en molinos verticales o en molinos de bolas.

geneizar una premezcla en las proporciones deseadas de las diferentes materias primas.

El modo de realizar el proceso de apilamientos y lechos de mezcla es muy variado y depende de la capacidad de producción, espacio disponible, etc.

### Crudo

Al conjunto de materias primas finamente molidas se le denomina harina cruda o, simplemente, crudo. Con el

objeto de facilitar su homogeneización y aumentar su reactividad, durante el proceso de molienda, el tamaño de partícula se reduce desde los 50 mm originales de las materias primas hasta que solamente un 18 % es mayor que 0,09 mm.

Esta reducción de tamaño se lleva a cabo en molinos verticales o en molinos de bolas.

- En los molinos verticales la alimentación cae sobre una mesa giratoria y es obligada a pasar bajo unos rodillos que giran locos a la vez que se mantienen con una gran presión. Como resultado, las partículas se fragmentan debido a las fuerzas de cizalladura que se generan.
- En los molinos de bolas el material es alimentado a un cilindro giratorio en cuyo interior se han colocado cuerpos molidores metálicos bien sean estos bolas esféricas o cylpebs (con forma cilíndrica). El movimiento giratorio del molino origina un movimiento “en cascada” de los cuerpos molidores que golpean a las materias primas fragmentándolas. Con objeto de alcanzar las consignas de calidad fija-

das, el crudo producido por el molino debe ser frecuentemente monitorizado y corregidos los porcentajes de las básculas dosificadoras.

Una vez que el crudo ha sido molido, para conseguir la mayor estabilidad posible tanto para la marcha del horno como para la calidad de los productos fabricados, el crudo se homogeneiza en silos.

En estos silos de homogeneización se generan, mediante la inyección de aire a presión, zonas en lecho fluido en las que se lleva a cabo la mezcla.

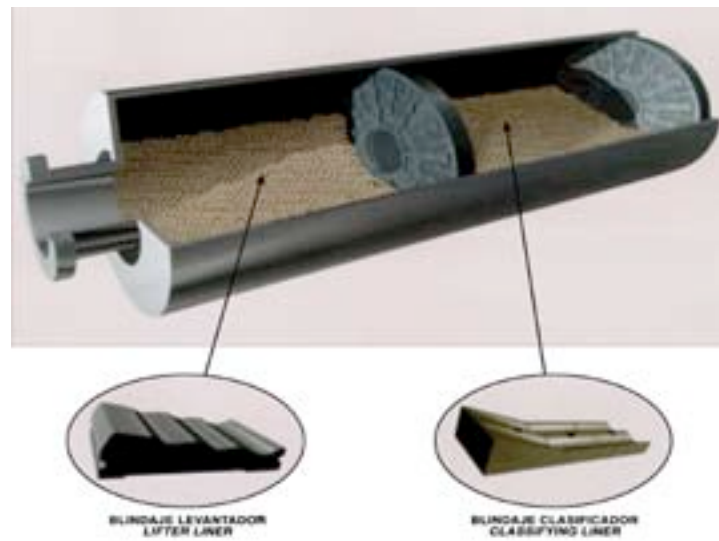
### Clinker

El crudo homogeneizado se alimenta al horno rotatorio mediante una báscula dosificadora. En el horno, conforme aumenta la temperatura desde los 50 a 100 °C (entrada) hasta los 1.450 °C (temperatura máxima), las materias primas que conforman el crudo irán perdiendo la humedad, el agua adsorbida y de coordinación de las arcillas, se descompondrán en óxidos y descarbonarán hasta, finalmente, producirse las reacciones de clinkerización que producen las fases mineralógicas que hacen al clinker un producto tan especial. Estas fases, estables a la temperatura de 1.450 °C, pueden sufrir alteraciones si se realiza un enfriado lento del clinker.

Por ello, la salida del clinker del horno se realiza a través un sistema de refrigeración sólido/aire en el que se aprovecha el calor del clinker para precalentar el aire necesario para la quema de los combustibles que han de aportar la energía térmica necesaria para la clinkerización.

Los combustibles “convencionales” utilizados más frecuentemente en nuestro entorno son el carbón o el coque de petróleo, utilizándose otros combustibles, denominados combustibles alternos, provenientes del

## La tecnología de los hornos de clinker ha cambiado mucho desde los primeros hornos



Tecnología de los hornos de clinker.

reaprovechamiento de biomasa, residuos plásticos, industriales, etc.

La tecnología de los hornos de clinker ha cambiado mucho desde los primeros hornos verticales hasta los hornos rotatorios que aparecieron a finales del siglo XIX.

El primer horno rotatorio de la industria del cemento fue introducido por Frederik Ransome en 1885, tenía un diámetro de 2 m, una longitud de 25 m y la “enorme” producción de 50 t/día.

Los hornos que se construyen hoy en día tienen diámetros superiores a los 5 m, disponen de sistemas de recuperación de calor de los gases de escape y precalentamiento del crudo a la entrada del horno y producciones superiores a las 5.000 t/día.

### Carbón

La energía necesaria para los procesos de clinkerización es el carbón, ya sea este de piedra natural o coque de petróleo. Para favorecer su combustión, el carbón inyectado en el mechero del horno es molido previamente en molinos de bolas, o en molinos verticales, hasta alcanzar tamaños de partícula en los que solamente de un 3 a un 5 % es superior a 0,09mm.

Adicionalmente, desde hace unas décadas, cada vez es mayor el porcentaje de combustibles alternos, no fósiles, que se utiliza en la industria del cemento. Estos combustibles provienen habitualmente del tratamiento/recuperación de residuos y volveremos a hablar de ellos más adelante.



## Cemento

Finalmente, el cemento no es sino la molienda conjunta de clinker, yeso y adiciones.

El clinker, en el caso de ser molido y amasado con agua, fragua y endurece rápidamente. No es posible obtener un mortero que mantenga la trabajabilidad más de unos pocos minutos lo que hace necesaria la adición de un componente que regule esta velocidad de fraguado. Esta misión es encomendada al yeso, sulfato cálcico, que hace que la pasta mantenga su trabajabilidad durante algunas horas.

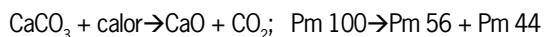
Las adiciones son productos naturales, como rocas puzolánicas, calizas, por ejemplo, o artificiales, como cenizas volantes, escorias de horno alto, etc., que se añaden con el objeto de modificar las propiedades del cemento mejorando su resistencia mecánica o su resistencia al ataque de agresivos químicos.

## GENERACIÓN DE CO<sub>2</sub> Y ESTRATEGIAS DE DISMINUCIÓN

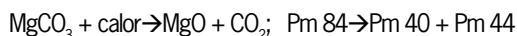
En el proceso de fabricación de cemento el CO<sub>2</sub> se libera durante la fase de clinkerización. En esta fase, se produce la descarbonatación de las materias primas y formación de las fases mineralógicas del Clinker, siendo aportada la energía por diferentes combustibles.

Veamos estos procesos (en la combustión solamente tendremos en cuenta aquellas reacciones que generen CO<sub>2</sub>).

### Proceso de descarbonatación:



Es decir, por cada 100 g de CaCO<sub>3</sub> descarbonatado se liberan 44 g de CO<sub>2</sub>.



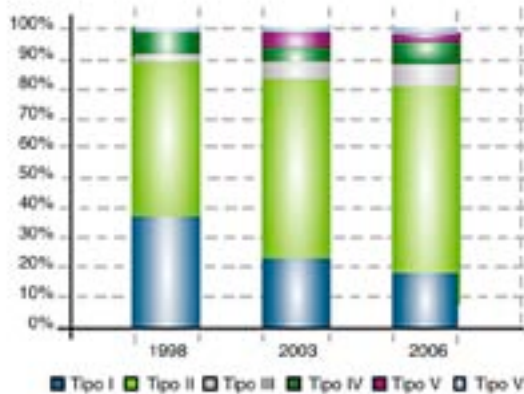
O, de otro modo, por cada 84 g de MgO descarbonatado se liberan 44 g de CO<sub>2</sub>

### Proceso de combustión:



Por cada 12 g de carbono quemados se generan 44 g de CO<sub>2</sub>

Podemos establecer que por cada tonelada de Clinker producido se emiten aproximadamente 0,85 t de CO<sub>2</sub> (no se tienen en cuenta ni el uso de materias primas alternativas ni el posible uso de combustibles alternativos). De ellas 0,3 son debidas a la combustión del car-



**Gráfico 9.**  
Evolución de la producción por tipos de cemento.  
Fuente: memoria 2008 Oficemen.

bón necesario para la clinkerización y 0,55 t son debidas a la descarbonatación de las materias primas.

A la vista de esto, aparecen diferentes estrategias para reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por tonelada de cemento producido.

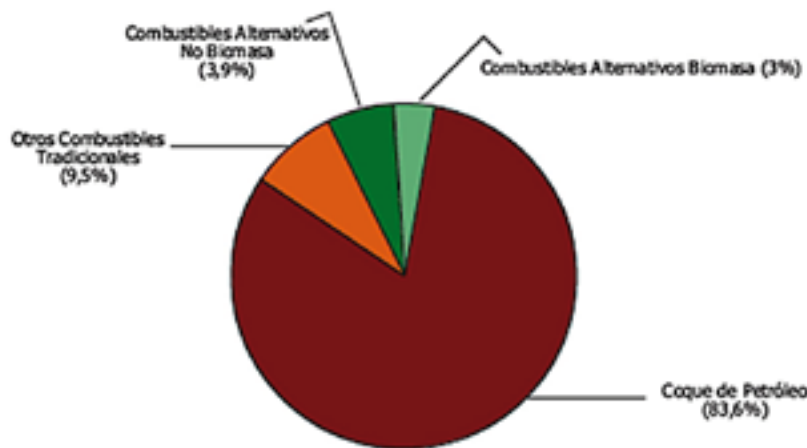
### a) Fabricar cementos con menos Clinker.

Recordemos que el cemento está compuesto por Clinker + yeso + adiciones y que estas adiciones se utilizan para modular las propiedades del cemento. Es obvio que, si utilizamos menos Clinker y maximizamos en lo posible las adiciones, reduciremos la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por tonelada de cemento producido.

El cemento, en tanto que es material básico para la construcción, está fuertemente regulado. El mercado CE, obligatorio para su comercialización en la Unión Europea, obliga al cumplimiento de la norma armonizada UNE-EN 197-1, entre otras. Dicha norma fija la tipología, cantidad y calidad de las adiciones que se pueden utilizar en la formulación de los cementos y también los diferentes tipos de cemento que se pueden producir. El uso de adiciones es antiguo en la fabricación de cemento y una tendencia creciente en el mercado es el uso de cementos tipo II, con adiciones de hasta el 20 % de su masa. (Gráfica 9).

En su conjunto, en el año 2008, el sector utilizó más de 3,4 millones de toneladas de adiciones (principalmente cenizas volantes y escorias granuladas de horno alto), lo que supuso un ahorro de emisiones de 3,1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas al Clinker que fue sustituido.

Como imagen gráfica, 3,1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> corresponderían a la emisión de 1 millón de automóviles durante un año.



**Gráfica 10.** Aporte calórico por tipos de combustibles en 2008 (Kilotermias). Fuente: memoria 2008 Oficemen.

**b) Utilizar materias primas descarbonatadas en la fabricación de crudos para la producción de Clinker.**

En un análisis “tipo” de un clinker para cemento portland encontramos, entre otros, los siguientes elementos (expresados como óxidos):

CaO.....	65 %
SiO <sub>2</sub> .....	21 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	5 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3 %
MgO.....	2,5 %
SO <sub>3</sub> .....	1,3 %

En principio, cualquier aportador de silicio, calcio, aluminio o hierro, podría ser una materia prima para la fabricación de Clinker, pero la presencia de azufre y cloro, que provocarían problemas en el proceso de fabricación, o la presencia de cromo, cuyo contenido en el cemento como cromo soluble esta limitado a 2 ppm, hacen difícil encontrar materias primas utilizables para la fabricación de cemento.

Aun así, a lo largo de 2008 el sector utilizó 0,7 millones de toneladas de residuos industriales tales como cenizas de escorias de procesos térmicos, cascarilla de hierro, lodos de papeleras, arenas de fundición, lodos de potabilizadora de aguas... etc., lo que permitió ahorrar espacio en nuestros vertederos por una superficie equivalente a 10 campos de fútbol. Sin embargo, la disponibilidad de materiales descarbonatados aptos para la fabricación de Clinker es escasa.

**c) Utilizar combustibles alternativos.**

A la hora de hablar de las estrategias de ahorro de emisiones en combustión, puede parecer que se omite la

búsqueda de procesos más eficientes, que requieran menores consumos de energía en la fabricación del Clinker.

Si bien esto no es así, y se investiga constantemente en la búsqueda de tecnologías más eficientes, es justo reconocer que la industria cementera española se encuentra entre las tres más eficientes energéticamente del mundo, tan solo superada por Corea y Japón.

El consumo de energía calorífica en la industria cementera española se distribuye del siguiente modo (Gráfica 10).

El uso de combustibles alternativos, aquellos diferentes de los combustibles fósiles tradicionales como carbón, coque de petróleo, fuel, etc. es práctica común en la industria cementera en la Unión Europea (Gráfica 11).

Si bien en España, como puede verse en el gráfico siguiente, todavía nos encontramos en “él furgón de cola”, su uso está cada vez más extendido en la industria nacional (Gráfica 12).

La utilización de este tipo de combustibles tiene múltiples ventajas ambientales y, por qué no decirlo, sociales.

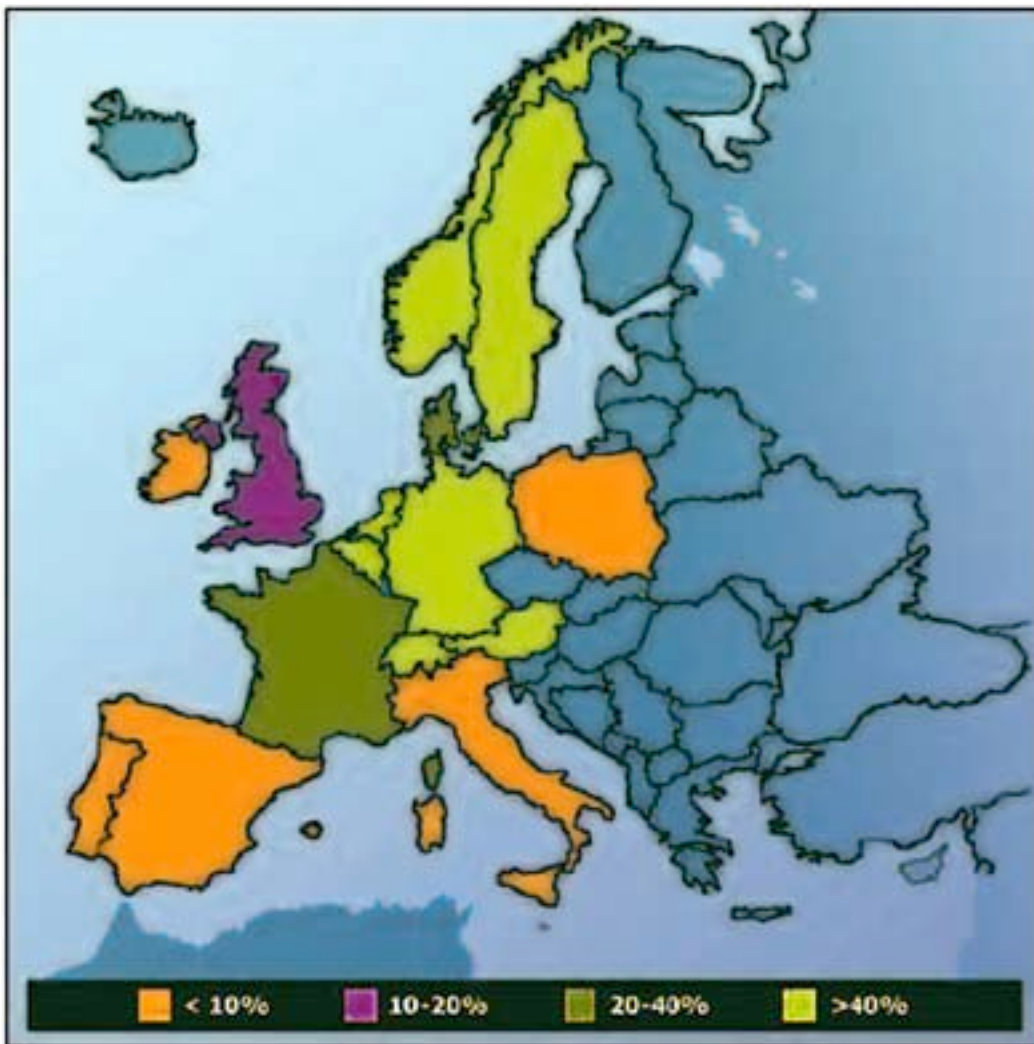
- Aumenta la vida útil de los vertederos existentes al aprovechar residuos que, de otro modo, acabarían en los vertederos.
- Disminuye la emisión global de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Gran parte de estos residuos contienen carbono proveniente de biomasa susceptible de fermentar en los vertederos y generar CH<sub>4</sub>. Por cada tonelada de residuos que se depositan en vertedero se generan 350 kilos de metano. El efecto sobre el calentamiento global de cada mol de CH<sub>4</sub> equivale al de 21 moles de CO<sub>2</sub>, por lo que cada tonelada de residuos depositada en vertedero equivale a la emisión de 7,35 t de CO<sub>2</sub>.
- Recupera parte de la energía que costó fabricar los productos de los que provienen estos residuos.
- Al ser una energía “renovable”, pues es consustancial al hombre la generación de residuos, disminuye nuestra dependencia energética del exterior y preserva recursos fósiles para generaciones venideras.

A pesar de ello, y de las cifras presentadas anteriormente, su uso en España avanza con lentitud.

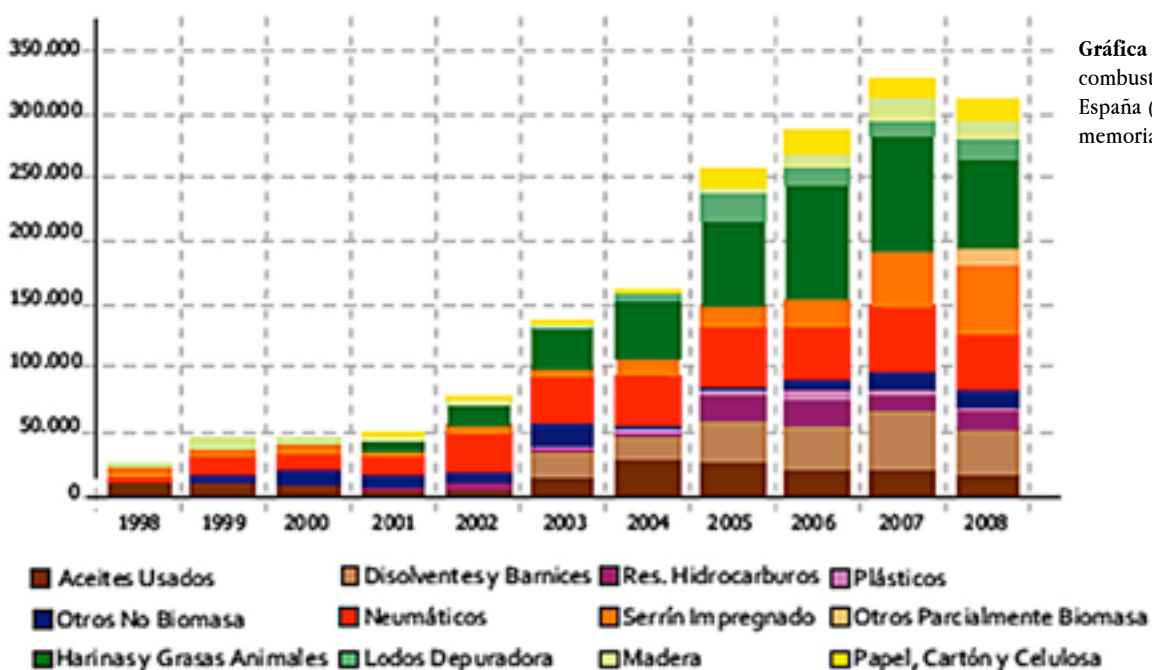
Las competencias medioambientales recaen sobre las Administraciones Autonómicas y Locales, lo que genera una legislación desigual a lo largo del territorio dándose la paradoja de que el combustible alterno que no es posible utilizar en una Comunidad Autónoma se utiliza en la Comunidad Autónoma limítrofe. ■







**Gráfica 11.** Grado de sustitución de combustibles fósiles por alternativos en la industria cementera en algunos estados europeos. Fuente: memoria 2008 Oficemen.



**Gráfica 12.** Uso de combustibles alternativos en España (Toneladas). Fuente: memoria 2008 Oficemen.

# La formación preventiva

## en la industria extractiva: características, alcance y homologaciones

*Las actividades mineras tanto las que se desarrollan de forma subterránea como aquellas labores que transcurren a cielo abierto, cuentan con una regulación normativa en materia de Seguridad y Salud de amplia trayectoria, en la que destaca sobremanera el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (RGNBSM), publicado con el RD 863/1985, de 2 de Abril y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITCs).*

### **Arsacio Cruz Pascual**

Ingeniero Técnico en Explotación de Minas, Ingeniero Técnico en Instalaciones Electromecánicas. Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales, Auditor de Sistemas de Gestión de Prevención y Director de Seguridad Integral Privada (Sociedad de Prevención de Fraternidad Muprespa S.L.U. ).



**S**in desmerecer la trascendencia de la fundamental Ley de Prevención de Riesgos Laborales, Ley 31/1995 de 8 de noviembre, y la de una de sus normas de desarrollo, específicamente dirigida a las industrias extractivas, como es el Real Decreto 1389/97, de 5 de septiembre, por el que se aprueban las *disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y salud de los trabajadores en las actividades mineras*, lo cierto es que el principal cuerpo efectivo de medidas dirigidas a prevenir o proteger frente al importante conjunto de riesgos que se encuentran asociados a las labores propias de estas industrias, se encuentran recogidas en la mencionado **Reglamento General de NBSM**, que les precedió en el tiempo, y pese a su mayor antigüedad, en ningún caso ha perdido su vigencia, tal y como la propia Ley de Prevención de Riesgos Laborales reconoció en su *Disposición derogatoria única: alcance de la derogación*.

Hay que citar el importante punto de inflexión que supuso la publicación en el 2008 de una nueva norma para la regulación específica por vez primera en el sector minero (y prácticamente en el resto de actividades laborales, con excepción del sector de la construcción y de algunas actividades (CNAE,s) de actividades de sector metal que desarrollan actividades en el sector construcción) de la formación preventiva que debe ser proporcionada a los trabajadores de las actividades mineras. Me refiero a la ORDEN ITC/1316/2008, de 7 de mayo, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

La citada Orden tiene por objeto la regulación de la formación profesional mínima en materia de seguridad y salud laboral que deben poseer los trabajadores que desempeñan su trabajo habitual en centros de trabajo adscritos a actividades mineras, a continuación se citan las diferentes Resoluciones que han salido publicadas hasta diciembre de 2010 y que la desarrollan, estipulando la formación necesaria para los diferentes puestos de trabajo:

- Resolución de 9 de junio de 2008, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba la especificación técnica número 2000-1-08 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de **operador de maquinaria de transporte, camión y volquete, en actividades extractivas de**



## La publicación de la Orden ITC/1316/2008 supuso un punto de inflexión para la formación preventiva de los trabajadores de actividades mineras

**exterior» de la instrucción técnica complementaria 02.1.02.**

- Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. (BOE número 148, de 19 de junio de 2008).
- Resolución de 9 de junio de 2008, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba la especificación técnica número 2000-1-08 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de **operador de maquinaria de arranque/carga/viales, pala cargadora y excavadora hidráulica de cadenas, en actividades extractivas de exterior» de la instrucción técnica complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. (BOE número 163, de 7 de julio de 2008).**
- Resolución de 7 de octubre de 2008, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se



## La formación preventiva habilita para el desempeño de un puesto de trabajo, por lo que es obligatoria su realización para la empresa

aprueba la especificación técnica nº 2002-1-08 «Formación preventiva para el desempeño de los puestos de **operador de arranque/carga y operador de perforación/voladura; picador, barrenista y ayudante minero, en actividades extractivas de interior**» de la instrucción técnica complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. (BOE número 259, de 27 de octubre de 2008).

- Resolución de 18 de noviembre de 2010, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba la especificación técnica número 2003-1-10 «Formación preventiva para el desempeño de los **puestos de trabajo encuadrados en los grupos 5.1 letras a), b), c) y 5.2 letras a), b), d), f) y h)** de la Instrucción Técnica Complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera».

- Resolución de 18 de noviembre de 2010, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba la especificación técnica número 2004-1-10 «Formación preventiva para el desempeño de los **puestos de trabajo encuadrados en los grupos 5.4 letras a), b), c), d), e), f), g), h), j), k), l), m), y 5.5 letras a), b) y d) del apartado 5** de la Instrucción Técnica Complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera».

Su ámbito de aplicación son los centros de trabajo pertenecientes a cualesquiera de las actividades que se encuentran referidas en el artículo 1.º del Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y en las recogidas en el párrafo a) del artículo 2 del Real Decreto 1389/1997, de 5 de septiembre, por el que se aprueban las disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y salud de los trabajadores en las actividades mineras.

En ella se definen los itinerarios formativos, que comprenden unos programas formativos básicos que, con carácter de mínimos, sirven para el **establecimiento de las directrices orientadoras de la formación en materia preventiva de los diferentes puestos de trabajo de las industrias mineras, sin perjuicio de la formación requerida en el artículo 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales**. Se trata de establecer el umbral de conocimientos preventivos, teóricos y prácticos, para cada puesto de trabajo en la actividad minera, que debe poseer el profesional que lo desempeña.

Esta formación preventiva **habilita para el desempeño del puesto de trabajo**, por lo que es **obligatoria su realización para la empresa**, y en caso no realización se sancionarán según lo dispuesto en el artículo 121 de la Ley de Minas. Así mismo deberá realizarse formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo de **actualización y reciclaje**, con una periodicidad que no será superior a cuatro o dos años .

**Los diferentes grupos en que se divide la actividad minera son:**

- Investigación.
- Actividades de exterior.
- Actividades de interior.
- Establecimientos de beneficio (elaboración y manufactura del material).
- Puestos comunes.





<b>FORMACIÓN POR PUESTO DE TRABAJO <i>ORDEN ITC/1316/2008</i></b>	
<b>INVESTIGACION</b>	<b>Grupo 5.1</b>
a) Técnicos titulados.	20 horas
b) Operadores de geofísica.	20 horas
c) Operadores de geoquímica.	20 horas
<b>ACTIVIDADES DE EXTERIOR</b>	<b>Grupo 5.2</b>
a) Técnicos titulados.	20 horas
b) Encargados y/o vigilantes.	20 horas
c) Operadores de maquinaria de arranque/carga/viales.	20 horas
d) Perforación/Corte/Voladura.	20 horas
e) Operadores de maquinaria de transporte.	20 horas
f) Operadores de sondeos de agua y/o investigación.	20 horas
h) Operadores de mantenimiento mecánico y/o eléctrico.	20 horas
<b>ACTIVIDADES DE INTERIOR</b>	<b>Grupo 5.3</b>
a) Perforación/Voladura.	20 horas
<b>PLANTAS DE BENEFICIO</b>	<b>Grupo 5.4</b>
a) Técnicos titulados .	20 horas
b) Encargados y/o vigilantes.	20 horas
c) Operadores de trituración/clasificación	20 horas
d) Operadores de molienda	20 horas
e) Operadores de estrío	20 horas
f) Operadores de separación y concentración	20 horas
g) Operadores de hornos	20 horas
h) Operadores de mezclas	20 horas
j) Operadores de plantas de materiales para la construcción	20 horas
k) Operadores de plantas de rocas ornamentales	20 horas
l) Operadores de laboratorio	20 horas
m) Operadores de mantenimiento mecánico y/o eléctrico.	20 horas
<b>PUESTOS COMUNES</b>	<b>Grupo 5.5</b>
a) Dirección	20 horas
b) Técnicos titulados que no participan en el proceso productivo	20 horas
d) Administración y personal de servicios distintos a los de mantenimiento.	20 horas

Los trabajadores se reciclarán cada 4 años si pertenecen a determinados grupos de trabajo (titulados, encargados, administración,...)



Si pertenecen al grupo 5.2, letras d y h, y grupo 5.3 perforación y voladura se deberán reciclar cada 2 años.



Al grupo 5.4 pertenecen los distintos tipos de operadores, que también deben reciclarse cada 2 años.



Así mismo deberá repetirse esta formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo, con una periodicidad que no será superior a cuatro o dos años, según el puesto o función desarrollada. **Es el único sector laboral que regula la repetición en el tiempo de esta formación obligatoria y habilitante para continuar con el desempeño de las funciones propias del puesto.**

### FRECUENCIA MÍNIMA DE REPETICIÓN O RECICLAJE:

La frecuencia máxima obligatoria con la que el trabajador recibirá los cursos de formación con carácter de reciclaje o actualización de conocimientos, que se adecuarán, según el puesto de trabajo, a un **mínimo de veinte ó cinco horas lectivas**, según su correspondiente *Resolución*, será de:

#### 4 años para los puestos de trabajo pertenecientes:

- a los grupos 5.2 letras a) Técnicos titulados, b) Encargados y/o vigilantes, c) Operadores de maquinaria de arranque/carga/viales, e) Operadores de maquinaria de transporte y f) Operadores de sondeos de agua y/o investigación y 5.1 letras a) Técnicos titulados, b) Operadores de geofísica y c) Operadores de geoquímica.
- a los grupos 5.4 letras a) Técnicos titulados, b) Encargados y/o vigilantes, g) Operadores de hornos, l) Operadores de laboratorio, y 5.5 letras a) Dirección, b) Técnicos titulados que no participan en el proceso productivo y d) Administración y personal de servicios distintos a los de mantenimiento.

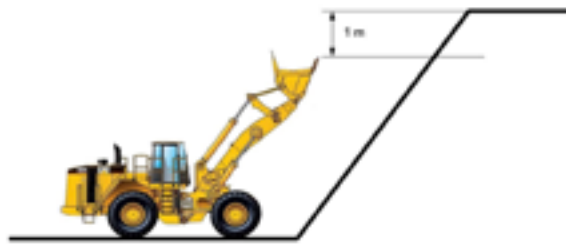
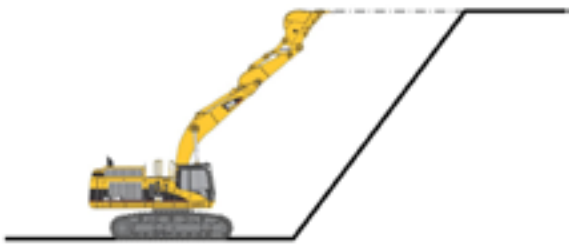
#### 2 años para los puestos de trabajo pertenecientes:

- al grupo 5.2 letras d) Perforación/Corte/Voladura y h) Operadores de mantenimiento mecánico y/o eléctrico.
- al grupo 5.3 a) Perforación/Voladura.
- al grupo 5.4 letras c) Operadores de trituración/clasificación, d) Operadores de molienda, e) Operadores de estrío, f) Operadores de separación y concentración, h) Operadores de mezclas, j) Operadores de plantas de materiales para la construcción, k) Operadores de plantas de rocas ornamentales, y m) Operadores de mantenimiento mecánico y/o eléctrico.

### CONTENIDO Y ESTRUCTURA DE LOS ITINERARIOS FORMATIVOS:

- 1.º Definición de los trabajos.
- 2.º Técnicas preventivas y de protección específicas.





- 3.º Equipos, herramientas o medios auxiliares.
- 4.º Control y vigilancia sobre el lugar de trabajo y su entorno.
- 5.º Interferencias con otras actividades.
- 6.º Normativa y legislación.

#### ORGANIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LA FORMACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO FORMADOR:

El empresario organizará la impartición de la formación correspondiente, con medios propios o ajenos.

El equipo encargado de la docencia de los contenidos de los diferentes itinerarios formativos por puesto de trabajo, deberá reunir una serie de requisitos que los valide para la función que habrán de desempeñar. Estos requisitos básicos serán:

- a) *Incluir algún integrante que se encuentre acreditado para el desempeño de las funciones de **Nivel Superior en Prevención de Riesgos Laborales**.*
- b) *Sus miembros deberán poseer **formación académica o profesional específica en materia de minería**.*
- c) ***Contar con experiencia laboral** en el sector de actividad.*

Los trabajadores que hayan sido adecuadamente formados, superando los niveles de conocimientos establecidos por el personal docente, recibirán una **acreditación documental** de ello, expedida por la empresa si esta hubiera utilizado medios propios para la impartición

**Los trabajadores que hayan sido adecuadamente formados recibirán una acreditación documental expedida por la empresa**

de la formación, o por la entidad encargada por ella para hacerlo, en caso de haber recurrido a medios ajenos.

Esta formación se anotará y certificará en la **cartilla de formación profesional** propia de cada trabajador.

El empresario mantendrá al día un **libro de registro de los cursos recibidos** por el personal de la empresa.

La Dirección General de Política Energética y Minas, desarrollará las especificaciones técnicas, *donde se detallará con más profundidad las **características del equipo formador***, así como el **formato del libro de registro** de cursos recibidos y de la **cartilla personal de los trabajadores**.

#### HOMOLOGACIONES DE LA FORMACIÓN DE LA ITC02.1.02 «FORMACIÓN PREVENTIVA PARA EL DESEMPEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO» CON LA FORMACIÓN DEL CONVENIO DE CONSTRUCCIÓN 2007-2011

Es preciso comentar que el Convenio de Construcción también tiene un itinerario de cursos de 20 horas, entre ellos el de **Operador de Vehículos y Maquinaria de Movimientos de Tierras** y en el pasado año 2010 se dió por valido los cursos de Operadores de maquinaria de arranque/carga/viales y Operadores de maquinaria de transporte:

El texto que aparece en el Acta nº 68 de la reunión celebrada el 28 de febrero de 2.010 por el OPPC (Organismo Paritario para la Prevención en Construcción) integrado en la FLC en torno al tema del reconocimiento como Formación de 2º Ciclo del Convenio de Construcción de la Formación impartida según el Reglamento de Seguridad minera es el siguiente:

*....Por otro lado, se ha planteado la homologación de la formación en materia de prevención de riesgos laborales contenida en las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento de Seguridad Minera, asimilándola*



al segundo ciclo del IV Convenio General del Sector de la Construcción.

Analizada esta cuestión y teniendo en cuenta que la duración y contenidos de los cursos definidos en las citadas instrucciones técnicas complementarias se ajustan a lo previsto en el CGSC para el oficio de "Operadores de vehículos y maquinaria de movimientos de tierras", se estima que deberá reconocerse esta formación, a efectos de la expedición de la TPC, siempre y cuando sea impartida por entidades con la formación homologada.

Esta convalidación parecía lógica, dado que la actividad minera, sobre todo las explotaciones de áridos para la construcción, esta íntimamente ligada al sector de la construcción y es fácil encontrar empresas constructoras dedicadas a la obra civil que disponen de can-

teras y que los operadores de vehículos y maquinaria compatibilizan sus funciones tanto en la obra como en la explotación minera y no parecía lógico que tuvieran que cursar dos acciones formativas de 20 horas, siendo la formación de la ITC de Minas mas restrictivas al separar en dos cursos diferentes a los *conductores de vehículos de transporte* y a los *operadores de maquinaria de arranque/carga/viales*.

Sería previsible en el futuro, que se produzcan también convalidaciones cuando salgan en próximos convenios de la construcción la formación de 2º Ciclo de oficios como Artillero / Barrenero, Operadores de Plantas de áridos / hormigón, Operador de Planta Asfáltica, Operadores de maquinaria de sondeos, perforaciones y pilotajes, etc....

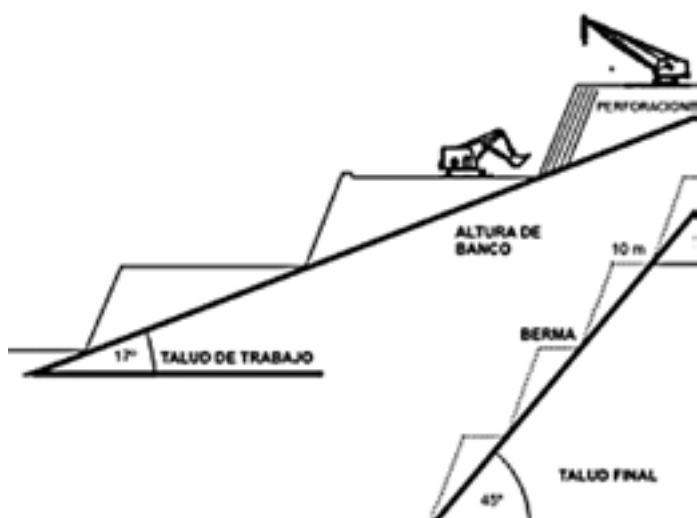
### FORMACIÓN DE LOS TÉCNICOS TITULADOS

En cumplimiento de la formación de los Técnicos Titulados que establece la ITC/1316/2008, de 7 de mayo, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria 02.1.02 «**Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo**», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, recientemente se ha elaborado y editado por el **Consejo General de Colegios de Ingenieros Técnicos de Minas de España** el MANUAL DE FORMACION PREVENTIVA PARA TECNICOS TITULADOS EN ACTIVIDADES EXTRACTIVAS DE EXTERIOR ITC.02.1.02 ET 2003-1-10, el cual ha sido subvencionado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en el cual he tenido la oportunidad de participar en su elaboración y aportar mi granito de arena en esta primera edición, que sin duda se revisará en el futuro, con el fruto y aporte de todos los que confiamos que la inversión en prevención es una inversión totalmente rentable y que una adecuada política y planificación preventiva garantizará el futuro de la empresas, así como

**El Consejo General de Colegios de Ingenieros Técnicos de Minas de España ha editado el MANUAL DE FORMACION PREVENTIVA PARA TECNICOS TITULADOS EN ACTIVIDADES EXTRACTIVAS DE EXTERIOR ITC.02.1.02 ET 2003-1-10**







que un Trabajador formado y protegido es siempre un trabajador más Eficaz. Este Manual ha servido de base para una primera formación de un grupo de más de 300 Ingenieros Técnicos de Minas.

### LA FORMACIÓN BASE DE LA PLANIFICACIÓN PREVENTIVA: EL RESCATE DE LOS MINEROS CHILENOS

Nadie tiene duda de que la Prevención y que la Formación es IMPORTANTE, pero en demasiadas ocasiones se antepone a ellas la Producción, la cual se convierte en URGENTE. El pasado año asistimos a una acción de sensibilización y formación "ON LINE" a nivel internacional: **EL ACCIDENTE en la mina de San José de Chile (el 5 de agosto de 2010, se desplomó el techo de la mina de cobre y oro de San José, atrapando a 33 mineros en el interior, a 700 metros bajo tierra, cerca de Copiapó, Chile. El destino de los mineros no se supo cuál era - tardaron 17 días para que un taladro llegara a su refugio y los descubriera vivos y sanos).** Vivimos la importancia que tiene la reconstrucción mediática de un hecho social de este tipo. Su valor simbólico final depende en gran medida de cómo haya sido construido por la comunicación social.

#### ¿Qué significado se desprende de esta operación de reconstrucción mediática?

Un gravísimo accidente laboral nos permite reflexionar sobre el tema: el derrumbe de la mina San José en pleno desierto de Atacama, en Chile, y la excepcional subsistencia de 33 mineros en la misma.

Cualquiera que conozca la noticia, se preguntó ante todo sobre la supervivencia de los mineros, pero también sobre las condiciones en las que se produjo el accidente y las formas de prevenirlo en el futuro. Sin embargo, este no ha sido el enfoque predominante en el panorama mediático español. En el tratamiento de la noticia se ha impuesto de forma general, que debe siempre prevalecer el llamado "lado humano" de la misma: *los mineros han sido encontrados con vida, la población lo festeja, las autoridades, incluido el recién elegido presidente de la república, acuden a hablar con ellos, se organiza el aparato de salvamento, la boca de la mina se llena de banderas chilenas y de cruces que simbolizan las plegarias de las familias y vecinos.*

Todo converge en conseguir que salgan con vida, "que es lo importante". En esa línea se informa –se explica de una forma más o menos detallada– que una serie de empresas especializadas –suecas, australianas– preparan técnicamente la intervención salvadora. Incluso la propia agencia espacial norteamericana, la NASA, prepara un plan de abordaje y salvamento preciso. **Es, sin embargo, mucho más difícil que la prensa se pregunte por qué ha sucedido este hecho.** Ningún periodista habla, ni se interroga por las responsabilidades que este hecho genera. Alguien menciona, pero es una excepción, que la mina ha sido cerrada en un tiempo por absoluta carencia de medidas de seguridad, pero que fue reabierta sin cumplir los requisitos de construcción

de una **salida de emergencia** aprovechando la torre de ventilación, requisito que había establecido un organismo oficial. Yo mismo he visto no hace más de 7 años como en una explotación minera subterránea en España, se permitía la explotación sin disponer de una segunda salida al exterior.

Hay por tanto un aspecto que queda siempre en la zona de sombra de la información, que se relaciona con la organización de la empresa y la ignorancia de las medidas preventivas del riesgo de accidente. Y eso que basta con escribir en Google "Mina San José (Chile)" para que aparezcan informaciones que apuntan, justamente, a las causas.

**Hay una versión invisible de este hecho**, la que sustentan los dirigentes del Sindicato nº 2 de Minera San Esteban Primera y la CUT provincial de Copiapó, y que han hecho suya los representantes de las organizaciones sindicales de la minería de todo el país. Este enfoque sostiene que la tragedia, largamente anunciada por los dirigentes sindicales de la mina, es la consecuencia inevitable de un sistema económico que pone en el centro la rentabilidad privada sobre cualquier otra consideración, incluyendo la seguridad e incluso la propia vida de los que con su trabajo generan esa rentabilidad.

**Desde una EFICAZ información, formación y planificación preventiva debemos aunar los esfuerzos para que situaciones parecidas no se repitan** y en esta línea una de las acciones a mejorar, desarrollar y adaptar de una forma más específica y concreta a cada Explotación, son las **DIS** ( Disposiciones Internas de Seguridad), que el Director Facultativo deber elaborar y mantener constantemente actualizadas, y una vez que sean aprobadas por la Autoridad Minera, deben ser objeto de información, formación específica y recordatorio periódico, para que todo el personal de la explotación las conozca y las cumpla, todo ellos con la supervisión continua del Director Facultativo.

Asi mismo el disponer de Manual de Operador de los equipos en formato no solo papel sino en formato CD ò DVD, permitirá un aprendizaje previo de la maquinaria a manejar, que sin duda redundará no solo en una mejor optimización, productividad, mantenimiento y uso eficaz del equipo, sino que permitirá garantizar mas eficazmente la seguridad y salud de los operadores.



## REFERENCIAS

- Ley de Prevención de Riesgos Laborales, Ley 31/1995 de 8 de noviembre.
- Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (RGNBSM), publicado con el RD 863/1985, de 2 de abril.
- ITC/1316/2008, de 7 de mayo, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.
- Resolución de 9 de junio de 2008, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba la especificación técnica número 2000-1-08 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de operador de maquinaria de transporte, camión y volquete, en actividades extractivas de exterior» de la instrucción técnica complementaria 02.1.02.
- «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. (BOE número 148, de 19 de junio de 2008).
- Resolución de 9 de junio de 2008, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba la especificación técnica número 2000-1-08 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de operador de maquinaria de arranque/carga/viales, pala cargadora y excavadora hidráulica de cadenas, en actividades extractivas de exterior» de la instrucción técnica complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. (BOE número 163, de 7 de julio de 2008).
- Resolución de 7 de octubre de 2008, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba la especificación técnica nº 2002-1-08 «Formación preventiva para el desempeño de los puestos de operador de arranque/carga y operador de perforación/voladura; picador, barrenista y ayudante minero, en actividades extractivas de interior» de la instrucción técnica complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. (BOE número 259, de 27 de octubre de 2008).
- Resolución de 18 de noviembre de 2010, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba la especificación técnica número 2003-1-10 «Formación preventiva para el desempeño de los puestos de trabajo encuadrados en los grupos 5.1 letras a), b), c) y 5.2 letras a), b), d), f) y h) de la Instrucción Técnica Complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera».
- Resolución de 18 de noviembre de 2010, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se aprueba la especificación técnica número 2004-1-10 «Formación preventiva para el desempeño de los puestos de trabajo encuadrados en los grupos 5.4 letras a), b), c), d), e), f), g), h), j), k), l), m), y 5.5 letras a), b) y d) del apartado 5 de la Instrucción Técnica Complementaria 02.1.02 «Formación preventiva para el desempeño del puesto de trabajo», del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera».
- Real Decreto 1389/1997, de 5 de septiembre, por el que se aprueban las disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y salud de los trabajadores en las actividades mineras.
- Real Decreto 1627/97, sobre disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y salud de los trabajadores en las obras de Construcción.
- IV Convenio General del Sector de la Construcción.

*Urzúa es el último minero en salir de la mina chilena, topógrafo de 54 años, y llevaba a sus espaldas 31 años de experiencia en la minería, el cuál se ha dirigido al Presidente Piñera y le ha dicho: “Le entrego el turno y espero que esto nunca más nos vuelva a ocurrir. Gracias a todos, gracias a todo Chile y a todas las personas que han cooperado. Me siento orgulloso de ser chileno...”*

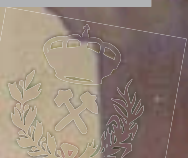
*La liberación de los mineros chilenos acabó con la colocación de una tapa en, el pozo de rescate, siendo el presidente Sebastián Piñera, el que se encargó de poner la tapa al pozo, en la que se escribió:*

**“Que esta tapa no se vuelva a abrir hasta no haber planificado las medidas preventivas de los riesgos que conlleven los trabajos a realizar”. ■**

# Martín Laviana Antuña, un minero asturiano ejemplar

**María Luisa Laviana Cuetos**

*En este artículo, la autora recuerda la vida de su padre, el ingeniero técnico de Minas, Martín Laviana Antuña, querido y reconocido profesionalmente por todos los que le han conocido. Esta narración, cercana y llena de recuerdos, puede servir de ejemplo para mostrar cómo fue la vida de muchos profesionales que tuvieron que enfrentarse a tiempos muy difíciles, marcados por una guerra civil española.*



**E**l 15 de febrero de 2010 a las 12 del mediodía, en Sevilla, se le acabó el tiempo a Martín Laviana Antuña, mi padre, que había nacido el 28 de mayo de 1926 en El Entrego, un pueblo de la cuenca minera del Nalón.

Él se presentaba a sí mismo como “un nieto de ‘los Molineros’ de La Laguna”,<sup>1</sup> y es verdad que en mi familia siempre hemos sabido que éramos “de los Molineros”, aunque todos los parientes varones que conocíamos eran mineros. Y lo fue también mi padre, un minero asturiano con una vida dura y difícil, pero también interesante y plena, llena de alegrías y realizaciones.

En el libro que escribió cuando ya había cumplido 70 años, recordaba así los comienzos de su vida:

*“Mis recuerdos más lejanos se remontan al principio de los años 30 y se sitúan en el barrio de La Oscura, en El Entrego, Concejo de San Martín del Rey Aurelio, Asturias. En este lugar, situado en la margen derecha del río Nalón, vivían mis padres Martín Laviana Suárez –de la familia apodada ‘los Molineros’, y buen picador de carbón– y Josefina Antuña Velasco –de la aldea de La Argustín, ama de casa y competente modista–, con sus cinco hijos, de los que yo era el mayor”.*<sup>2</sup>

Son unas páginas fascinantes, en las que es fácil imaginar al niño que iba gustoso a la catequesis y de paso hacía “incursiones a la pomarada del cura para robar manzanas”; el mismo niño que recuerda que el día de su primera comunión los pusieron a él y a su amigo Valentín “el Churrero” en los últimos bancos de la iglesia “debido tanto a nuestro atuendo [humilde] como a nuestro carácter revoltoso”; el niño que vivía en una pequeña casa sin agua corriente ni servicios hasta que Tino “el Albañil” construyó un retrete en el patio, “por una disposición dictada después de la proclamación de la República”; el niño que jugaba a la guerra con sus



Martín y Carmina con sus siete hijos, nacidos entre 1950 y 1962.

amigos y que muy pronto aprendió que la guerra no era ningún juego.

## LA TRAGEDIA DE UNA GUERRA CIVIL

El año 1936 fue terrible para toda España, y lo fue también para aquel niño que con apenas 10 años sufrió la muerte de su madre, el 27 de abril de 1936 (“el día más triste de mi vida”), y el estallido de la guerra civil: “El ejército se sublevó contra el gobierno de la república y empezó una contienda que arrasaría España y cambiaría la vida de muchas familias, entre ellas la mía” (pág. 24). Su padre fue movilizad y enviado al frente, quedándose sus cinco hijos al cuidado de la abuela y una tía maternas, ambas de salud delicada. Terminó entonces la infancia de Martín Laviana, que se dedicó a hacer lo que él llamaba “turismo mendicante”, recorriendo gran parte de la Asturias agrícola y ganadera (zonas comprendidas entre Pola de Siero y Arriondas, entre Villaviciosa, Ribadesella y Llanes, entre Noreña y Sotiello, el Cabo de Peñas) para conseguir comida que llevar a su casa: “Cada salida, que duraba uno o dos días, era una aventura que empezaba con el intento de eludir la vigilancia del revisor del tren”, contando para ello con la complicidad solidaria de los viajeros.

Esta etapa se quedó marcada para siempre en la mente de aquel niño, que seis o siete décadas después recordaba con precisión todos los episodios vividos, y especialmente las cuatro ocasiones en que no fue “muy

1 Así lo hizo en el texto titulado “Desde Sevilla”, que en marzo de 2003 y a petición del entonces presidente del Centro Asturiano en Sevilla, Joaquín Álvarez, escribió para el *Portfolio* de las fiestas de El Entrego, unas fiestas llamadas precisamente “de La Laguna”. Ese y otros textos de Martín Laviana se publicaron como apéndice de una versión del presente artículo en: *Día de Asturias en Sevilla 2010. Año de ausencias*. Centro Asturiano en Sevilla, Aula Cultural Astursevillana, Sevilla 2010, págs. 68-86.

2 Martín Laviana Antuña, *Memorias de un minero*, Sevilla 1997, pág. 9. [En adelante y mientras no se indique otra cosa, todas las citas literales estarán tomadas de esta obra].



Con la mula Pastora en la mina de Almadén 1959.

honrado” porque robó: 1) patatas recién sembradas; 2) una “hermosa boroña todavía caliente”; 3) una saca de 10 ó 12 kilos de harina de maíz; y 4) un libro, que resultó ser *Don Gonzalo González de la Gonzalera*, de José María de Pereda, y fue como “un tesoro” para aquel niño, que se puso a leerlo y se olvidó “de alimentos, del hambre y de todo” (págs. 28-30).

Además de sus padres, las personas que más honda huella le dejaron durante su infancia fueron Luis Arregui de la Calle, el maestro que le inculcó el amor a la lectura, y Dimas Martínez, el médico que atendió a su madre y que se convirtió en su modelo (“quiero ser médico como don Dimas”, decía cuando le preguntaban qué quería ser de mayor).<sup>3</sup>

Poco después de acabar la guerra en Asturias y regresar su padre a casa, Martín -tras superar una pulmonía doble que le obligó a hacer reposo y dejar de asistir a la escuela- encontró trabajo en la casa de campo de Balbino Ablanado y su esposa Encarna, cerca de Pola de Siero. A cambio de “cuatro duros al mes, comida, cama y lavado de ropa”, se ocupaba de “limpiar la cuadra, dar de comer a las vacas y demás animales de la hacienda,

podar las ‘sebes’, llevar las vacas a abreviar a la fuente y a pacer en los prados y cuidarlas; además tenía que llevar diariamente a La Pola la leche y repartirla entre los clientes fijos, y los martes acompañar al ama al mercado de la misma localidad, donde vendía huevos, productos de la huerta y frutas del tiempo que yo había recogido de los árboles la tarde anterior. En los tiempos de siega de la hierba, siembra y recolección, ayudaba en los trabajos más sencillos” (pág. 35).

### SUS COMIENZOS EN EMPRESAS MINERAS

Fue una etapa tranquila para él, que terminó en la primavera de 1940 cuando decidió volver a su casa y buscar trabajo en alguna empresa minera, aunque sólo lo encontró en tareas de extracción de piedras en las orillas del Nalón para construir defensas de la vía del ferrocarril de Langreo, y esporádicamente acudía también a la escombrera del pozo Sorriego para “rebuscar” carbón y conseguir así algún dinero extra (por medio quintal de carbón recibía 2'50 pesetas), que a veces utilizaba para asistir a las actuaciones de la “Compañía Asturiana de Comedias” que actuaba en el Cine Vital, de El Entrego, con obras de José León Delestal y la actuación de El Presi, “un actor joven que cantaba como los ángeles canciones asturianas” (pág. 39).<sup>4</sup>

En julio de 1940, durante las fiestas de La Laguna, ayudó a unos feriantes (Agustín Liendo y su familia) en el montaje de su caseta de tiro al blanco y un carrusel de cadenas, y luego aceptó el empleo permanente que le ofrecieron. Durante un año y medio recorrió las fiestas de diversas localidades asturianas, leonesas y vascas, hasta que en febrero de 1942 decidió regresar a casa con la idea de empezar a trabajar en la mina, destino casi “obligado” para él y tantos jóvenes de su entorno y circunstancias.

Su vida de minero empezó “uno de los primeros días del mes de marzo de 1942”, cuando entró como “guaje” en la mina El Río (Langreo), utilizando el nombre de su primo Octavio Laviana, pues le faltaban tres meses para cumplir los 16 años exigidos para trabajar en el interior de la mina: “Fue un momento importante e inolvidable,

<sup>3</sup> Dimas Martínez (1908-1984) ejerció la medicina en El Entrego durante casi medio siglo, ganándose el respeto y afecto del pueblo que hoy honra su memoria con una estatua en el parque y dando su nombre a una calle.

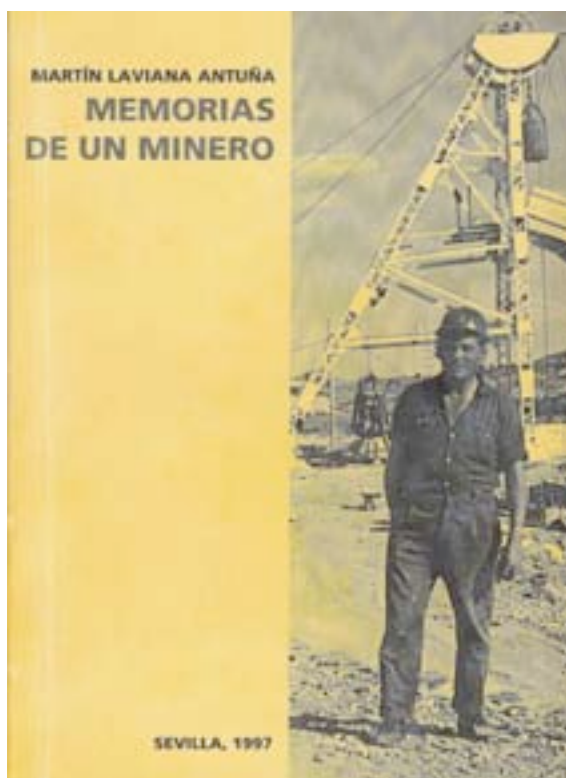
<sup>4</sup> Tanto a Delestal como a José González Cristóbal, *El Presi*, los conocería Martín cuarenta años después en el Centro Asturiano de Sevilla.



en el que el temor a lo desconocido, la sensación de desamparo y a la vez la confianza en los compañeros, la admiración por la seguridad con que se movían en un medio tan hostil, se unían al orgullo de entrar a formar parte del grupo de valientes que trabajaban bajo tierra, de los hombres sin miedo, arriesgados, alegres, a los que había admirado desde niño”. Sin embargo, reconoce que “los primeros tiempos fueron terribles; a la oscuridad y al cansancio se unían las exigencias de los picadores, que veían en la falta de habilidad de los “guajes” (ramperos) novatos una disminución de sus ingresos como trabajadores a destajo, motivo por el que algunos no dudaban en emplear palabras despectivas e insultantes, llegando incluso a la agresión física”. Y lo peor era que “a todo lo anterior había que sumar el hambre” (págs. 47-48).

A comienzos de junio, y con su verdadero nombre pues ya había cumplido los 16 años, ingresó como rampero en la empresa Nespral, siendo destinado al pozo Entrego, en su mismo pueblo, y teniendo como picador a su padre y como vigilante a un tío suyo. “Fue un cambio completo, radical, pues aunque la oscuridad y la dureza del trabajo fueran parecidas a las de la otra mina, el trato no admitía comparación; para mí el tajo fue una prolongación de mi casa, y en él disfrutaba, sudando y cansado, pero disfrutaba de la compañía, la enseñanza y la protección de mi padre” (págs. 49-50).

Estos fueron unos años felices, marcados por la camaradería con su padre en la mina, y la ocupación (e ingreso) adicional que encontró en el equipo de fútbol de su pueblo, El Unión, con el cometido de limpiar y engrasar las botas de los jugadores y otras tareas por el estilo, incluyendo acompañar al equipo en sus desplazamientos llevando el saco con las equipaciones. Años de reforzamiento de viejas amistades, como la de Celestino García, “Leto”, con quien compartió un episodio (una pelea con un picador que había faltado al respecto a sus respectivas madres) que provocó su despido de la empresa Nespral, pasando en septiembre de 1943 a trabajar en el pozo María Luisa, de la Duro-Felguera. Ya sin la protectora presencia de su padre, se desenvolvió bien como rampero “veterano” a sus 17 años, y tuvo ocasión de conocer a “personas interesantísimas, excelentes mineros”, entre los cuales hubo dos que le causaron honda impresión, ambos republicanos que habían sido represaliados: el posteador José Rabanal, que al acabar de guerra había sido condenado a trabajar en las minas de



Portada de su libro *Memorias de un minero*.

Almadén (Ciudad Real),<sup>5</sup> y el picador Luis Zapico García, que “por los mismos o parecidos motivos” había cumplido condena en una colonia penitenciaria que había en el pozo Fondón, en Sama de Langreo.

En esa época ya Martín había ingresado en el Frente de Juventudes de la Falange, pero eso no le impidió establecer amistad con mineros socialistas, con quienes mantenía largas conversaciones que recordaría toda su vida y luego recogería en su libro, donde dejó constancia de su admiración por Luis Zapico, “aquel hombre tranquilo, sereno y sencillo, que un día había salido de su casa para luchar en defensa de cosas e ideales en los que creía, y que después de jugarse la vida y pasar penalidades en los campos de batalla y en las cárceles, regresó a su oficio de minero, sin rencor ni odio en su corazón” (págs. 58-59).

5 La “Real Cárcel de Forzados” de Almadén había sido clausurada en el año 1800, pero volvió a abrirse entre 1940 y 1945, cuando muchos prisioneros republicanos fueron condenados a trabajos forzados en esa mina, igual que en otras de Asturias, León, Teruel y Orense. Ángel Hernández Sobrino, *Los mineros del azogue*, Almadén, 2007, pág. 447. Recientemente Ángel Hernández ha publicado otro interesante y precioso libro titulado *Los esclavos del Rey. Los forzados de Su Majestad en las minas de Almadén, años 1550-1800*.



En el Pozo San Joaquín, Minas de Almadén, 27 de mayo de 2005.

Pronto el “guaje” Martín fue ascendiendo en su profesión, pasando primero a las galerías como ayudante de entibador, para después volver a las “ramplas” pero ya como picador, categoría que significaba “la mayoría de edad” como minero y que le emocionó tanto que recordaría toda su vida la compra del hacho y la pica, sus nuevas herramientas de trabajo. Sin embargo él mismo reconocía que el trabajo de picador no era lo suyo y pasó por la categoría “sin pena ni gloria”. Sufrió algunos accidentes laborales de carácter leve, y a finales de 1946 una enfermedad de la piel que le afectó manos y brazos le obligó a causar baja y luego a cambiar de oficio, pasando a trabajar en el exterior de la mina como ayudante de herrero.

El 30 de marzo de 1947, en el cine Vital de El Entrego, conoció a la que sería su esposa: Carmina Cuetos Antuña, que tenía entonces 19 años, vivía en el barrio de La Vega con su madre, sus tres hermanas, su abuela y una tía materna (su padre, también minero, había fallecido años atrás), y trabajaba en una farmacia. Comienza así un noviazgo en el que el principal problema o “inconveniente” que Martín recordaba era su “completa nulidad para el baile”, definiéndose como

un verdadero “patoso”. Un tiempo feliz ensombrecido por la grave y dolorosa enfermedad de su padre, que murió el 26 de noviembre de ese mismo año 1947. Fue un duro golpe para Martín, muy unido a su padre, de cuyo ejemplo decía haber aprendido las que consideraba sus normas fundamentales de conducta: “ser honrado, decir la verdad, respetar a los mayores, trabajar lo más y mejor posible, y aprender de los mejores” (pág. 119).

Decidido a avanzar profesionalmente, en septiembre de 1948 se matriculó en la Escuela de Vigilantes Mineros de Sama de Langreo, asistiendo a clase los sábados por la tarde y domingos por la mañana. Poco después solicitó volver al interior de la mina, trabajando a destajo como ayudante de barrenista, lo que le proporcionaba un sueldo de unas 600 pesetas al mes y le permitió hacer planes de boda con su novia. Martín y Carmina se casaron el lunes 8 de agosto de 1949 a las siete de la mañana, “y a las ocho y cuarto, después de dejar a la familia tomando un sencillito chocolate en la casa de mi suegra, tomamos el tren para disfrutar un corto viaje de novios en la ciudad de Gijón” (pág. 65).





## SE MATRICULA EN LA ESCUELA DE MIERES

Con el permanente apoyo y estímulo de su esposa, terminó los cursos de Vigilante y, tras superar un examen de cultura general, en octubre de 1950 se matriculó en la Escuela de Facultativos de Minas radicada en Mieres, con el mismo horario de clases, que le permitía simultanear el estudio con el trabajo en la mina, a cambio de no tener ni un solo día de la semana libre. En agosto de 1950 había nacido su primera hija, a la que en los años sucesivos (hasta 1962) seguirían dos hijas más y cuatro hijos: Mary Carmen, Margarita, María Luisa, Tomás Martín, Juan Fernando, José Manuel y Jesús.

También a fines de 1950 dejó su trabajo de ayudante de barrenista para encargarse del “Libro de Croquis” de las explotaciones, lo que le permitió una visión de conjunto de la mina; y desde 1952 fue vigilante de segunda o “de rampla”, ascendiendo dos años después a vigilante de primera. Durante todo ese tiempo pudo contar con la solidaridad de sus compañeros, que le facilitaban su labor y le animaban a continuar con sus estudios. Precisamente estando en la Escuela de Mieres le llegó una oferta de trabajo que cambiaría su vida: le ofrecieron un puesto en una empresa de reciente formación, Obras Subterráneas, especializada en la profundización de pozos y avance de galerías. Tras consultarlo con su esposa y con toda la familia, y ya que suponía mayores oportunidades “para mejorar”, decidió aceptar el ofrecimiento siempre que lo destinaran a algún lugar que dispusiera de Escuela de Minas para que pudiera acabar su carrera. En abril de 1955 se incorporó a su nueva empresa, y su primer destino fue en el pozo San Nicolás, de Mieres, donde trabajó como vigilante hasta el mes de julio, cuando durante los trabajos de revestimiento resultó herido en el pie izquierdo y estuvo dos o tres semanas hospitalizado y luego todo el verano de baja laboral.

**Estando en la Escuela de Mieres le llegó una oferta de trabajo que cambiaría su vida: un puesto en la empresa Obras Subterráneas**

En septiembre de 1955 aprobó la última asignatura que le quedaba del tercer año de su carrera, y preparó su marcha al que sería su siguiente destino: las minas de azogue de Almadén, en Ciudad Real, a cuya Escuela de Facultativos de Minas trasladó su expediente académico. A fines de ese mismo mes viajó solo a Almadén para buscar casa y preparar las cosas para recibir a su familia, que entonces era numerosa: ya habían nacido cuatro hijos y uno estaba en camino. Todos llegaron a comienzos de noviembre, para una estancia de casi once años que dejó una fuerte impronta en la familia, perfectamente integrada en Almadén, donde nacerían tres de sus miembros y donde “don Martín y doña Carmina” (como eran conocidos en el pueblo) tuvieron numerosos amigos y una intensa vida social, en parte canalizada a través de la pertenencia a organizaciones como la Acción Católica y los Cursillos de Cristiandad, de los que Martín llegó a ser profesor o “rollista”.

## UNA BRILLANTE CARRERA PROFESIONAL

Almadén fue también la etapa más brillante de la carrera profesional de Martín Laviana, que en junio de 1956 consiguió por fin su título de Facultativo de Minas y Fábricas Mineralúrgicas y Metalúrgicas, culminando así los estudios que había iniciado en Mieres hacía casi seis años. En las minas de Almadén, primero como ayudante del facultativo Joaquín Aza Vallina y después como facultativo jefe, completó la profundización del pozo San Miguel, avanzó nuevas galerías del pozo San Joaquín, realizó el equipamiento del pozo San Teodoro, etc. Supervisó también los trabajos en otras minas de la zona, en particular en Garlitos (Badajoz), donde el 4 de mayo de 1959 ocurrió un accidente que causó la muerte de tres mineros (entre ellos su amigo íntimo Julián Miranda Alcántara), y tuvo que dirigir durante cinco angustiosos días los trabajos de rescate de los cuerpos.

En ocasiones la empresa lo enviaba también a localidades más lejanas, como Tharsis (Huelva), donde pasó dos meses en 1961 y tuvo así su primer contacto con la minería de pirita, a modo de anticipo del que cinco años después sería su último destino como facultativo. En efecto, en 1966 fue trasladado a Nerva (Huelva), para la profundización del pozo Rotilio. Para entonces ya se le había diagnosticado el primer grado de silicosis -la enfermedad por antonomasia de los mineros asturianos, producida por el efecto nocivo del polvo del carbón en los pulmones-, y

un año después se le detectó el segundo grado, lo que suponía la incapacidad total para trabajar en la mina, aunque consiguió que se le autorizara a seguir en activo, limitando al máximo las estancias en el interior del pozo. Sin embargo, esto sólo sirvió para retrasar un poco la inevitable jubilación, que la empresa le impuso en 1968, dándole un año de sueldo para que en ese tiempo pudiera buscar otro empleo que no fuera en la mina. Martín se encontró con 42 años, una esposa y siete hijos de edades comprendidas entre 18 y 6 años, una incapacidad para desempeñar la que desde los 15 años había sido su única profesión, y una pensión de 4.800 pesetas que no alcanzaba ni siquiera para pagar la hipoteca del piso que recientemente habían adquirido en Sevilla en la idea de que en él residieran la madre y los hijos durante el curso escolar, pues en Nerva sólo se podía estudiar lo que entonces se llamaba Bachillerato Elemental (hasta los 14 años) y los internados eran excesivamente costosos.

Así, casi por azar, en septiembre de 1968 todos se quedaron a vivir en Sevilla. Fueron años muy difíciles y de muchas penurias económicas, en los que cada miembro de la familia cumplió su cometido: la madre administrando con mano mágica los escasos recursos, los hijos estudiando mucho para conseguir becas, y el padre buscando trabajo donde lo hubiera. Esta búsqueda lo llevó en 1969 a Asturias, donde estuvo unos meses en las obras de abastecimiento de agua a Frieres, Antuña y Tuilla; luego pasó casi un año en una cantera en Vilanova i la Geltrú (Barcelona), y acabó trabajando a comisión como representante de algunas empresas vascas que fabricaban productos utilizados en las minas, como aceites y grasas lubricantes, material de aireación, etc. Durante muchos años simultaneó los agotadores viajes con otros trabajos esporádicos que le surgían, como la dirección técnica de una cantera de yeso,

## Martín tuvo ocasión de tener siete hijos, plantar más de un árbol y escribir un libro: sus memorias

la elaboración de proyectos y estudios para la empresa Excavaciones y Montajes Industriales (EMI), de su amigo Manuel Corteguera Bode. Y también gracias a otro amigo asturiano, Fernando Fernández Gutiérrez, hizo el curso de instructor de Seguridad e Higiene en el Trabajo, que le permitió después impartir cursos de formación en empresas de varias provincias andaluzas, así como visitas de valoración de seguridad, informes de accidentes de trabajo, etc., en una labor que además de proporcionarle algunos ingresos le resultó muy gratificante.

### CRECE LA FAMILIA Y LLEGA LA JUBILACIÓN

Mientras tanto, hijas e hijos iban acabando sus carreras, encontrando trabajo y casándose, con lo que los problemas económicos de la familia iban suavizándose. La cuantía de la pensión había aumentado un poco a partir de 1977, cuando se le diagnosticó el tercer grado de silicosis, pero “seguía siendo por completo insuficiente para vivir”. La solución va a llegar desde Asturias. En 1988 y gracias al consejo de su amigo José Herrero Carballo, reclamó la mejora de su pensión acogiéndose al Régimen Especial de la Minería del Carbón, y finalmente en diciembre de 1992 se estimó su demanda, “reconociendo que tenía derecho a una pensión más de cinco veces superior a la que venía percibiendo, y dando lugar así a que desaparecieran definitivamente todas mis dificultades económicas” (pág. 116). En adelante, en lugar de necesitar ayuda, Martín y Carmina pudieron ayudar ellos a los hijos que lo necesitaban y pudieron “vivir sin preocupaciones económicas y realizar algunos viajes”, como el que en julio de 1994 hicieron a Brasil, para conocer el país y visitar a familiares de Carmina, que también son “mineiros” pero sólo porque residen en el estado de Minas Gerais.

A comienzos de 1996 Martín acabó así sus *Memorias de un minero*:

“En alguna parte leí o escuché que todo hombre debería tener un hijo, plantar un árbol y escribir un libro. Pues bien, yo tengo siete hijos, he plantado más de un árbol y ¿se puede considerar esto como un libro? Si es así, ya he cumplido y espero tranquilamente, al lado de quien más quiero, cumplir también las bodas de oro y alcanzar la categoría de bisabuelo” (pág. 120).

Pero... el 13 de diciembre de 1996 murió su esposa, dejándole, “como a toda la familia, completamente destro-





En las Minas de Almadén, con algunos hijos y nietos y con Ángel Hernández Sobrino. 27 de mayo de 2005.

zado” (pág. 121). Carmina había sido su compañera durante 49 años, y su ausencia marcaría en adelante su vida.

En esta nueva etapa, tan distinta a como la imaginó, Martín logrará sobrevivir y hasta vivir muy buenos momentos gracias en parte a su familia, en especial sus hijos, nietos y bisnietos, y gracias también a una nueva actividad que inició en 1999, cuando se matriculó en el Aula de la Experiencia de la Universidad de Sevilla. Las clases comenzaban el 15 de febrero de ese año, y el día anterior escribió un texto titulado *Mi largo camino a la Universidad* en el que dejaba expresiva constancia de la ilusión con que esperaba ese momento, que de algún modo significaba para él la culminación de un deseo que albergaba desde 1935, cuando soñaba con llegar a ser médico pero tuvo que conformarse con estudiar en la “Universidad de la Vida”, haciendo las prácticas en la “Facultad de Picaresca, Mendicidad y Supervivencia”, luego en la de “Agricultura y Ganadería” y por último en la de “Ferias y Fiestas”, como decía recordando sus actividades entre los diez y los quince años.

Tanto disfrutó su faceta de universitario que una vez terminados los tres cursos del programa y obtenido el correspondiente diploma, siguió vinculado a la Universidad matriculándose durante varios años -hasta que su salud empeoró- como alumno oyente en diversas asignaturas de

la Licenciatura en Psicología, por la que llegó a sentir un interés creciente que se evidenciaba en sus conversaciones. Como universitario vivió muchas experiencias interesantes y sobre todo pudo establecer nuevas amistades con sus compañeros, formando un simpático grupo llamado “Los Chachis”, con quienes compartió encuentros, visitas culturales y viajes dentro y fuera de España. Hasta que la enfermedad minó sus fuerzas, las actividades relacionadas con la Universidad y con sus compañeros “de estudios” fueron parte importante de su vida social.

### UN ASTURIANO EN SEVILLA

Otra parte era la relacionada con el Centro Asturiano. Martín había salido de Asturias con 29 años, en 1955, y ya sólo volvería de vacaciones y en algunas estancias breves. Sin embargo para él la asturianía siempre fue un modo de ser y un modo de ver la vida. En el año 2003, él mismo contaba su añoranza de Asturias en el texto “Desde Sevilla” mencionado al principio:

“En aquellos tiempos, con la formación del Centro Asturiano en Sevilla, el contacto con muchos asturianos radicados en esta ciudad y la hermosa tarea de dar a conocer la ‘tierrina’, salieron a flote los sentimientos de asturianía, mitigando un poco la



En su casa, tomando el que sería su último culín de sidra. 26 de diciembre de 2009.

añoranza, y recibí además la gran alegría de comprobar cómo en Andalucía y concretamente en Sevilla se conoce y se quiere a Asturias. Con frecuencia traté con hombres que al conocer mi condición de asturiano me decían: 'Yo conocí a un asturiano en la *mili*, qué tío más campechano y qué gran corazón tenía'; otros señalaban la 'gran nobleza y compañerismo de su amigo asturiano'. Yo, escuchando estos y otros comentarios me sentía feliz y orgulloso de pertenecer a la tierra 'cuna de la Reconquista'."

Este sentimiento le llevó a participar activamente en la creación del Centro Asturiano en Sevilla, del que fue socio fundador y en ocasiones miembro del equipo directivo, incluso fue presidente durante un corto y difícil período de tiempo, cuando por problemas económicos el Centro estuvo al borde de la desaparición. Creo que después no quiso ocupar más cargos directivos, pero siempre fue un socio entusiasta que asistía con regularidad a las actividades que se organizaban, contagiando su entusiasmo a varios de sus hijos, que también asistimos muchas veces a las fiestas del "Bollu preñau" en la Glorieta de Covadonga

del Parque María Luisa, a las actuaciones en la caseta de la feria, a conferencias en la sede social del Centro y a actividades en otros lugares, entre ellos un restaurante a las afueras de Tomares. El domingo 29 de septiembre de 1996 tuve la alegría de compartir con él y con mi madre un almuerzo organizado por el Centro Asturiano de Sevilla (en el entonces llamado Hotel Príncipe de Asturias, en la Isla de la Cartuja), en el transcurso del cual se le impuso la Insignia de Oro del Centro, que en adelante mi padre siempre lució en su chaqueta.

Otra fuente de alegrías para Martín Laviana estuvo siempre en Almadén y en sus compañeros del Colegio de Ingeniería Técnica de Minas, del que se enorgullecía de ser uno de los socios más antiguos y en muchas de cuyas actividades participó, aunque en los últimos años su estado de salud le impidió asistir a varios de los actos a los que se le invitaba, entre ellos el homenaje con motivo de sus 50 años de pertenencia al Colegio, en diciembre de 2008. Pero sí tuvo ocasión de conocer, de la mano de Ángel Hernández Sobrino, el espléndido Parque Minero de Almadén, que visitó a fines de mayo de 2005 con varios de sus hijos y nietos,



en un recorrido emocionante e inolvidable que incluyó la bajada a la mina y la subida al castillete del Pozo San Joaquín. Poco después, y gracias también a Ángel Hernández, tuvo la satisfacción de verse incluido en la excelente exposición *Los legados de la tierra. La memoria del trabajo: los mineros de Almadén*, celebrada en el Real Hospital de Mineros de Almadén entre el 4 de diciembre de 2006 y el 4 de enero de 2007, exposición que él no pudo conocer más que a través de los folletos y el catálogo, que le proporcionaron la alegría adicional de ver reproducida en ellos una preciosa foto de 1959, con una historia relevante para las Minas de Almadén, que él mismo contaba así:

“La fotografía de la mula ‘Pastora’, a la que estoy acariciando en la planta 17 del Pozo San Joaquín, tiene la siguiente historia: para la excavación de las galerías y demás labores previstas en dicha planta no bastaban los vagones que se utilizaban en la mina para el transporte de mineral. Por este motivo se instaló en el Pozo San Joaquín un guionaje de cables de acero y jaulas de extracción y se emplearon vagones de cerca de un metro cúbico de capacidad. Teniendo en cuenta que los frentes progresaban diariamente, el movimiento de estos vagones era muy penoso y antieconómico. Debido a esto, a comienzos de 1959, el entonces Jefe de la Obra, D. Joaquín Aza Vallina, compró esta mula a un tabernero de Almadén llamado o apodado Mamerto, convirtiendo al animal en ‘minero a la fuerza’; la mula fue bajada a la planta 17 con los ojos tapados y debidamente sujeta en el interior de la jaula, operación que, a pesar de todas las precauciones, fue larga y laboriosa, vigilada por mí desde la parte superior de la jaula. Con objeto de evitar estas operaciones todos los días, se acondicionó una cuadra en la excavación, ya revestida de hormigón, de la sala de bombas de la misma planta 17, a la que diariamente se bajaba comida y agua. Con el tiempo la comenzamos a sacar a la calle todos los sábados, permaneciendo hasta el lunes siguiente en la cuadra preparada en el exterior, y al acostumbrarse a salir y entrar en la jaula, llegamos a sacarla al exterior todos los días. Llegamos a tomar cariño a la mula ‘Pastora’ y esta fotografía que te envío es un agradable recuerdo, que conservo en mi domicilio.

La decisión de emplear una mula en el interior de la mina fue censurada en la localidad, por desconocer que en la minería del carbón se utilizaban es-

## La decisión de emplear una mula en el interior de la mina fue censurada en la localidad, por desconocer que en la minería del carbón se utilizaban estos animales para el arrastre de los vagones.

tos animales para el arrastre de los vagones en las galerías por las que no podían circular locomotoras eléctricas ni con motor diesel. Todo lo anteriormente escrito espero que te sirva para argumentar esta foto, si es que la consideras digna de entrar en el archivo de la Fundación. La ‘Pastora’ fue la primera mula que trabajó en el interior de Minas de Almadén [en el siglo XX].<sup>6</sup>

Hasta aquí el breve resumen, apenas un esbozo, de la vida de Martín Laviana Antuña, la vida de un minero asturiano que fue “una buena persona, un buen cristiano y un caballero”, como lo definió un sacerdote en su despedida. En marzo de 1997 sus siete hijos quisimos elegir las siete palabras que mejor definían a nuestro padre y elegimos éstas: *valor, coraje, fuerza, honradez, inteligencia, lealtad, generosidad*. Así lo escribimos en el prólogo a su libro, añadiendo:

“Todas ellas se resumen en una sola: amor. Y eso es lo que hay en esta vida, en estas *Memorias de un minero*: mucho amor a la familia, a los amigos, a la tierra, al trabajo, a la mina, y mucho amor propio (en el buen sentido de la palabra, como diría un poeta bueno), mucho afán de superación, deseo de aprender, amor al libro, a la cultura” (pág. 6).

Un hombre así nunca se va del todo. La muerte física le llegó el 15 de febrero de 2010 cuando su corazón dejó de latir, pero la otra muerte, la del olvido, no le llegará, al menos no mientras vivamos quienes le quisimos, y le queremos. ■

<sup>6</sup> Carta de Martín Laviana a Ángel Hernández Sobrino, Sevilla, 27 de junio de 2005; también alude a ese episodio en sus *Memorias*, págs. 79-80. Ángel Hernández publicó esa foto en el catálogo de la mencionada exposición (págs. 76-77), y también en su libro *Los mineros del azogue*, cit., pág. 322.

# Colegio de Cataluña y Baleares



## Ciclo de Jornadas de Explosivos

El Colegio de Ingeniero Técnicos de Minas de Cataluña y Baleares durante los años 2010 y 2011, ha dado un impulso en el reciclaje de sus colegiados en un tema tan importante para nosotros como es el tema de los explosivos, por este motivo ha organizado dentro de su ámbito colegial una jornada de explosivos en Mallorca y dos ciclos de jornadas, una en Barcelona y otra en Tarragona, a fin de facilitar a gran número de sus colegiados la asistencia a estas jornadas.

El ciclo impartido en Barcelona estuvo compuesto de 5 jornadas. La presentación e inauguración corrió a cargo del decano, Jacinto López. Las cuatro primeras jornadas se celebraron en la sala polivalente "SALAMINA".

En la primera jornada se trataron los siguientes temas: Tramitación del uso de explosivo y minipolv, contenido mínimo de un proyecto de voladura, explosivos comerciales, estudio de corrientes erráticas, y control de vibración e interpretación de las gráficas del registro de vibraciones.

La segunda jornada se centro en los siguientes puntos: Voladuras a cielo abierto para la extracción de áridos, voladuras en túnel y voladuras en obra pública.

En la tercera se desarrollaron las siguientes ponencias: Voladuras para demoliciones y voladuras submarinas.

La cuarta jornada se dedicó a los siguientes temas: Filmación de voladuras, aplicaciones informáticas para el diseño de voladuras e investigación de accidentes ocurridos con explosivos.

Por último, la quinta jornada se realizó con formato de mesa redonda centrada sobre el tema "El depósito, transporte y consumo de explosivos". El lugar de celebración fue en el salón de actos del Cuartel de la Guardia Civil de Sant Andreu de la Barca. Esta mesa redonda estuvo formada por: el representante del Área Funcional de Industria, representante de la Subdirección de Energía y Minas, representantes de la Guardia Civil, representante del Colegio de Ingenieros Técnicos de Minas de Cataluña y Baleares, representante de empresa de transporte de explosivo y representante de una empresa de suministro de explosivos.

El ciclo impartido en Tarragona constó de tres jornadas y en Mallorca se desarrolló una única jornada.

En la totalidad de estas jornadas participaron un total de 260 asistentes.



## Otras actividades

Asimismo, durante el año también se han realizado otras acciones formativas como una Jornada sobre "Profesionales Liberales" en donde se informó a todos los colegiados de la tarjeta gratuita de servicios colegiales y sobre otras cuestiones jurídicas y legales para los que quieran ejercer la profesión libre.

También se han realizado otras jornadas de interés, como la realizada en octubre de 2011, sobre gvSIG, en donde se dio a conocer las utilidades de este sistema de información geográfica.

Por último, cabe destacar el Curso de formación preventiva para técnicos titulados de actividades extractivas de exterior, que tuvo lugar entre los meses de marzo y abril del 2011. ■



# Colegio de Córdoba

## V Concurso Graffiti de las Minas

Por primera vez, el V Concurso de Graffiti de las Minas se abrió a toda la comarca y se celebró en un lugar muy minero: la aldea de "El Porvenir de la Industria" el día 15 de mayo de 2010.

La temática, de motivo minero, geológico o relativo al patrimonio industrial y minero fue el hilo conductor para estos artistas, que pudieron contemplar a su alrededor minas a cielo abierto, escombreras y castilletes mineros. El certamen se acompañó de un curso-exhibición de skate y un concierto de hip hop a cargo del grupo Tejido de Pana en el Salón de Usos Múltiples de la Aldea que estuvo todo el día muy concurrida al coincidir ese día la celebración de la romería.

En cuanto al concurso, José Manuel Franco, viejo conocido ganador de mu-



chas ediciones participó como Jurado e hizo un graffiti de exhibición que el Colegio obsequió al Ayuntamiento de Fuente Obejuna quien, en todo momento, se entusiasmó con la idea y colaboro con la organización.

Los premios fueron los siguientes:  
Primer premio: Eduardo Luque Puertas



Segundo premio: Frank Tomé Burgos  
Tercer premio: Inmaculada Jiménez Reyes ■

## IV Concurso de Pintura Rápida "Valle del Guadiato"

Se ha desarrollado, por primera vez, un concurso de pintura rápida en una mina del Guadiato, en concreto en la Corta Ballesta, última en actividad. Los concursantes visitaron las distintas ubicaciones que habían preparado los responsables de ENCASUR, la empresa minera explotadora a quien agradecemos enormemente su colaboración.

Los pintores casi no creían que el pintor Antonio López estuviera en la mina. Acompañado por nuestro compañero Manuel Ruiz, quien logró, gracias a su relación personal con el afamado pintor que fuera el presidente del Jurado del concurso, visitó a todos y cada uno de los pintores y conversó con ellos, interesándose por sus técnicas y trabajos. Los pintores se hicieron numerosas fotografías con Antonio López.

En la visita estuvo enseñando la mina al pintor el director de Planificación Mine-

ra de ENDESA, Miguel Colomo, que también formó parte del Jurado, el director de los Centros Mineros de Peñarroya y Puertollano de ENCASUR, la Decana del Colegio, la Directora de la Estación de Autobuses de Córdoba y los compañeros Manuel Muñoz y Vicente Cano.

Una vez finalizados los trabajos los pintores trasladaron sus obras a la Estación de Autobuses de Córdoba donde tuvo lugar el fallo del Jurado y la entrega de premios.

Las obras se quedarían allí expuestas, formando parte de la exposición MINERARTE hasta el 3 de diciembre de 2010, fecha de finalización de la exposición, día en que las obras ganadoras serían trasladadas al Colegio y el resto recogidas por sus autores.

Los artistas premiados fueron los siguientes:  
Jaime Jurado Cordón: 1<sup>er</sup> Premio Acuarela.



Federico Plasencia Chacón: 2<sup>o</sup> Premio Acuarela. Angel Peñuela Navarrete: 1<sup>er</sup> Premio Oleo. Fco. Javier Corral Gutierrez: 2<sup>o</sup> Premio Oleo. Juan Carlos Porras Funes: 3<sup>er</sup> Premio Oleo. Jose Miguel Corral Marín y M<sup>a</sup> Mercedes Rodríguez Mellado: Premio Carboncillo Compartido. ■

# Colegio de Madrid

El Colegio de Madrid, durante el año 2011, ha realizado un programa amplio formativo, ofreciendo a los ingenieros técnicos diversos cursos y jornadas, que a continuación resumimos.

– SONDEOS GEOTÉRMICOS. Aplicación informática EED (Earth Energy Designer). Enero 2011

– JORNADA EFECTOS MEDIOAMBIENTALES DE LAS VOLADURAS: VIBRACIONES Y ONDA AÉREA. Marzo y Abril 2011.

– CURSO DE FORMACION PREVENTIVA PARA TECNICOS TITULADOS DE ACTIVIDADES EXTRACTIVAS DE EXTERIOR SEGÚN LA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA 2003-1-10. Mayo 2011.

– JORNADA SOBRE AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA INGENIERÍA DE TÚNELES. Junio 2011.

– JORNADA TÉCNICA SOBRE SÍLICE, RUIDO Y VIBRACIONES. DEPARTAMENTO TÉCNICO DEL I.N. SILICOSIS. Junio 2011.

– JORNADA DE VOLADURAS SUBMARINAS EN EL CANAL DE PANAMÁ. Junio 2011.

– CONTROL DE VIBRACIONES EN VOLADURAS Y DESTRUCCION DE EXPLOSIVOS. Julio 2011. ■





Para el reconocimiento de Cualificaciones Profesionales que está siendo revisada por la Comisión Europea

## Unión Profesional ha presentado sus aportaciones a la Directiva 2005/36

*Con la publicación del Libro Verde sobre la modernización de la Directiva 2005/36 de reconocimiento de cualificaciones profesionales el pasado 22 de junio, la Comisión Europea (CE) abrió una nueva consulta pública sobre la evaluación del texto legislativo europeo, cuyo plazo de presentación de aportaciones venció el 20 de septiembre.*

Como ya hiciera en la primera consulta, efectuada en los primeros meses del año, Unión Profesional, asociación que agrupa a las profesiones españolas –entre ellas, a los Ingenieros Técnicos de Minas–, ha remitido sus aportaciones relativas a lo planteado en el Libro Verde. En el documento enviado a la CE, según los plazos establecidos, la institución recoge las inquietudes de todos los sectores profesionales a los que representa como son el jurídico, el sanitario, el económico, el científico, el técnico y la arquitectura, y el social.

Desde el punto de vista de las profesiones españolas, la agilización y simplificación de los trámites y requisitos que pretende la modernización de la Directiva debe compatibilizarse con el más alto nivel de calidad de la formación y cualificaciones profesionales objeto de reconocimiento empleando todas las posibilidades tecnológicas y de conocimiento disponibles. Todo ello, en beneficio del interés general y la protección de los derechos de usuarios, clientes y ciudadanos.

Además de su apuesta por el Desarrollo Profesional Continuo, la Ética y Deontología Profesional y los Sistemas de Información y Comunicación, como elementos



de especial relevancia en lo que al reconocimiento de cualificaciones profesionales se refiere, Unión Profesional ha hecho hincapié en la necesidad de que, en congruencia con la Directiva de Servicios, la Directiva de Reconocimiento de Cualificaciones prevea adecuadamente la consideración de las **organizaciones profesionales como autoridades competentes** en materia de cualificaciones.

En relación con las **tarjetas profesionales europeas**, se considera que estas deben constituir un valor añadido tanto para los profesionales como para los ciudadanos, clientes, consumidores y usuarios de servicios. A través del aprovechamiento de las tecnologías de comunicación, se podría fomentar la transparencia

e incrementar la confianza en los sistemas. En la aplicación del Sistema General de Reconocimiento, la tarjeta profesional aportaría un beneficio fundamental a la hora de conseguir una más estrecha cooperación entre las autoridades competentes de los Estados miembro.

Por otro lado, Unión Profesional considera que la creación de **plataformas comunes** (entendidas estas como el conjunto de criterios de cualificaciones profesionales idóneos para paliar las diferencias sustanciales que se hayan observado entre los requisitos de formación existentes en los distintos Estados miembro) pueden constituir bases apropiadas para que el reconocimiento de cualificaciones realizado actualmente bajo el sistema general, pueda aproximarse al sistema de reconocimiento automático previsto para determinadas profesiones, objetivo buscado desde la CE. Según consta en el documento de aportaciones, las profesiones españolas estiman que «debe propiciarse y fomentarse por las instituciones europeas el desarrollo de estas plataformas, con el objetivo de avanzar hacia el concepto de ‘profesiones europeas’ para la efectiva movilidad profesional».

El **acceso a la información** también ha sido uno de los puntos centrales de las aportaciones realizadas por Unión Profesional. La nueva versión de la Directiva debe hacer frente a esta barrera a la movilidad haciendo uso de las facilidades que hoy día nos ofrecen las nuevas tecnologías. Se propone disponer de puntos de acceso centrales en línea en todos los Estados miembro, que podrían tener una estructura de funcionamiento igual que el de la ventana única ya prevista en la Directiva de Servicios, e implantada en gran número de países. ■

## Manual sobre Túneles y Obras Subterráneas

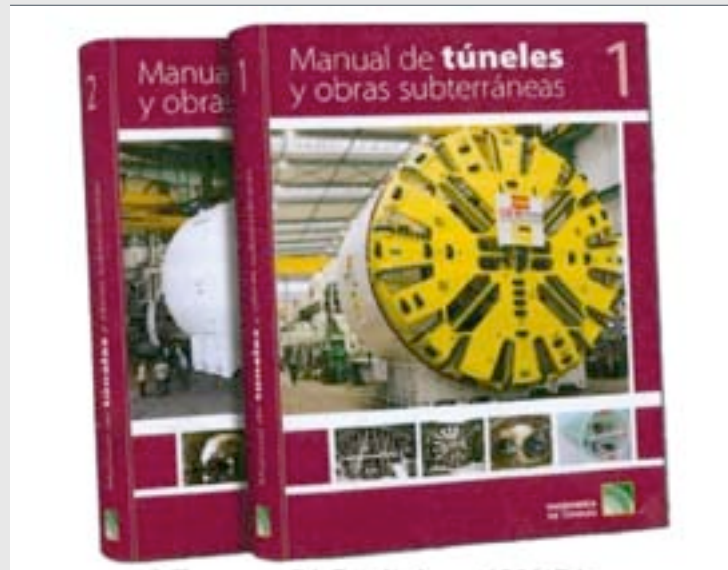
Edita: E.T.S.I. DE MINAS – UPM  
 U.D. Dibujo y Proyectos de Ingeniería  
 C/ Alenza 4, Despacho 224 – Madrid  
 Tel./Fax: 913 367 006  
 e-mail: proyectos.minas@upm.es

2 Tomos (54 capítulos y 1.800 páginas)  
 Precio: 150 euros (IVA no incluido)

**F**ue hace 15 años cuando un grupo de profesionales relacionados con la Ingeniería de Túneles decidieron editar un Manual sobre Túneles y Obras Subterráneas, que tuvo una magnífica aceptación, reimprimiéndose en varias ocasiones.

En aquel momento los responsables de ese proyecto ya contemplaban un triple fin, que prácticamente ha permanecido inalterable durante todo este tiempo: por un lado, plasmar el auge que este tipo de obras había tomado en los últimos años en España, donde los túneles están presentes en todos los grandes proyectos de infraestructura viaria –carreteras y ferrocarril–, debido a que los condicionantes orográficos, e incluso medioambientales, desaconsejan en algunos tramos su ejecución a cielo abierto, y también en las grandes ciudades, donde el transporte público subterráneo –Metro– se configura como la alternativa más eficaz y económica a largo plazo para resolver los problemas de congestión; todo ello sin olvidar un vasto conjunto de obras urbanas de todo tipo, como son las redes de saneamiento, conducciones de agua y energía, etc.

En segundo lugar, pretendían demostrar la viabilidad de una obra ambiciosa, compleja e interdisciplinar, como lo son hoy en día la mayoría de los proyectos de ingeniería, con la participación de especialistas en diferentes ramas de la Ingeniería y Ciencias de la Tierra. Los obstáculos que hubo que salvar en la primera edición –fruto de algunas



posturas anacrónicas y corporativistas– hay que reconocer que no han aflorado en esta ocasión.

Finalmente, sigue siendo fin de esta obra el que constituya un libro de texto en las Escuelas de Ingeniería, tanto de España como de Iberoamérica y, al mismo tiempo, un nexo de unión y medio de actualización de todos los profesionales que desarrollan su actividad en el sector de las obras subterráneas.

La evolución que han sufrido en los últimos tiempos las técnicas de reconocimiento del terreno, los códigos de modelización que permiten evaluar los diferentes diseños y predecir los comportamientos, así como dimensionar los sostenimientos para garantizar la estabilidad de los huecos, junto con el propio desarrollo de la maquinaria de excavación, con un grado de mecanización creciente, exigía una puesta al día

y revisión de las mismas, recogiendo no sólo el estado del arte actual sino incluso las tendencias de futuro. Esa necesidad, que fue patente en la primera edición al no existir prácticamente textos en español, ha estado también presente en esta nueva versión.

Este Manual que en el 2011 se ha vuelto a reeditar sigue pretendiendo recoger de una manera global, sistemática y en detalle toda la temática relacionada con los túneles y otras obras subterráneas. El número de capítulos se ha ampliado notablemente, pasando de los 32 originales a los 54 actuales, así como el número de autores especialistas, que ha pasado de los 26 en la primera edición a más de 50 en la actual. Obviamente el contenido se ha extendido en el número de páginas, que ha obligado a publicar el Manual en dos tomos. ■





**Consejo General de los Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos de Minas**

C/ D. Ramón de la Cruz, 88 oficina 55  
28006 Madrid

Tel: 91 402 50 25

Fax: 91 402 50 63

[www.consejominas.org](http://www.consejominas.org)

[consejominas@consejominas.org](mailto:consejominas@consejominas.org)



## Shaping the world you live in

La amplia gama de productos explosivos de MAXAM y el experto asesoramiento técnico de nuestros profesionales permiten a canteras y explotaciones mineras obtener los mejores resultados económicos y en términos de seguridad en la extracción de los materiales que, posteriormente transformados, forman parte de nuestra vida.

Desde su fundación por Alfred Nobel, hace casi 140 años, MAXAM está en el origen y el bienestar del mundo que nos rodea, colaborando con su desarrollo sostenible para conseguir el progreso y crecimiento de todos los que vivimos en él.

**MAXAM**

Civil Explosives • Outdoors • Defence • Chem • Energy

Avda. del Partenón, 16. Campo de las Naciones 28042 Madrid  
Tel.: (34) 91 722 01 00. e-mail: [general@maxam.net](mailto:general@maxam.net). [www.maxam.net](http://www.maxam.net)