# Aragonito®

BOLETÍN INFORMATIVO COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS Y GRADOS EN MINAS Y ENERGÍA DE ARAGÓN

AÑO 20 NÚMERO 31 MAYO 2021

## La restauración geomorfológica,
### base para una restauración ecológica exitosa

Creación de un contenedor para residuos de baja y media actividad...

Aplicación del método sísmico MASW... en Zona Urbana (II)

Drenaje de taludes en explotaciones de lignito a Cielo Abierto

Entrevista: Comisionado del Gobierno de Aragón para la Agenda 2030

Uso de drones para labores topográficas

Portada:
Fotos cedidas por J. M. Nicolau

**ARAGONITO N.º 31**
Año 20, mayo 2021
Revista del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía de Aragón

**EDITA**
Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía de Aragón

**CONSEJO DE REDACCIÓN**
Emilio Querol Monfil
Juan M. Romero Morales
Modesto Úbeda Rivera

**COLABORADORES**
M.ª Remedios Gil Ortega (I.T.M.)
Juan Fco. Navarro López ( G.I.R.M. y E.)
José Manuel Nicolau (Ldo. Ecología)
Celestino Sanz Ortega (I.T.M.)
Fermín Serrano Sanz (Ing. Informático)
Alfredo Serreta Oliván (Profesor Unizar)

**REALIZACIÓN, PRODUCCIÓN y DISTRIBUCIÓN**
Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía de Aragón,
Paseo M.ª Agustín, 4-6, oficina 14,
Teléfono 976 442 400
50004 Zaragoza

Servicios administrativos del Colegio:
Sra. Celina Jiménez

Página Web: www.coitma.com
E-mail: coitma@coitma.com

**DISEÑO Y MAQUETACIÓN**
LITTERA
preimpresion@littera2.com

ARAGONITO es propiedad del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía de Aragón.
Los artículos, informaciones y reportajes firmados expresan la opinión de sus autores, con las que ARAGONITO no se identifica necesariamente.

**Depósito Legal**
HU-15/2001

# Sumario

Editorial ..... 3

Información Colegial ..... 4

Algunas noticias del sector ..... 9

Creación de un contenedor de hormigón, para residuos de baja y media actividad, en el Centro de almacenamiento de El Cabril (Hornachuelos, Córdoba) ..... 13

Nuestros compañeros: Celestino Sanz Ortega ..... 17

Aplicación del método sísmico MASW para el Cálculo de Escenarios de Movimientos Sísmicos en Zona Urbana (II) ... 19

Drenaje de taludes en explotaciones de lignito negro a Cielo Abierto ..... 24

Legislación ..... 28

Otra aproximación a la restauración de canteras: La restauración geomorfológica, como base para una restauración ecológica exitosa ..... 29

Entrevista con Fermín Serrano Sanz (Comisionado del Gobierno de Aragón para la Agenda 2030) ..... 32

Colaboración: Uso de Drones (UAV) para labores topográficas ..... 35

# "Aragonito" cumple su vigésimo aniversario

Desde nuestra primera portada de la revista "Aragonito" allá por el año 2001, hasta esta última, son treinta y un números de ilusión, de profesionalidad y por supuesto también de mucho esfuerzo y muchas horas dedicadas a nuestro sueño.

Han pasado 20 años. Años en los que la revista ha cambiado al igual que ha ido cambiando la profesión, pero siempre intentando que la revista fuera un fiel espejo de lo que refleja la evolución de nuestra profesión. Igualmente durante estos veinte años, todos hemos cambiado, la redacción, los colaboradores, los patrocinadores y por supuesto, los colegiados; éramos entonces 150 y en la actualidad somos 115.

Si por curiosidad echáis un vistazo a las revistas que se han ido publicando por parte de nuestro Colegio a lo largo de estos 20 años (están todas en la web) podréis observar que en todas ellas hay un espíritu latente: el de **información**, el de **superación** y el de mayor **integración de la profesión** en la vida colegial. La mejor divulgación es aquella que expone de manera sucinta las ideas, los trabajos técnicos y los artículos que publicamos.

***Es justo reconocer y agradecer el esfuerzo y la ilusión aportada por colaboradores y colegiados***

Cada año presentamos nuevos colaboradores que aportan excelentes escritos, todos relacionados con nuestra profesión y nuestro sector, y es justo reconocer que sin ellos, sin estos colaboradores, nuestra revista estaría vacía de sentido. Por ello, cada uno de nuestros lectores debe de ser consciente de la importancia de colaborar con sus escritos, con sus ideas, para que "Aragonito" pueda cumplir otros veinte años más.

Muchos de vosotros sabéis que fuimos pioneros en la implantación de nuestra revista, como una revista de la profesión técnica minera; y que aún formamos parte de ella. Ésta se ha convertido en una manifestación muy plausible por parte de los colegiados, lectores simpatizantes, entrevistados y colaboradores. Al mirar atrás, recordamos las dudas en los inicios de esta aventura, qué escribir, sobre qué, qué hacer, qué contar, … y ahí es donde siempre ha habido alguien, un colegiado, un colaborador escribiendo un artículo, aportando ideas. Es justo reconocer y agradecer su esfuerzo, su apoyo, su ilusión aportada, al igual que a todos los equipos de redacción por poder seguir adelante y sustentar el seguimiento de esta nuestra revista. Les felicitamos por su esfuerzo y por poder divulgar su actividad y contribuir con ella al conocimiento en general y, de una manera muy influyente, al prestigio de la publicación y de nuestra profesión. Igualmente, desde la redacción, queremos manifestar nuestro agradecimiento a las empresas que, publicitándose, han colaborado económicamente con el proyecto y por tanto también son responsables de este aniversario.

En estos 20 años, por desgracia, hemos dicho "adiós o hasta luego" a varios compañeros a los que siempre recordaremos, que siempre apoyaron esta ilusión, no como una idea, sino como un proyecto colegial de promoción de la profesión; sirva este aniversario también, como un reconocimiento profundo a todos ellos. "Aragonito" siempre será parte de ellos.

Hemos dicho "hasta pronto" a colegiados, en las entrevistas en las que han redactado sus experiencias, y hemos festejado y celebrado, a falta del año 2020 por motivo de la COVID-19, año tras año, nuestra **"Patrona"**, haciendo entrega de Placas a colegiados por sus 25 aniversario de colegiación, entregando obsequios a colaboradores por sus artículos y, para culminar, celebrando ese **"Almuerzo minero"** de fraternización con el que decimos adiós un año más a nuestra Patrona y siempre pensando en el próximo. Todo, y año tras año, desde hace ya 20, ha quedado grabado en la revista, con fotografías, y también en el recuerdo. Resulta muy emotivo revisar estas imágenes, y ver que aunque el tiempo pasa, siempre quedan las personas, los recuerdos, los sentimientos.

Por ello, os invitamos desde la redacción de "Aragonito" a participar para poder crear una nueva sección que denominaremos **"La Memoria de la Mina"**. Para ello necesitaríamos recibir relatos sobre episodios que recordéis haber vivido en la mina, de tal forma que esta revista recoja esas historias de nuestra profesión, de nuestros centros mineros, de nuestra minería, para que nunca se pierdan en la oscuridad de la galería, en el cierre de la mina. Aunque no os atreváis a escribir, no os preocupéis, porque desde la redacción de la revista intentaremos poner las palabras a vuestros recuerdos.

Igualmente, desde la redacción de "Aragonito" nos gustaría que nos dejarais escanear esas fotos antiguas de las minas en donde se desarrollaba vuestro trabajo, para poder ir creando un archivo digital de estos recuerdos y de estas imágenes que siempre formarán parte de nuestra-vuestra historia.

Con la creación de nuestra revista ya emprendimos un camino en el que, con este nuevo número, volvemos a dar un paso más. Os invitamos a leerla y os animamos a que nos remitáis propuestas y artículos para que ésta pueda continuar por muchos años más reflejando a nuestra profesión.

**"Siempre se llega alguna parte si se camina lo bastante"**

**(Lewis Carroll)**

EMILIO QUEROL MONFIL
Decano-Presidente

# Información Colegial

## Altas y bajas en el Colegio

Desde la aparición del número 30 de este Boletín Informativo hasta el cierre del actual se han producido los siguientes movimientos en el censo de colegiados:

| ALTAS | BAJAS |
|---|---|
| *440. Pablo Alcaraz Tricio (08-05-2020)* | *372. José Manuel Enríquez Álvarez (14-09-2020)* |
| *441. Inmaculada García Portugalete (25-03-2021)* | *417. Romualdo Almansa Rodríguez (21-10-2020)* |
| *442. Miguel Lorenzo Piñero (26-04-2021)* | *264. Carlos Holgado Gil (17-02-2021)* † |
| | *189. Simón Douglas Tyrrell Fraser (07-03-2021)* † |
| | *260. Antonio Muñoz Medina (09-03-2021)* † |

## Reunión Informativa cursos ANEFA

El pasado 25 de enero nuestro Decano convoca reunión informativa, online, para celebrarla el día 26 del mismo mes previa inscripción. **Tema a tratar: Necesidad de formadores para ANEFA.**

Para poderse conectar había que estar inscrito para mandarle el ID de la reunión, el código de acceso. La reunión se realizó con éxito y fue bien acogida por los 8 participantes colegiados interesados por la formación que precisa ANEFA para sus cursos.

Se dio a conocer a todos los colegiados.

Estando el "Aragonito nº 30" en imprenta sale publicado en **aragonhoy.net** la siguiente comunicación del Gobierno de Aragón con fecha 20 de mayo de 2020, miércoles:

## En estudio la implantación de un Centro Tecnológico en las Cuencas Mineras

El Consejo de Gobierno, celebrado por vía telemática, ha aprobado esta mañana la realización de un estudio que analizará las posibilidades de implantación de un centro Tecnológico de la Minería que se ubicará en alguno de los municipios afectados por el cierre de la actividad minero-energética del carbón en la provincia de Teruel.

El Gobierno de Aragón, el Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Nordeste de España y el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía de Aragón serán los encargados de elaborar este estudio.

La Comisión Especial de estudio para analizar los criterios que deben regir la transición energética en Aragón emitió un dictamen que incluía la creación de un centro de investigación en energías renovables y recursos energéticos mineros, así como la implantación de un centro de I+D+i para mejorar y fomentar el aprovechamiento de los recursos endógenos, especialmente los recursos mineros, impulsando su transformación.

El Gobierno de Aragón, a través del Departamento de Vicepresidencia, Industria, Competitividad y Desarrollo Empresarial, ha realizado distintas actuaciones para desarrollar el tejido empresarial en los municipios afectados por el cierre de actividad minero-energética ligada al carbón, entre las que destacan las relativas al impulso de los proyectos de infraestructuras municipales y los proyectos de los distintos Planes Miner, las que comprenden el futuro convenio de Transición Justa de Aragón, en fase de elaboración, y las de participación activa en la Plataforma de Regiones de Carbón en Transición impulsada por la Comisión Europea.

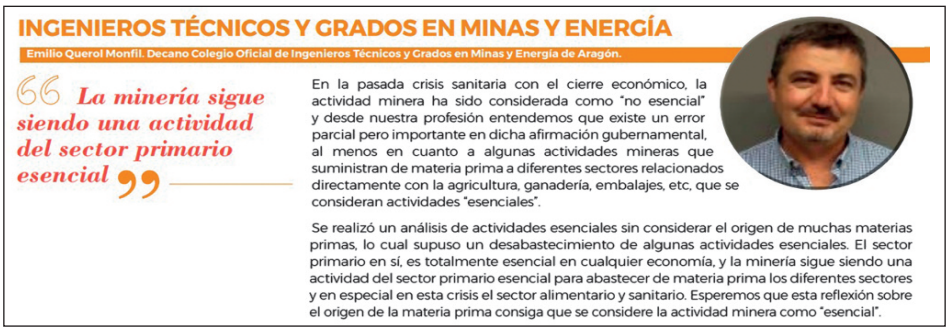
**Nuestro Colegio, al día de la fecha, tiene suscrito un Convenio de Colaboración con el Gobierno de Aragón y el Colegio de Ingenieros de Minas del Nordeste, firmado el 16 de diciembre de 2020.**

**Su finalidad es la elaboración de un estudio que analice las posibilidades de implantación de un Centro Tecnológico de la Minería que se ubicará en uno de los municipios afectados por el cierre de la actividad minero-energética del carbón en la provincia de Teruel.**

A dicho convenio se puede acceder mediante nuestra página web: **www.coitma.com**, en la ventana de **Transparencia,** dentro de ésta, en **Información económica, presupuestaria y estadística**, y en ésta en el punto Contratos suscritos, convenios de colaboración suscritos y ayudas y subvenciones públicas y una vez más dentro de ésta, en el apartado **Convenio con el Gobierno de Aragón**.

Posteriormente a esta fecha salió publicado en el BOA nº 70, de 31-03-2021, por el Departamento de Presidencia, la Orden PRI/252/2021, de 9 de febrero, en la que se dispone la publicación de este Convenio.

# Escritos de nuestro Decano publicados por la Revista COPA



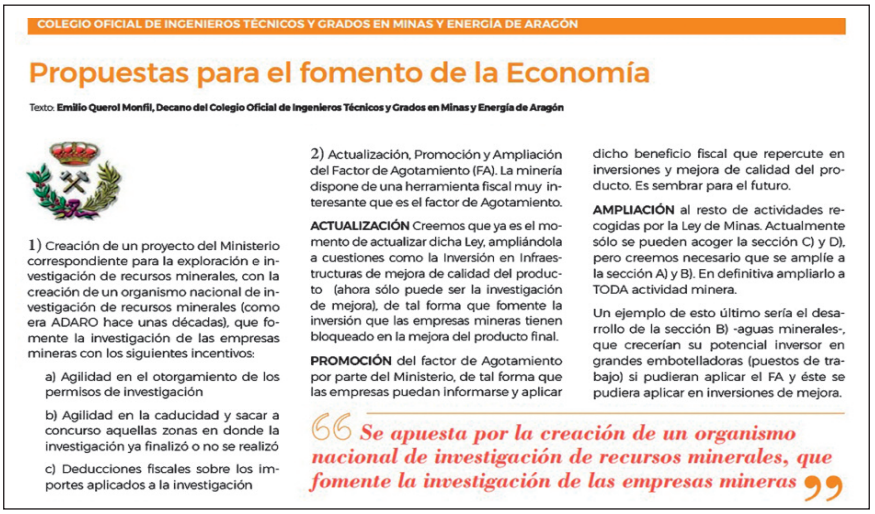
**INGENIEROS TÉCNICOS Y GRADOS EN MINAS Y ENERGÍA**

Emilio Querol Monfil. Decano Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía de Aragón.

*La minería sigue siendo una actividad del sector primario esencial*

En la pasada crisis sanitaria con el cierre económico, la actividad minera ha sido considerada como "no esencial" y desde nuestra profesión entendemos que existe un error parcial pero importante en dicha afirmación gubernamental, al menos en cuanto a algunas actividades mineras que suministran de materia prima a diferentes sectores relacionados directamente con la agricultura, ganadería, embalajes, etc, que se consideran actividades "esenciales".

Se realizó un análisis de actividades esenciales sin considerar el origen de muchas materias primas, lo cual supuso un desabastecimiento de algunas actividades esenciales. El sector primario en sí, es totalmente esencial en cualquier economía, y la minería sigue siendo una actividad del sector primario esencial para abastecer de materia prima los diferentes sectores y en especial en esta crisis el sector alimentario y sanitario. Esperemos que esta reflexión sobre el origen de la materia prima consiga que se considere la actividad minera como "esencial".



COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS Y GRADOS EN MINAS Y ENERGÍA DE ARAGÓN

**Propuestas para el fomento de la Economía**

Texto: **Emilio Querol Monfil, Decano del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía de Aragón**

1) Creación de un proyecto del Ministerio correspondiente para la exploración e investigación de recursos minerales, con la creación de un organismo nacional de investigación de recursos minerales (como era ADARO hace unas décadas), que fomente la investigación de las empresas mineras con los siguientes incentivos:

a) Agilidad en el otorgamiento de los permisos de investigación

b) Agilidad en la caducidad y sacar a concurso aquellas zonas en donde la investigación ya finalizó o no se realizó

c) Deducciones fiscales sobre los importes aplicados a la investigación

2) Actualización, Promoción y Ampliación del Factor de Agotamiento (FA). La minería dispone de una herramienta fiscal muy interesante que es el factor de Agotamiento.

**ACTUALIZACIÓN** Creemos que ya es el momento de actualizar dicha Ley, ampliándola a cuestiones como la Inversión en Infraestructuras de mejora de calidad del producto (ahora sólo puede ser la investigación de mejora), de tal forma que fomente la inversión que las empresas mineras tienen bloqueado en la mejora del producto final.

**PROMOCIÓN** del factor de Agotamiento por parte del Ministerio, de tal forma que las empresas puedan informarse y aplicar dicho beneficio fiscal que repercute en inversiones y mejora de calidad del producto. Es sembrar para el futuro.

**AMPLIACIÓN** al resto de actividades recogidas por la Ley de Minas. Actualmente sólo se pueden acoger la sección C) y D), pero creemos necesario que se amplíe a la sección A) y B). En definitiva ampliarlo a TODA actividad minera.

Un ejemplo de esto último sería el desarrollo de la sección B) -aguas minerales-, que crecerían su potencial inversor en grandes embotelladoras (puestos de trabajo) si pudieran aplicar el FA y éste se pudiera aplicar en inversiones de mejora.

*Se apuesta por la creación de un organismo nacional de investigación de recursos minerales, que fomente la investigación de las empresas mineras*

# 2ª Actualización del Protocolo de Instrucción de Trabajo frente al COVID-19

A primeros de octubre del 2020 se recibe la 2ª Actualización del Protocolo de Instrucción de Trabajo frente al COVID-19 en explotaciones mineras y en plantas de tratamiento (27 de septiembre 2020), elaborada conjuntamente con la Confederación Española de Industrias Extractivas de Rocas y Minerales industriales-COMINROC, el Consejo General de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía y el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.

Este documento sustituye a los publicados anteriormente, de fechas 19 de marzo y 12 de abril, que ya no son válidos, por lo que las empresas deberán actualizar su plan de prevención de acuerdo con las recomendaciones del presente documento.

Incluye, completa y adapta la Guía de buenas prácticas en los centros de trabajo, Medidas para la prevención de contagios del COVID-19 (11-04-2020), así como las Directrices de buenas prácticas en las actividades mineras para la prevención de contagios del COVID-19 (27-04-2020) publicados por el Ministerio de Sanidad, el Ministerio de Trabajo y Economía Social y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

# XXX Semana Industrial y Minera de la EIMIA

El Colegio recibió información y enlace de La Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén a la Semana Industrial y Minera, que se celebró los días 9, 10 y 11 de marzo de 2021 en horario de tarde, pudiendo asistir tanto presencial (Sala de Juntas), como on-line (desde Teams), compuesta por las siguientes conferencias:

1ª.– Importancia del subsuelo en la lucha contra el cambio climático: almacenamiento de energía y de residuos para un futuro sin emisiones. Horario: 19 h.

2ª.– Sistemas provisionales de protección de bordes en construcción e ingeniería civil. Horario: 19 h.

3ª.– Autoconsumo fotovoltaico. Normativa actualizada y nuevas posibilidades. Ejemplos prácticos. Horario: 18 h.

Se notificó a todos los colegiados.

# Tramitación electrónica de las solicitudes de inscripción y baja del Registro de Dirección Facultativa de actividades mineras en Aragón

Mediante Orden TED/252/2020, de 6 de marzo, publicada en el BOE de 18 de marzo de 2020, se ha modificado la ITC 02.0.01 del RGNBSM, relativa a la Dirección Facultativa. Con vistas de agilizar la tramitación de las inscripciones en el Registro de Directores facultativos dando cumplimiento asimismo con lo establecido en el apartado 4 de dicha ITC, que establece la obligación de realizar las comunicaciones por medios electrónicos, de conformidad con lo dispuesto en el Artº 14.2 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas, desde esta Dirección General de Energía y Minas se ha procedido realizar los trámites necesarios para implementar la tramitación electrónica de las solicitudes de inscripción (designación) y baja (renuncia) del Registro de Directores facultativos de actividades mineras sitas en Aragón en la sede electrónica de esta Administración.

Ambos procedimientos se encuentran a fecha actual plenamente operativos en la sede electrónica del Gobierno de Aragón (**www.aragon.es/tramites**), con las instrucciones para su utilización y los anexos correspondientes, en las siguientes direcciones:

- Inscripción en registro de directores facultativos de actividades mineras **(designación):** Código de procedimiento: 2371
  **https://www.aragon.es/tramitador/-/tramite/comunicacion-inscripcion-registro-directores-facultativos-actividades-mineras**
- Baja en registro de directores facultativos de actividades mineras **(renuncia):** Código de procedimiento: 2372
  **https://www.aragon.es/tramitador/-/tramite/comunicacion-baja-registro-directores-facultativos-actividades-mineras**

Puede accederse de igualmente a dichas direcciones a través del enlace disponible en la página del Servicio de Promoción y Desarrollo Minero en la Web del Gobierno de Aragón: **https://www.aragon.es/mineria**

Finalmente se recuerda lo dispuesto en la Disposición transitoria única de la referida Orden TED/252/2020, de 6 de marzo, relativa a las Direcciones facultativas en vigor y expedientes en tramitación, que señala que las direcciones facultativas en vigor de cada centro de trabajo, así como aquellos nombramientos pendientes de autorización que se encuentren en tramitación, se deberán adoptar al procedimiento de comunicación previsto en el apartado 4 de la ITC, siendo que, en todo caso, **esta adaptación deberá finalizar antes del 31 de diciembre de 2020.**

Esta notificación fue recibida el día 7-10-2020 y se comunicó a todos los colegiados.

# Formación

Por medio del Consejo General se ofertaron para los colegiados los siguientes cursos:

**1º.–** Programa de especialización sobre **Excel y Proyecciones financieras para empresas y despachos.** Dirigidos a ingenieros y arquitectos técnicos, abogados, directores y gestores administrativos.

El Plan de estudio comprende: Curso 1, Excel; Curso 2, Modelos financieros; Curso 3, Business Plan Iniciación; Curso 4, M&A Iniciación.

Duración: 75 h
Modalidad: e-learning
Fecha inicio: 27-05-2021
Fecha fin: 23-07-2021

El curso está pensado para profesionales citados anteriormente, que puedan compatibilizar su seguimiento con su actividad profesional. Con profesor especializado a tu disposición para impartir la materia y resolver cualquier duda.

Para cualquier duda o aclaración dirigirse a Luis Antonio Durán (Wolters Kluwer) Tel. 699 497 751 o **aduran@wke.es**

**2º.– Máster universitario en Prevención de Riesgos Laborales.** Es el más solicitado ya que la Prevención de Riesgos Laborales continúa siendo materia imprescindible en todas las empresas. Está adaptado al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), nivel 3 del MECES y nivel 7 del EQF. Está verificado por la ANECA. Incluye las 3 especialidades: Seguridad; Higiene; Ergonomía.

Fecha inicio: 25-02-2021
Fecha fin: Diciembre 2021

Para **mayo 2021** el siguiente:

Fecha inicio: 27-05-2021
Fecha admisión: Abril 2021
Fecha fin: Marzo 2022

Incluye un acceso durante un año a CISSLAB.

Para cualquier duda o aclaración dirigirse a Luis Antonio Durán (Wolters Kluwer) Tel. 699 497 751 o **aduran@wke.es**

**3º.– Curso de Especialización en Seguridad en Espectáculos Pirotécnicos.**

Fecha de inicio: 11-03-2021
Fecha de admisión: 10-03-2021
Fecha fin de curso: 18-06-2021

Aquellos/as que lo hubieráis realizado y tengáis interés en los casos prácticos que se darán en esta edición, podéis indicar vuestro e-mail al colegio para que se os pueda facilitar la información.

Con este curso cabe la posibilidad de optar a la **Certificación del Instituto de Graduados en Ingeniería e Ingenieros Técnicos de España (INGITE).**

# Taller virtual: **Aplicación de los Planes de Igualdad en Entornos Profesionales**

Preparados por UP y Wolters Kluwer. Dirigidos a cargos de las Juntas de Gobierno de los Consejos Generales y Superiores, Colegios Profesionales, Colegiados, Profesionales y Empresas que quieran profundizar en las materias propuestas.

Fecha: 23 de marzo 2021
Duración: 2 h / Horario: 18 h - 20 h
Modalidad: e-learning.

Objetivos:

1º.– Conocer marco normativo que está recogido en el RD 902/2020, de 13 de octubre, de igualdad retributiva entre mujeres y hombres.

2º.– Describir los ámbitos institucionales y otros ámbitos de los despachos profesionales y corporaciones colegiales obligadas a elaborar un plan de igualdad.

3º.– Abordar estrategias para elaborar y negociar los planes de igualdad con eficiencia.

4º.– Acometer la futura obligatoriedad de la auditoria retributiva.

5º.– Analizar medidas para conciliación y corresponsabilidad.

6º.– Exponer la doctrina jurisprudencial del Tribunal Supremo sobre aplicación de la paridad entre hombres y mujeres en materia de personal.

Ponente: María Ángeles García Pérez (Graduada Social, Auditora socio-laboral, Abogada)

**Nota:** Todos los cursos ofertados se dan a conocer a todos los colegiados a su debido tiempo.

# Foro virtual: **"El papel de las profesiones en la Transformación: Fondos de recuperación europeos"**

Se recibió en el Colegio invitación para el Foro Virtual "El papel de las profesiones en la transformación: Fondos de recuperación europeos". Organizado por el Banco de Santander-Unión Profesional.

Día: 22 de abril / Hora: 17 h

Intervinieron: El Presidente del Consejo General de Economistas de España e interventor de UP, la Presidenta del Consejo General de la Abogacía y Presidenta de UP y el Presidente del Consejo General de la Ingeniería de España y Vicepresidente de UP.

Se podía participar mediante inscripción.

Se dio a conocer a todos los ejercientes en activo y a la Junta de Gobierno.

# Consejo General

Desde nuestro Consejo General nos informan de que han conseguido que la **Agencia Vasca del Agua** incluya a los Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía en las futuras convocatorias para previsión de puestos Técnicos para la Agencia, de la que estábamos excluidos hasta ahora.

Mediante una modificación de su RPT, por resolución de 6 de abril de 2021 publicada en el Boletín Oficial del País Vasco nº 71, en las próximas convocatorias nos abren las puertas en igualdad de condiciones que los industriales, Obras Públicas, Arquitectos y otros. En total serán más de 30 plazas a las que podremos optar. En concreto para las futuras plazas de: Técnicos de Calidad, Técnicos de Gestión de Dominio Público, Técnicos de autorización de obras, Técnicos de vertidos, Responsables de área de autorización de obras, Responsables del área de vertidos, etc.

Ante la situación creada por la pandemia, desde **AEDED** se ha puesto en marcha distintas iniciativas para poder seguir desarrollando la actividad de difusión de la asociación.

Con fecha 26 de marzo de 2021, se recibió en el Colegio un correo de AEDED (Asociación Española de Demolición y Descontaminación, Corte y Perforación) para asistir gratuitamente a un Webinar sobre **"Demolición en entornos urbanos con medios mecánicos ligeros".**

Tuvo lugar el **miércoles 21 de abril, a las 16,30 h.** y fueron ponentes D. Antonio Zarolo (ANZEVE), D. Jorge Almazan (HUSQVARNA) y D. Pablo Budia (DELTAPUNT).

Se dio a conocer a todos los colegiados ejercientes.

# Biblioteca

Se han incorporado a los fondos de nuestra biblioteca los tomos que se relacionan a continuación:

| | |
|---|---|
| Nº 438 | Manual de sondeos |
| Nº 439 | De la Academia de Almadén a la Escuela de Minas de Mieres. El comienzo de las enseñanzas de minería en España. |
| Nº 440 | Guía sobre el Proyecto de demolición. Año 2020 |
| Nº 441 | Guía sobre el amianto. Año 2020 |
| Nº 442 | Guía sobre pavimentos continuos. Año 2020 |
| Nº 443 | Manual de Áridos para el Siglo XXI. Año 2020 |

# Santa Bárbara

En Junta de Gobierno celebrada con fecha 3 de noviembre de 2020, se acordó la no celebración de nuestra Patrona Santa Bárbara, debido y como es obvio por motivo de la COVID-19.

También se comunicó a los colegiados asistentes en la Junta General del día 20 de noviembre de 2020.

Esta Junta de Gobierno deseó a todos los colegiados y familia lo mejor para terminar el año 2020, y que el año 2021 pudiéramos volver a celebrar nuestra Patrona y culminar su festividad con nuestro popular y consagrado Almuerzo Minero.

De la misma manera lo hicieron los compañeros en Teruel.

# Información electoral 2021

De acuerdo con lo establecido en el vigente Reglamento de Régimen Interior de nuestro Colegio, en este mes de mayo se llevó a cabo la renovación de los miembros de la Junta de Gobierno.

En Junta de Gobierno Ordinaria del día 10 de marzo (miércoles) de 2021, el Decano, nos comunica que tiene intención de convocar elecciones y en Junta General Ordinaria celebrada el día 25 (jueves) del mismo mes, el Decano lo comunica a la Junta General y, en Junta General Extraordinaria celebrada el mismo día 25 de marzo, a continuación de la Junta General Ordinaria las convoca (Art. 50 del R.R.I.). En dicha Junta General Extraordinaria se especifica que los cargos a renovar y para completar la nueva Junta de Gobierno son:

Para renovar cargos: **VICEDECANO, SECRETARIO, VOCAL Nº 1 y VOCAL Nº 2, por un periodo de 4 años.**

Para completar la Junta de Gobierno: **TESORERO-CONTADOR, para un periodo de 2 años.**

A continuación, entre los asistentes a la Junta General Extraordinaria es elegida la Junta Electoral. Dicha Junta se constituye el día 30 de marzo, recibiendo del Decano la Normativa Electoral, Censo Electoral y Borrador del Calendario Electoral.

Tras el periodo fijado en el Calendario Electoral para que los colegiados presentaran sus candidaturas para ocupar los cargos vacantes en la Junta de Gobierno, se reúne la Junta Electoral, en fecha 22 de mayo, para la resolución de alegaciones y, no habiéndose recibido ninguna, proclama como candidatos definitivos a los cargos convocados en el proceso electoral y a la vez miembros de la Junta de Gobierno a los siguientes colegiados:

Cargo de Vicedecano:
**Dª. Mónica Estrella Corral Saldaña**

Cargo de Secretario-Técnico:
**D. Juan Miguel Romero Morales**

Cargo de Tesorero-Contador:
**Vacante**

Cargo de Vocal nº 1:
**Vacante**

Cargo de Vocal nº 2:
**Vacante**

Al no ser necesario celebrar Elecciones y de acuerdo con el RRI, Normativa Electoral, se da por cerrado y terminado el proceso electoral.

La nueva Junta de Gobierno queda configurada:

**Decano-Presidente**
**D. Emilio**
**Querol Monfil**

**Vicedecana**
**D.ª Mónica Estrella**
**Corral Saldaña**

**Secretario-Técnico**
**D. Juan Miguel**
**Romero Morales**

**Vocal nº 3**
**D. Jesús María**
**de Miguel González**

**Vocal nº 4**
**D. Modesto**
**Úbeda Rivera**

# In Memoriam

La Junta de Gobierno del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos y de Grado en Minas y Energía de Aragón, en nombre de todos los colegiados, lamenta profundamente las pérdidas tan sentidas de nuestros compañeros, **Carlos Holgado Gil (17-2-2021), Simón Douglas Tyrrell Fraser (7-3-2021)** y **Antonio Muñoz Medina (9-3-2021),** a los que tuvimos el honor de conocer y tratar personalmente durante muchos años, siendo unas personas muy queridas y admiradas. **Antonio Muñoz** ejerció el cargo de Vocal y Delegado de Huesca (1999-2007) y posteriormente el cargo de Decano (2007-2011), en nuestro Colegio Oficial, con gran dedicación y buen hacer.

Acompañamos en el sentimiento de dolor y desconsuelo a sus esposas, hijas/os, dedicándole un recuerdo sincero y permanente de admiración y respeto. Descansen en paz.

**Carlos Holgado**

**Simon Douglas**

**Antonio Muñoz**

# Algunas noticias del sector

## Valtreixal Resources prevé abrir su mina de W y Sn en Zamora en 2021

**Resumido, cincodias.elpais.com, 10-8-2020**

La compañía Valtreixal Resources, filial del grupo Almonty Industries (Canadá), tiene un proyecto para abrir y explotar una mina de **wolframio y estaño** en Pedralba de la Pradería (comarca de Sanabria) en la provincia de Zamora y a unos 5 Km de la frontera con Portugal. Según explican fuentes de la empresa, que acaba de recibir la autorización urbanística por parte de la Junta de Castilla y León, está a la espera de recibir la declaración de Impacto Ambiental (DIA) y posteriormente la aprobación del Proyecto de explotación de la Mina (actualmente en trámite).

El proyecto minero contempla una inversión de 37 millones de euros y la creación de 200 empleos directos y otros 400 indirectos.

Según la información detallada de la compañía, el complejo minero, que ocupará un área de 250 hectáreas tendrá una vida de unos 25 años, de los cuales 19 se corresponden con la fase de explotación y el resto se dedicarán a las labores previas de montaje y preparación, y las finales de restauración y desmontaje.

Estima una producción anual de 1.200 t de wolframio y 450 t de estaño. La empresa confía en poder iniciar los movimientos de tierras a partir de julio de 2021.

De momento, el proyecto ha superado las consideraciones ambientales.

*Imagen de archivo*

## El Plan de la UE de materias primas fundamentales: deberes de España

**Resumido, cincodias.elpais.com, 6-11-2020**

La Comisión Europea presentó el pasado septiembre su **Plan de acción** sobre materias primas fundamentales. El comisario europeo afirmó, que **"ciertas materias primas son esenciales para que Europa lidere la transición económica y digital, no podemos depender completamente de países terceros e incluso de un solo país".** El Plan de acción se enmarca en el proyecto de reconstrucción aprobado como consecuencia de la COVID-19 y frente a la crisis que ahoga la economía de la UE. La pandemia ha puesto de manifiesto los riesgos asociados a la interrupción de las cadenas de suministro internacional. Para hacer frente a estos riesgos la Comisión pretende impulsar un plan de recuperación que aumente la resiliencia y garantice una autonomía estratégica coordinada hacia una economía verde y digital.

Uno de los objetivos del Plan es el desarrollo de una minería en la UE para que esté operativo en 2025. En España, el marco regulatorio del aprovechamiento de minerales es marcadamente muy deficiente, rayando lo inoperativo. La minería en España ha sido en la última década muy mermada. Nuestro marco regulatorio se caracteriza por el amontonamiento de normas y competencias que deben enfrentarse a criterios dispares, ante diferentes órganos de distintas administraciones públicas.

El éxito de la UE depende de que consiga garantizar de forma sostenible las materias primas necesarias para las nuevas tecnologías limpias y digitales en todos los ecosistemas industriales de la UE

La UE importa entre el 75 y el 100% de la mayoría de los metales y materias primas fundamentales que requiere su actividad económica y, en especial, muchos de los minerales empleados en los sectores de las nuevas tecnologías y energías renovables. La Comisión concluye con una advertencia, acerca de la trascendencia que la correcta definición del marco legal, financiero y operativo en el que la minería deba desenvolverse en los próximos años.

La lista de las materias primas fundamentales para la UE está sujeta a una actualización cada 3 años, teniendo en cuenta la evolución tecnológica. Esta lista en 2011 comprendía 14 materias primas, en el 2014 eran 20, en el 2017 eran 27 y en el 2020 son 30. Entrando por primera vez en la lista la bauxita, litio, titanio y estroncio.

España es el país más rico en minerales de la UE y podía convertirse en el principal productor de algunas de las materia primas fundamentales y ayudar a garantizar el suministro seguro.

# El Litio geotérmico puede revolucionar la energía

**Resumido, dinero.com/economía, 12-11-2020**

En 1864, se descubrió en Cornualles una fuente termal a casi 450 m de profundidad. Esta fuente esta en Wheal Clifford, una mina de cobre a las afueras de la ciudad de Redruth. Sus aguas contienen entre 8 y 10 veces más por cada galón (1 galón = 4,54 l) que la encontrada en cualquier fuente termal. Esta agua rica en Litio a 50ºC, ha pasado desapercibida durante más de 150 años.

En otoño de 2020 se ha confirmado que en Wheal Clifford tiene uno de los niveles de Litio por litro en aguas geotérmicas más altos del mundo y se ha convertido en un elemento clave para la transición a la energía limpia. De hecho se necesitan 5 veces más Litio del que se extrae en la actualidad para cumplir los objetivos climáticos globales para el 2050. La demanda se ha disparado en los últimos años, coincidiendo con la fabricación de más vehículos eléctricos y que son muchos los países que quieren eliminar gradualmente los automóviles con motor de combustión.

Las salmueras en las minas de Cornualles tienen concentraciones de 260 mg/l, fluyendo a una velocidad de 40 y 60 l/seg. La extracción de Litio de estas aguas ha sido posible gracias a los avances tecnológicos tanto en exploración como con la extracción.

Cornualles tiene una herencia minera asombrosa que se remonta a 4500 años, lo que significa que hay mucha información del subsuelo. Se empleará la técnica llamada "extracción directa de Litio" (DEL). Su proceso básico implica el uso de técnicas como la nanofiltración o las resinas de intercambio iónico, que actúan como tamiz químico para recolectar selectivamente el Cloruro de Litio, dejando otras sales en el agua. El Cloruro de Litio se purifica y se concentra para producir **hidróxido de Litio**, que es con el que se fabrican las baterías.

En Alemania (Valle del Rin) se investiga también para desarrollar la extracción geotérmica del Litio, siendo sus concentraciones de 181 mg/l.

# Fundación Hidrógeno de Aragón gana el National Energy Globe Award Spain 2020

**Resumido varios, retema.es/energynews.es, 5-1-2021**

La Fundación Hidrógeno de Aragón ha sido premiada con el National Energy Globe Award Spain 2020, prestigioso galardón medioambiental de ámbito mundial que concede la Federación Independiente "Energy Globe" de Austria.

El Vicepresidente y Consejero de Industria del Gobierno de Aragón, Arturo Aliaga, ha felicitado a todos los socios del proyecto y ha recordado el interés que han despertado las tecnologías del Hidrógeno, en las que Aragón está a la cabeza de Europa.

El proyecto **ELY4OFF** explora el enorme potencial **de producción de hidrógeno mediante electrolizadores de agua tipo PEM (PEMWE),** para lograr convertirse en una tecnología clave para el despliegue del hidrógeno y las pilas de combustible (HFC) en el futuro mercado de la energía. El objetivo final es dar con un sistema de almacenamiento de energía capaz de suministrar H para diferentes aplicaciones consiguiendo así una alta penetración de las fuentes de energía renovables. El proyecto comenzó en abril de 2016 hasta septiembre de 2019. En la Fundación se ha producido de forma continuada **"H verde"** que ha sido utilizado entre otras aplicaciones en la hidrogenera sita en las instalaciones para el repostaje de varios vehículos. La Fundación ha coordinado el proyecto, y junto al resto de socios, ha participado en todos los paquetes de trabajo.

El **"H verde"** está llamado a ser uno de los vectores clave en el proceso de descarbonización del sector energético. Un nuevo informe de la Agencia Internacional de Energía Renovables (IRENA), asegura que el **H** producido con electricidad renovable podría competir en costes con la alternativas de combustible fósiles para 2030, siendo sus razones: la caída de los costes de la energía solar y eólica, un mejor rendimiento y de economías de escala para los electrolizadores.

# ENDESA presenta un proyecto de H2 verde para Andorra

**Resumido varios, lacomarca.net/heraldo.es, 2-2-2021**

Endesa ha presentado al Ministerio de Transición Ecológica un proyecto de Hidrógeno verde para Andorra con una inversión de 294 millones de euros. Generaría unos 144 empleos en su fase de construcción y 65 en las de operaciones y mantenimiento. Los empleos que creará serán tanto de la propia empresa como de empresas subcontratadas. La compañía tiene previsto instalar una planta de producción de $H_2$ verde en el entorno de la Central Térmica. Es un proyecto de 60 MW asociado a una potencia eólica y fotovoltaica de 335 MW. La nueva planta usaría la energía limpia que producen los molinos y placas solares que se instalarán en el territorio dentro del Plan Futur-e durante el desmantelamiento de la Central.

Este proyecto es adicional a todo lo presentado hasta ahora en el territorio. Según explicó su alcalde, "es un proyecto y confiamos que salga adelante y lo seguiremos con mucho interés", proyectos hay de diversas índoles, pero lo que necesita Andorra son **"Realidades",** hay que tener los pies en el suelo. También explicó que el ayuntamiento se había quedado la concesión del agua de la central por

lo que tenemos un abastecimiento lo suficientemente abundante para cualquier tipo de industria que se quiera instalar. Contar con una planta de producción de $H_2$ verde seria un aliciente más de cara a la atracción e implantación de nuevas empresas, sobre todo para las que apuestan por las energías limpias a la hora de modernizar los procesos industriales usando combustible 100% limpio.

Endesa quiere dejar clara su apuesta por el $H_2$ verde como clave en el proceso de transición energética y la descarbonización de la economía.

El H2 verde se produce a través de un proceso de electrolisis del agua, un proceso químico en el que se descompone el agua en oxigeno e hidrogeno por medio de electricidad de origen renovable. El Ministerio ha planteado una hoja de ruta similar a la comunitaria. Europa quiere instalar hasta 2030 unos 40 GW de electrolizadores y, España tiene previsto desarrollar el 10% de esa cantidad.

# Proyecto integral de almacenamiento energético en Extremadura

**Resumido varios, 31-3-2021**

La empresa Phi4tech va a poner en marcha en Extremadura este proyecto integral en la Plataforma Logística del Suroeste europeo, para la construcción de baterías de coches eléctricos que incluirá la construcción de 2 plantas (Cáceres y Badajoz) y la puesta en servicio de la **Mina de Li de Las Navas** en el termino de Cañaveral (Cáceres) y de **Ni, Au y Co de la Mina Aguablanca** en Monesterio (Badajoz).

**La Planta de Cáceres**, será para **fabricar cátodos** y lleva asociada una inversión de 200 millones de euros y prevé crear 360 empleos y su puesta en funcionamiento será para 2023. La **Mina de Li,** recibió en octubre de 2020 la declaración de Impacto Ambiental positiva. Entre la Mina y la planta se crearán unos 400 empleos.

**La planta de Badajoz** será de **celdas de baterías** para coches y creará 200 empleos en 1ª fase y más de 500 cuando alcance su producción máxima, con una inversión de 400 millones de euros, cuya construcción será a finales de este año. Su capacidad de producción será de 10 GW distribuidos en 5 módulos de 2 GW. El primer módulo es posible que entre en funcionamiento en 2023 y como previsión en 2024 alcanzaría los 6 GW. Cuando este proyecto integral esté en pleno rendimiento Extremadura será un **"centro industrial tecnológico y elemento clave"** para que Europa logre la "soberanía industrial" que la UE demanda.

Phi4tech es un grupo de empresas de investigación y desarrollo de nanotecnología. Su propuesta es crear un "híbrido de batería y supercondensador de última generación". Esta batería admitirá cargas en 6 minutos y hasta 30.000 ciclos de vida.

Se proveen dos años de preparación de labores y una explotación minera e industrial de aproximadamente de 19 años de los cuales 6 serían a Cielo Abierto y el resto en explotación subterránea. Su producción será de 2,3 millones de t anuales de mineral, principalmente de Li.

El proyecto contempla la "restauración completa de la zona minimizando los impactos y con instalaciones prácticamente ocultas y aisladas del entorno", que serán de carácter temporal.

Los análisis realizados a los testigos recuperados son positivos, los minerales en que está concentrado el Li son: **ambiglonita** $(Li,Na)Al(PO_4)(F,OH)$ y **lepidolita** $(K,Li_2Al)(Si_4O_{10})(F,OH)_2$

# Fundación Minería y Vida

Representantes al más alto nivel del sector de las **Materias Primas Minerales** han adoptado todos los acuerdos necesarios para la constitución de la **Fundación Minería y Vida** que tiene por objeto impulsar el rol de las Materias Primas Minerales entre la sociedad, las autoridades públicas y el resto de interlocutores sociales.

Acuerdos por unanimidad:

- Decisión de elevación a público el acuerdo de constitución de la F M V.
- Aprobación de los Estatutos, que incluyan la misión y fines de la Fundación.
- Lo forman 15 miembros fundadores (entre ellos nuestro Consejo Superior) y 20 miembros Patronos.
- A falta de definir la presidencia, se ha aprobado el nombramiento de Javier Targhetta Roca como vicepresidente 1º, Ángel Cámara Rascón como vicepresidente 2º y Cesar Luaces Frades como Secretario General.

La sede será la misma que la de ANEFA, FdA, COMINROC y PRIMIGEA, Plaza de las Cortes 5-7ª Madrid.

La misión de la Fundación es realizar actuaciones que hagan compatible a la industria de las MP con el progreso sostenible social y económico, con el respeto al Medio Ambiente y a los recursos naturales; garantizar la salud de los trabajadores y ciudadanos, en el ámbito de la industria extractiva; mejorar la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras; e impulsar el conocimiento de la industria española de las MP de rocas y minerales.

Se abre un periodo ilusionante, en el que dar forma a las iniciativas que puedan contribuir a mejorar la situación de nuestra industria.

# Las minas de Almadén recibirán el premio "EuChemS a los Monumentos Históricos"

**Resumido, lanzadigital.com/latribunadeciudadreal.es, 21-4-2021**

Hoy se han reunido en Almadén, la comitiva encabezada por el Presidente de MAYASA, la Presidenta de RSEQ, representantes de EuCHemS y el Rector de la UCLM, para preparar los actos de reconocimiento obtenido por Almadén en el que se entregará el premio. Se llevará a efecto el próximo día 15 de septiembre, entregándolo de manera física, ya que estaba previsto realizarlo el 21 de abril y que no se ha podido entregar por las restricciones causada por la pandemia.

Las Minas de Almadén, declaradas Patrimonio de la Humanidad en el verano de 2012 y solo 8 años después ha logrado un importante galardón europeo como el sello internacional **"Historical Landmark"** de la Sociedad Europea de Química **(EuChemS),** una distinción que reconoce la importancia del mercurio en la historia y la contribución al avance científico que ha supuesto su procesado. La Real Sociedad Española de Química **(RSEQ)** promotora de la candidatura, avalada por otras sociedades europeas e instituciones regionales como la Diputación, la Junta de CLM, el Ayuntamiento, Mayasa y la Universidad de CLM a través de la **Escuela de Ingeniería de Almadén**, han reconocido los aspectos de el mejor deposito natural más importante de mercurio, en los que se logró el mayor volumen de producción del mismo.

A lo largo de los siglos, las minas utilizaron y conservan materiales de todos los procesos, métodos, técnicas y componentes necesarios para la producción del mercurio, sus conocimientos, dinero, cultura que tuvieron y el gran impacto ambiental.

*Comitiva visitando la mina.*
*Fuentes: Rueda Valverde*

La Sociedad Europea de la Química **(EuChemS)** ha hecho público **"estas minas nos enseñan la evolución de los métodos y procedimientos científicos, tecnológicos y técnicas directamente relacionados con la producción y distribución de mercurio", "la importancia del galardón ya que, en los 50 años de la organización, es el 2º con carácter europeo que se otorga, lo que le da un valor excepcional a lo conseguido por Almadén".** De la misma manera la presidenta regional de la **RSEQ** ha dicho, **"estoy convencida de que este premio dará mucha visibilidad internacional a Almadén"** y que esto se convierta en **"una autentica fiesta para el municipio con la realización de conferencias, charlas y de actividades varias…".** El Rector de la **UCDLM** también ha manifestado, **"se trata de un reconocimiento muy merecido por Almadén que le va a situar en el mapa europeo como un lugar de privilegiado interés para visitar y disfrutar".** Estas Sociedades ofrecen la idea de que la química es parte del patrimonio cultural general y de la historia de cada ciudadano europeo.

También el Gobierno Regional a través de su consejera de Educación, Cultura y Deporte felicitó al municipio de Almadén (C-Real) tras ser reconocido con el distintivo "Historical Landmark" y que a través de un comunicado emitido en sus redes sociales dice **"que supone un reconocimiento científico y turístico a una labor que, durante siglos, ha enriquecido científica, social y económicamente a la localidad y a su comarca".**

Las Minas de Almadén tienen una gran historia relacionada con la minería del mercurio y su gran papel durante el descubrimiento de América y en el tratamiento del oro y la plata.

El establecimiento minero de Almadén está formado por las minas de: La Nueva Concepción, La Vieja Concepción y el Entredicho (Almadenejos) y la mina de Las Cuevas y La mina Vieja (Almadén).

Las Minas de Almadén, considerada una de las minas más importantes e interesantes de la minería metálica mundial y por haber producido ± 7,5 millones de frascos (1 frasco = 34,5 Kg).

# Creación de un contenedor de hormigón, para residuos de baja y media actividad, en el Centro de almacenamiento de El Cabril (Hornachuelos, Córdoba)

**MARÍA DE LOS REMEDIOS GIL ORTEGA**

(Ver currículum Aragonito nº 30)

## Introducción

El Cabril gestiona y almacena los residuos de muy baja, baja y media actividad radiactiva que se generan en España. Estos residuos proceden de centrales nucleares, hospitales, centros de investigación e industrias.

En 1984 se crea Enresa (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.) por mandato parlamentario R.D.1522/1984 de 4 de julio. El 1 de enero Enresa se hace cargo de las instalaciones de El Cabril. Con fecha 8 de abril de 1986 el Ministerio de Industria y Energía autoriza a Enresa para hacerse cargo de la explotación de las instalaciones.

El 23 de abril de 1993 se almacena el primer contenedor en una de las celdas de almacenamiento de la plataforma norte. En 1994 se cierra la primera de las celdas de almacenamiento de la plataforma norte y comienza el llenado de la segunda.

En el año 2007 finaliza la construcción de la primera estructura de almacenamiento para residuos de muy baja actividad, la celda 29.

Respecto a la instalación complementaria para los residuos de muy baja actividad (RBBA), a 31 de diciembre de 2019 había almacenados 17.383,04 $m^3$ de residuos.

A 31 de diciembre de 2019, estaban llenas 21 de las 28 estructuras de almacenamiento de residuos de baja y media actividad (RBMA), con 34.470,67 $m^3$ almacenados, lo que supone una ocupación del 78,92%.

Anualmente se establecen numerosos puntos de control y se recogen aproximadamente mil muestras que certifican el nulo impacto radiológico de la instalación.

El Consejo de Seguridad Nuclear y la Dirección General de Política Energética y Minas, perteneciente al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico reciben mensualmente un informe que detalla las actividades llevadas a cabo en la instalación de El Cabril.

Enresa envía periódicamente, a diferentes autoridades, informes oficiales y documentos que recogen y especifican rigurosamente sus actividades; también lleva a cabo auditorías internas y externas que comprueban que los sistemas de gestión implantados en El Cabril se ajustan a lo establecido. La principal auditoría de carácter externo es realizada por el Consejo de Seguridad Nuclear, autoridad competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

## Acondicionamiento y almacenamiento de baja y media actividad de residuos

El acondicionamiento y almacenamiento de baja y media actividad de residuos, se realiza de la siguiente forma:

1. En función del tipo de residuos: los bidones se compactan o se inmovilizan de hormigón. El bidón es una estructura metálica de capacidad de 220 litros.
2. Los bidones se introducen en contenedores de hormigón. El contenedor de hormigón es hormigón armado con capacidad de 18 bidones de 220 litros.
3. Una vez lleno el contenedor se inmoviliza con mortero.
4. El contenedor inmovilizado se introduce en la celda de almacenamiento. La celda de almacenamiento es una estructura de hormigón armado y con capacidad de 320 contenedores.

*Celda de almacenamiento. Fuente: https://www.enresa.es/*

5. Completando la capacidad de celda se cierra con una losa superior de hormigón armado y se impermeabiliza.
6. Una vez completas todas las estructuras, se cubrirá con una cobertura final formada por diferentes capas drenantes e impermeabilizantes, que terminarán con una última capa de tierra vegetal, buscando su integración en el entorno. En este momento, comenzará la fase de vigilancia y control del emplazamiento, con una duración estimada de 300 años.

## Servicio de Construcción e Infraestructura

El contenedor de hormigón es uno de los elementos, que junto con los residuos acondicionados en su interior, es considerada como la primera barrera de almacenamiento y contribuye a garantizar uno de los criterios de seguridad que se han tenido en cuenta en el diseño de la instalación y que es el mantenimiento del aislamiento de los residuos tanto en la fase de explotación del centro (periodo durante el que se man-

tiene la actividad de almacenamiento), como en la fase de vigilancia (periodo durante el que ha cesado la actividad y sólo existe vigilancia).

Esta función implica la exigencia de diferentes requisitos que deben ser aplicados desde su diseño, hasta su aceptación para ser utilizado formando parte de las unidades de almacenamiento y que difícilmente pueden ser satisfechos por el embalaje metálico habitualmente utilizado por los productores. Adicionalmente, este contenedor permite la ubicación de los residuos en el interior de las celdas de almacenamiento sin ningún tipo de unión estructural, por lo que en el caso de tener que proceder a su recuperación, no sería necesario romper la integridad de la primera barrera de aislamiento.

## ¿Cómo se crea un contenedor de hormigón?

Las características del cemento usado son:

- Cemento de endurecimiento rápido.
- CEM I42,5R/SR, siendo:
  I: clase de exposición.
  42,5R: resistencia de endurecimiento normal.
  SR: resistencia a sulfatos

Las mallas utilizadas son:

- Mallas electrosoldadas 15x15 Ø 10-10 B 500 SD o B 500 S.
- Corrugado mecanizado Ø -8 y 10 mm – B 500 SD o B 500 S.
- Barras corrugadas Ø 25 – B 500 SD o B 500 S para pernos izado.
- Barra lisa Ø -12 mm – F-1140.

Los áridos son:

1. Árido fino -0/2-M-S-L (Mezcla, silíceo y lavado).
2. Árido fino -0/4-M-S-L.
3. Árido grueso -4/16-T-S-L (Triturado de machaqueo, silíceo y lavado).

Los aditivos a emplear son del grupo de los superplastificantes (reductores de agua de alta actividad).

## Fabricación de la armadura del contenedor

Se parte de paneles fabricados a medida de mallas electrosoldadas y barras corrugadas. Estas mallas y barras se cortarán y/o se doblarán en una máquina con las dimensiones y radios definidos.

Para el ensamble de todo el conjunto de la jaula de armadura del contenedor, se dispone de un bastidor fijo con las medidas del contorno interior de la armadura.

El ensamblaje de la armadura podrá hacerse con alambre, puntos de soldadura o combinación de ambos sistemas. En caso de utilizar puntos de soldadura, está será de tipo semiautomática por arco con protección gaseosa. Las uniones realizadas serán de tipo "en cruz no resistente".

Cuando se tenga configurada la armadura, se sacará del bastidor y controlará las dimensiones interiores de está con una tolerancia de ±5 mm, efectuándose al menos dos medidas entre las caras opuestas y cuatro alturas, una por esquina.

La armadura se identificará mediante etiqueta, reflejando el número de la armadura, fecha de fabricación y referencia a la autorización de envío correspondiente a los materiales empleados en su fabricación.

## Fabricación de la armadura de la tapa

Para la formación del conjunto de armadura de la tapa, se colocan entre las distintas parrillas, un refuerzo con las dimensiones adecuadas, a continuación se sueldan las esperas a las tres parrillas al tresbolillo para conseguir la separaciones requeridas.

Posteriormente se colocará los separadores pudiendo ensamblarlos con alambre, puntos de soldadura o combinación de ambos sistemas, en caso de utilizar puntos de soldadura, éste será de tipo semiautomática con gas de protección.

Se colocará una etiqueta con el número de identificación, fecha de fabricación y referencia a la autorización de envío, correspondiente a los materiales empleados en su fabricación, de forma que la armadura queda identificada.

## Proceso de encofrado del contenedor

Consiste en unos moldes metálicos con paneles móviles a través de un sistema hidráulico que permite abrir y cerrar estos paneles para encofrar y desencofrar el molde y así fabricar el contenedor.

## Proceso de encofrado de la tapa

Para realizar el encofrado de la tapa se junta la mesa con desencofrante, a continuación se coloca la armadura y los cilindros y posteriormente se atornilla el perfil biselado.

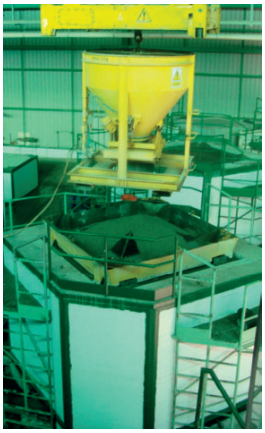
## Hormigonado y vibrado

La fabricación del hormigón se ejecutará en central con proceso de dosificación, pesaje, mezclado y distribución mandados por ordenador, con dos mezcladoras de eje vertical de capacidad 1,5 m³ cada una y rendimiento 30 m³/h.

Existen tres tipos de dosificación:

1. Para los contenedores HA-35/F/16/IIb:
   AF-0/4-M-S-L: 434 Kg
   AG-4/16-T-S-L: 1023 Kg
   AF-0/2-M-S-L: 403 Kg
   CEM I42,5 R/SR:400 Kg
   Agua: 175 kg
   Superplastificante: 6,50 litros
   Corresponde a un volumen de 2426,50 m³
2. Para las celdas HA-35/F/16/IIb:
   AF-0/4-M-S-L: 465 Kg
   AG-4/16-T-S-L: 837 Kg
   AF-0/2-M-S-L: 558 Kg
   CEM I42,5 R/SR:400 Kg
   Agua: 175 kg
   Superplastificante: 6,50 litros
   Corresponde a un volumen de 2438,50 m³
3. Para el hormigón H-200:
   AF-0/4-M-S-L: 458 Kg
   AG-4/16-T-S-L: 825 Kg
   AF-0/2-M-S-L: 550 Kg
   CEM I42,5 R/SR:300 Kg
   Agua: 200 kg
   Superplastificante: 5 litros
   Corresponde a un volumen de 2335,00 m³

El hormigón se vibra para conseguir una compactación de la masa de hormigón. Con el vibrado se consigue sacar el aire y evitan que aparezcan burbujas y huecos.



*Hormigonado del contenedor. Fuente: propia.*

Para proteger la armadura de fondo, durante el hormigonado de la paredes verticales y para que la distribución del hormigón sea más homogénea y no produzca disgregación, se coloca una pastera distribuidora, que se retira cuando se han vertido 3 m³ del hormigón aproximadamente.

La zona de apoyo del contenedor se enrasará manualmente con la ayuda de un escantillón que resbala por el conformador dejando perfectamente plana esta zona de apoyo.

Para ayudar a una perfecta distribución y compactado del hormigón se dispone de 25 vibradores eléctricos dispuestos en cinco niveles con mando independiente para cada nivel, distribuidos de la siguiente forma:

Niveles 1 y 3: 4 vibradores por nivel
Niveles 2 y 4: 8 vibradores por nivel
Niveles 5: 1 vibrador

Para el hormigonado de la tapa, el hormigón se descarga sobre el encofrado de forma continua, a la vez que se accionan los dos vibradores adosados a la parte inferior para conseguir el reparto y la compactación del hormigón.

Se hormigonará hasta que el nivel de hormigón quede enrasado con el nivel superior del encofrado.

## Curado

Después de concluir todo el proceso de hormigonado se retira el conformador y se procede al tapado del conjunto del contenedor por un lado y de la tapa por otro para conformar una cámara de curado.

Todas las operaciones de acabado y enrasado superior se consideran dentro del periodo de precurado a temperatura ambiente o de espera antes de aplicar el ciclo de curado a vapor.

Terminadas todas las operaciones de acabado, se retira el conformador superior, se tapa el molde con la carpa y se esperará hasta completar esta primera etapa de 3 horas.

A partir de este momento se comenzará a aplicar el ciclo de curado a vapor. Este proceso de curado se aplica para obtener un aumento de la resistencia inicial suficiente para reducir el tiempo de espera en molde antes de desencofrar.

El objeto es conseguir una resistencia mínima de 17,5 N/mm² antes de la extracción del molde.

1. Espera mínima en molde de 3 horas desde la terminación del hormigonado.
2. Aplicación de vapor incrementando la temperatura desde la ambiental de la carpa, hasta conseguir como máximo los 60ºC en un periodo aproximado de 2 a 3 horas.
3. Mantenimiento de esta temperatura máximo de 60ºC durante un periodo aproximado de 2 a 4 horas.
4. Volver a temperatura ambiente, en molde totalmente cerrado durante un periodo aproximado de 2 horas.

## Desencofrado

Se podrá proceder a desencofrar cuando el hormigón haya alcanzado al menos 11 N/mm² de resistencia a compresión.

## Acopio y control dimensional

Una vez finalizado el curado húmedo del contenedor y/o tapa, se procede al volteo del contenedor y traslado a almacenamiento hasta cumplir los 28 días de curado.

A partir del tercer día y con una frecuencia de uno cada 2 semanas, se procederá al control dimensional de ambos (contenedor y tapa). Para el contenedor se tomarán al menos dos medidas de anchura y altura, por cada cara, tanto en exteriores como en interiores.

Se comprobará la planeidad y el desplome.

La tapa se controlará midiendo la longitud y el espesor de cada uno de sus lados.

La tolerancias dimensionales no afectan a criterios de seguridad mientras se mantengan los recubrimientos mínimos establecidos, aunque sí su almacenamiento. Por ello si se producen variaciones dimensionales tales que por sí mismas o sumando las acumulables (dimensión y desplome) sobrepasan los 10 mm de exceso admitidos, se deberá notificar al Jefe de Servicio de Acondicionamiento y Almacenamiento para que decida si puede asumir dicha variación en el almacenamiento.

## Toma de muestra y ensayos

Toma de muestras: durante el proceso de hormigonado de los contenedores se tomará la cantidad de masa necesaria de hormigón para la realización de los ensayos.

### Ensayo de Asentamiento o de Cono Abrams

Se controlará el asentamiento de todas las amasadas. El asentamiento obtenido será de 12 ± 3 cm.

En el caso de hormigones fabricados con el empleo de aditivos superplastificantes, el valor de la relación agua-cemento, menor o igual que 0,45, es prioritario frente al asentamiento.

En este caso el límite superior de asiento establecido podrá sobrepasarse.

*Instrumentos para la realización del Cono Abrams.*

*Cono Abrams finalizado. Fuente: propia*

### Ensayo de Compresión

Por cada contenedor, de una de las amasadas se fabricarán 2 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm para comprobación de las resistencias a compresión.

La resistencia a compresión, a 28 días, exigida a los contenedores individualmente para su uso como unidad de almacenamiento será ≥ 41,3 N/mm².

Para el control estadístico, se tomarán lotes de 24 amasadas tomándose 1 muestra (2 probetas) por contenedor.

Adicionalmente y al objeto de comprobar la resistencia a la compresión del hormigón, en el momento de extraer del molde, se fabricarán dos probetas cilíndricas por contenedor que se conservarán junto a él bajo la carpa de curado a vapor, y se romperán antes de la extracción del contenedor para garantizar una resistencia mínima de 17,5 N/mm².

Cada 60 contenedores se obtendrá una curva de resistencia del hormigón, con rotura de probetas a compresión a 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días de su fabricación.

*Máquina para la realización del ensayo a compresión. Fuente: propia.*

*Resultado a 29 días del ensayo a compresión. Fuente: propia.*

### Ensayo de Flexotracción

Por cada contenedor, de una de las cuatro amasadas se fabricarán 2 probetas prismáticas de 10x10x40 cm para la comprobación de la resistencia.

La resistencia a flexotracción exigida a 28 días será superior a 3 N/mm².

*Máquina para el ensayo a flexotracción. Fuente: propia.*

## Identificación

### Identificación de fabricación

Cada contenedor y cada tapa se identifican inequívocamente, una vez desencofrados, con una letra seguida de seis dígitos, con el significado siguiente:

La letra A, B, C o D para contenedores CE-2a y E, F, G o H para contenedores CE-2b, identificativas de cada uno de los cuatro juegos de moldes que se dispone.

Los seis dígitos corresponden a la fecha de hormigonado. Ejemplo: B011020; corresponde a un elemento fabricado con el molde B y hormigonado el día 1 de noviembre de 2020.

La identificación se hará sobre dos de las caras del contenedor y en la cara superior de la tapa.

Cuando un contenedor o una tapa sean rechazados, por cualquier anomalía, se pintará un aspa roja (X) de 30-40 cm aproximadamente, en el centro de cada una de las cuatro caras laterales en el caso de que sea rechazado el contenedor y en el centro de la cara superior de la tapa, cuando sea ésta la rechazada, procediendo a la eliminación del elemento no conforme.

Cuando un contenedor o una tapa, sean retenidos por cualquier anomalía, se colocará una etiqueta amarilla de material retenido y se pegará una cinta adhesiva de color blanco, en forma de aspa (X) de 30-40 cm aproximadamente, en el centro de cada una de las cuatro caras laterales en el caso de que sea el contenedor, y en el centro de la cara superior de la tapa, cuando sea ésta la retenida; hasta posterior decisión.

### Identificación como Unidad de Almacenamiento

La identificación definitiva se realizará de acuerdo a las instrucciones y solicitud del Jefe de Servicio de Acondicionamiento y Almacenamiento, las cuales son:

Se pide una cantidad por ejemplo, X contenedores, se pondrá UA20-X (siendo 20 el año 2020 y la X la cantidad pedida). Esto se pondrá en todas las caras del contenedor y en todos los bordes enfrentados. También se tiene que añadir el peso bruto admisible (PMA) 27,5 TN en una de las caras del contenedor. Se pondrán como tipo A en una de las caras del contenedor.

## Preparación para el transporte de contenedores vacíos

Antes de proceder a su carga, habrá que asegurarse que el contenedor en acopio, está identificado y ha superado todos los requisitos de control de calidad aplicables.

La carga sobre camión se realizará con Nuspreader existente en la nave de fabricación.

Para el transporte de contenedores y tapas se realizará con las condiciones oportunas de seguridad que garanticen la integridad de los elementos.

## Conclusiones

En el diseño y construcción de los contenedores y de las instalaciones, se han utilizado las tecnologías más avanzadas, dándole también la máxima importancia a su integración en el entorno, al medioambiente, a la seguridad y a la calidad.

El sistema de almacenamiento, se basa fundamentalmente en la interposición de barreras de ingeniería y barreras naturales, que aíslan de forma segura los materiales almacenados durante el tiempo necesario para que se conviertan en sustancias inocuas.

El Cabril está considerado por la Nuclear Regulatory Commission (NRC) estadounidense como una de las mejores instalaciones de almacenamiento de residuos radiactivos del mundo, sirviendo de referencia para centros similares en otros países.

# CELESTINO SANZ ORTEGA

***¿Dónde y cuándo naciste?***

Nací un seis de abril de 1947 en Tordesillas (Valladolid), soy el cuarto de siete hermanos. Por necesidades del trabajo de mi padre (Guarda forestal del Distrito y Patrimonio), nos trasladaron a León en febrero de 1960.

***¿Dónde estudiaste Minas y por qué escogiste esta carrera? ¿Crees que fue acertada esta decisión?***

Estudié Minas en León, atraído por el ambiente minero que había en la zona, viendo a diario de lunes a sábados, los mineros con su lámpara de carburo y mochila con la comida, andando una hora de ida y otra de vuelta para ganarse el jornal, al final de la jornada volvían a casa con la cara negra.

En aquellos momentos, creo que fue acertada la elección y no puedo comparar cómo me hubiera ido con otra carrera que no he tenido. Es posible qué en estos momentos, la decisión hubiera sido distinta.

***¿Has realizado otros estudios? ¿Cuáles?***

Durante los años (1963-64 y 64-65) realicé Capataz Agrícola en la Granja Florencia, dependiente de La Universidad Laboral de Zamora.

Los años 1965-66, 66-67 y 67-68 realicé los tres años de Oficialía (Delineante Industrial) y Reválida en León.

El curso 1968-69, al no existir la especialidad en León, realicé 1º de Maestría en Valladolid.

El curso 1969-70, volví a León para realizar 2º curso de Maestría y la Reválida.

En 1972-73, 73-74 y 74-75 realicé los estudios de Ingeniero Técnico de Minas y a la vez, dando clases de Dibujo Técnico en los colegios de La Asunción y los Padres Carmelitas (ambos en León)

En los cursos 1976-77 y 1977-78 realicé los cursos de 1º y parte de 2º de Ingeniería Industrial en la U.N.E.D. de Calatayud (Zaragoza).

***¿Tienes antecedentes familiares mineros?***

Como ya comenté al principio, en la zona había ambiente Minero, siendo el medio de ganar un jornal en forma continuada. La mayoría de los hombres del pueblo trabajaban en la mina y entre ellos uno de mis hermanos.

Yo, siendo estudiante, llegué a trabajar durante los veranos, haciendo calicatas para la búsqueda de posibles minas.

***Una vez terminados tus estudios ¿encontraste trabajo pronto?***

En junio de 1975 terminé la carrera de Ingeniero Técnico de Minas en la especialidad de Instalaciones Electromecánicas Mineras y me salió trabajo en Arabia Saudí (área del petróleo) lo deseché por estar casado y con dos hijos de uno y dos años y medio.

En octubre, me matriculé en la especialidad de Sondeos y Prospecciones, y en diciembre lo dejé al salirme trabajo para ENDESA en Andorra (Teruel) sección de Minas en el periodo comprendido entre 1975 a 1985 (siendo responsable por separado de: Mantenimiento Mecánico, Mantenimiento Eléctrico, Servicios Generales, Preparación de Estériles. Posteriormente pasé a Central Eléctrica (Endesa) en el periodo de 1986 a 1998 (parque de carbones) donde me prejubilé en septiembre de 1998.

***Háblanos de tu carrera profesional.***

Al terminar la carrera, me llamaron para entrevistarme en Endesa (oficinas centrales en Madrid) con el fin de ocupar un puesto de Ingeniero Técnico de Minas en la Delegación de Andorra (Teruel). El 1/12/1975 me incorporé en el puesto de la MINA OPORTUNA donde pasé toda la vida laboral referente a la minería.

***¿A qué te gusta dedicar tu tiempo libre?***

Al prejubilarme en 1998, realicé tres cursos de fotografía en la Escuela de Fotografía Spectrum Sotos (calle Concepción Arenal 19, Zaragoza), niveles Básico, Medio y Superior. Hemos viajado el matrimonio por distintos lugares.

***¿Cómo ves el futuro de la profesión?***

Al terminar la Guerra Civil en España 1939, el país quedó bajo mínimos en trabajos y medios de vida. Con el paso del tiempo, todo fue mejorando lentamente y en la década de los 70 resulto fácil encontrar trabajo en la forma que fuera, y así hemos llegado al estado actual regresivo que nuestra generación nunca conoció, sin saber el final que tendremos…

Personalmente, veo el futuro en su conjunto poco halagüeño.

***¿Qué destacarías de tu vida profesional?***

Tengo muy buenos recuerdos de los compañeros de trabajo y de los equipos que llevé a mi cargo.

Cuando uno se encuentra estudiando la carrera, normalmente no tenemos más que compañeros de

estudios. Al terminar, cambiamos de compañeros, trabajo…

Comencé mi vida laboral en ENDESA, primero en minería durante diez años y después en la Central Térmica de Andorra (Teruel) hasta la prejubilación en 1998.

***De no ser Ingeniero Técnico de Minas, ¿Que te hubiera gustado ser?***

Antes y durante la carrera, me dediqué a dar clases de Matemáticas y Dibujo técnico. De no haber llevado la vida laboral que llevé, me hubiera gustado dedicarme a la enseñanza y con la misma carrera.

***¿Qué destacarías de positivo y de negativo en nuestro Colegio Profesional?***

El colegio es una corporación de Derecho Público con personalidad jurídica propia y plena capacidad para la consecución de sus fines. Dentro de nuestro colegio, están los colegiados que necesitan del mismo para el desempeño de su trabajo y otros que no necesitan del mismo.

Yo, lo considero como lugar de encuentro entre las personas con idéntica formación, que por medio de las reuniones y eventos realizados, mantenemos el contacto entre todos los colegiados, esto al principio era así, actualmente por distintos motivos es muy diferente.

***¿Y de nuestra profesión?***

En estos momentos que vivimos, deseo que nuestra profesión siga como poco igual, y a poder ser, mejor. Es posible que volvamos a tiempos pasados…

***¿Qué opinión te merece el nuevo plan de estudios?***

Para cualquier cambio, es necesario que intervengan todas las partes implicadas en el mismo.

En esta democracia que se ha ido formando antes, ahora y cada vez más, los políticos son los que deciden dejando mucho que desear en cuanto a su preparación.

***¿Qué consejo de los que te hayan dado has seguido con éxito?***

No creerme superior a los demás y tratarles como personas, a la vez que ellos me consideran como uno más del grupo.

***¿Quieres transmitir alguna propuesta a la Junta de Gobierno y en especial para nuestro Boletín Aragonito?***

Para la Junta de Gobierno, tratar que el Colegio sea de todos y para todos.

En cuanto al Aragonito, es el único medio que se mantiene para todos. Enhorabuena a los promotores.

**Muchas gracias, Celestino. Agradecemos que, a través de esta entrevista, hayas hecho un breve recorrido de tu vida profesional. Esperamos que la entrevista haya sido el inicio para que recibamos de tu larga experiencia y de tu buen hacer algún otro artículo.**

**Un afectuoso saludo.**

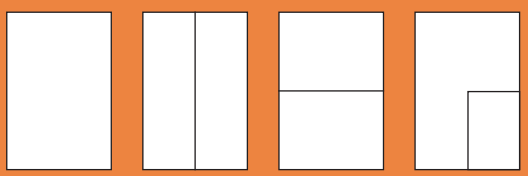
**El Consejo de Redacción**


# Publicidad

**Estimados compañeros y simpatizantes, os animamos que anunciéis vuestras empresas en nuestra revista "Aragonito"**

***"Aragonito" quiere ser tu espacio publicitario***

## Tarifas (precios sin IVA)



Opción A, B y C | Opción D | Opción D | Opción E

**Página completa:**

Opción A: Contraportada, 300 €
Opción B: En interior contraportada, 240 €
Opción C: En interior revista, 220 €

**Media página interior:**

Opción D: Horizontal o vertical, 160 €

**Un cuarto de página interior:**

Opción E: 100 €

- La confección del anuncio corre a cargo del anunciante.
- El anuncio se entregará en soporte digital, en formato tif, jpg o eps.

# Aplicación del método sísmico MASW para el Cálculo de Escenarios de Movimientos Sísmicos en Zona Urbana (II)

**JUAN FRANCISCO NAVARRO LÓPEZ**

(Ver currículum Aragonito nº 30)

***Nota del autor.*** *Recordemos que en la **1ª Parte** se presentó la zona y los objetivos del estudio, se ofreció una aproximación a la parte teórica del método y los equipos necesarios para la realización del trabajo de campo.*

*En esta **2ª Parte** se representa un ejemplo práctico de toma de muestras y datos en campo, el tratamiento de estos en gabinete y los resultados obtenidos en uno de los perfiles de la ciudad de Roquetas de Mar (Almería).*

## 1. Ejemplo práctico

Durante los apartados siguientes se va a exponer la recogida y el tratamiento de datos de un perfil tipo. Los pasos que se indican a continuación, se pueden aplicar a todos los perfiles realizados en el estudio, salvando algunas particularidades que puedan tener unos perfiles respecto a otros. Como norma general estos son los pasos a seguir:

### Perfil tipo

Un perfil contiene un número indeterminado de estaciones, en nuestro caso tenemos perfiles de hasta 45 estaciones. Estas estaciones son las proporcionadas por el sismógrafo cada vez que toma una lectura de las ondas provocadas por la fuente sísmica y recogidas a su vez por los geófonos. Se han obtenido perfiles en los que, por circunstancias del tráfico, tales como obstáculos (rotondas, obras, charcos…), se tuvieron que hacer varios perfiles por tramos. Por tanto, hay perfiles con un solo tramo y perfiles divididos en varios tramos, hasta 4 tramos en algún caso. A continuación, se muestra cómo se genera un perfil completo:

- Se dispone de la fuente sísmica (en este proyecto sólo se utilizó el método activo para la toma de datos en las zonas de estudio): Pisón compactador manual o "rana" y una chapa metálica. Se coloca la chapa metálica en el suelo y con el pisón golpeamos la chapa generando las ondas sísmicas.

*Ilustración 1. Fuente sísmica en una estación (Fuente: Propia)*

- La fuente sísmica crea unas ondas superficiales que son recogidas y grabadas por los 24 geófonos con una frecuencia de recepción de 4.5 Hz. Estos geófonos están distribuidos en un land streamer separados entre sí en dos metros.

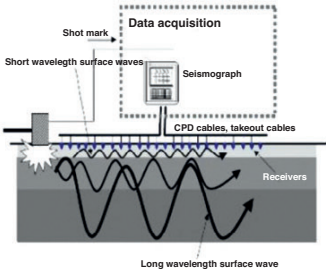



*Ilustración 2. Adquisición de datos y registro de ondas sísmicas (Fuente: http://www.geoarsrl.com/maswl)*

Como se observa en la ilustración 2 las ondas creadas por la fuente sísmica recorren el subsuelo y estas son grabadas por los geófonos y transmitidas al sismógrafo.

- Los datos son registrados por el sismógrafo creando un disparo o estación. Cabe destacar que el sismógrafo recoge los datos que previamente se le han introducido mediante unos parámetros. Estos parámetros fueron:
  - un tiempo de grabación de 4096 ms,
  - 24 geófonos y
  - un stack de 3 (se realizan 3 golpes en una estación con la fuente sísmica).

Las señales registradas en ensayos activos suelen estar alteradas por la presencia de vibraciones ambientales (ruido). Para mejorar la calidad de los resultados obtenidos, se pueden combinar las señales obtenidas en distintos ensayos para una misma fuente activa (técnica conocida como apilamiento (stacking)), lo que permite reducir el ruido presente en la señal. Como se puede observar en la ilustración 3.

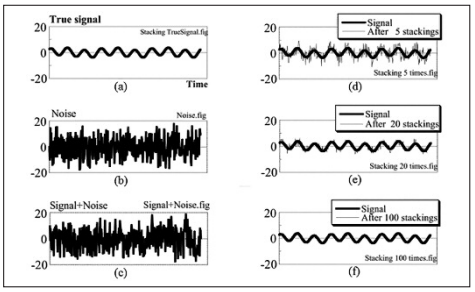



*Ilustración 3. Esquema que resume el proceso de apilamiento (stacking) (Fuente: Towhata, 2008)*

- Una vez realizada una estación, se mueve el land streamer 10 metros y se repite todo el proceso anterior para conseguir otra nueva estación y así hasta alcanzar un perfil completo. Un ejemplo de esto se puede observar en la ilustración 4.

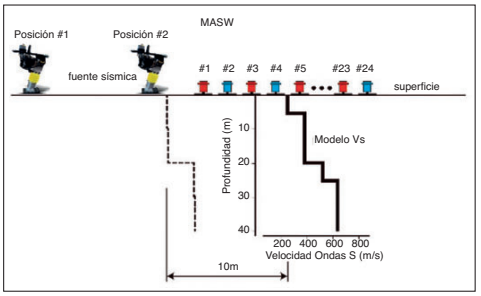



*Ilustración 4. Esquema de avance del Land streamer (Fuente: Propia)*

- Cuando se han obtenido estaciones suficientes o no se puede continuar avanzando por problemas ajenos a la técnica, como por ejemplo la finalización de una vía o calle, donde se estaba realizando el perfil, o la existencia de una rotonda dónde es imposible detener el tráfico, se introducen los datos en el software de MASW, en concreto en el software SurfSeis.
- Dentro del software se aplica la geometría de recepción de datos, es decir, se indica la forma en la que se tomaron los datos en campo para que el software pueda "entender" los datos introducidos.
- En este proyecto se ha utilizado un offset (distancia de la fuente sísmica hasta el primer geófono) de 4 metros. Como se ha comentado anteriormente los geófonos están a una distancia entre sí de 2 metros y además hay que añadir la dirección de movimiento del land streamer. Un ejemplo de la introducción de estos datos se observa en la ilustración 5.

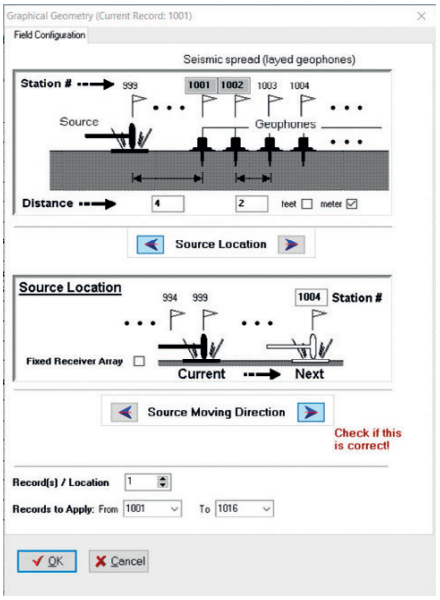



*Ilustración 5. Geometría de adquisición de datos introducidos en software SurfSeis (Fuente: Propia)*

- A continuación, se realiza un overtone (compilación de todas las estaciones que forman un perfil) ajustando las frecuencias mínimas y máximas, las velocidades de fases y el contraste de las imágenes que queremos que se muestren. Se observa en la ilustración 6.

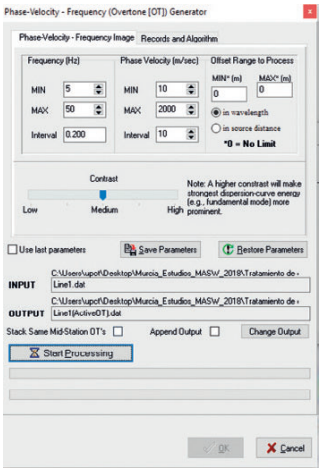



*Ilustración 6. Overtone (Fuente: Propia)*

- Ahora comienza la parte más subjetiva del proceso. Esto significa que cada técnico o cada experto en la materia vislumbra las ondas de una manera distinta. El programa "deja" al técnico la capacidad de "picar" o de establecer cuál es el módulo fundamental de las ondas sísmicas.
  Así, el módulo fundamental es la onda con menor frecuencia y mayor energía, representada en la curva de dispersión de la ilustración 7. Esta nos sirve para poder hacer los perfiles o cortes del subsuelo.

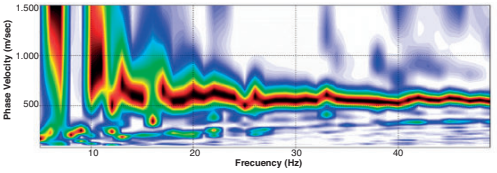



*Ilustración 7. Curva de dispersión en software SurfSeis (Fuente: Propia)*

- Finalizado el proceso de "picado" de los módulos fundamentales de todas las estaciones pertenecientes a un determinado perfil, se realiza la inversión. Esto es una aproximación por mínimos cuadrados a las ondas descritas anteriormente (representado en la ilustración 8), siendo este un esquema 1-D, que realiza el software y que nos devuelve el corte o perfil del subsuelo que es el objetivo final del procesado de datos. (Ilustración 9). En esta ilustración el software suma o compila todos los esquemas 1-D para crear el perfil 2-D.
- Para una mejor interpretación de los resultados, se utiliza otro software llamado Surfer (un poderoso programa de mapeo 2D y 3D, de modelado

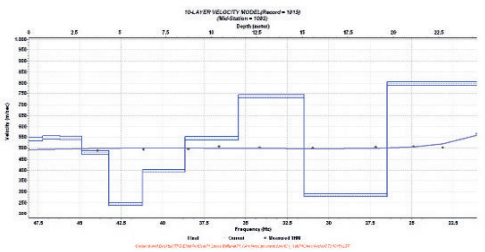


*Ilustración 8. Mapa 1-D Vs Resultados de la Inversión en software SurfSeis (Fuente: Propia)*

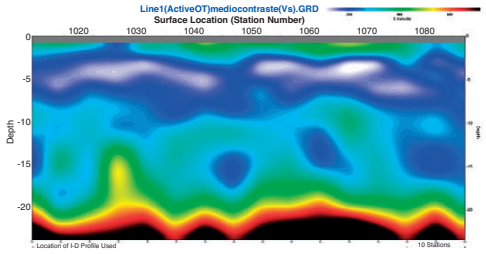



*Ilustración 9. Resultado de la Inversión en software SurfSeis (Fuente: Propia)*

y análisis diseñado para facilitar una comprensión más profunda de los datos geoespaciales). En este software se interpretan los resultados obtenidos con el SurfSeis. La ilustración 10 muestra un ejemplo de un perfil en Surfer.

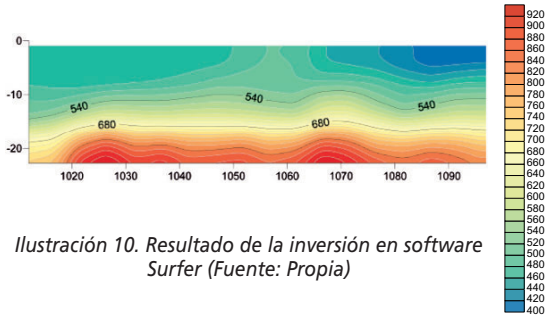



*Ilustración 10. Resultado de la inversión en software Surfer (Fuente: Propia)*

## 2. Resultados

### Roquetas de Mar

Roquetas de Mar es un municipio situado en el sureste de España, concretamente en la provincia de Almería, dentro de la comunidad autónoma de Andalucía.

*Ilustración 11. Localización de Roquetas de Mar (Fuente: Propia)*

### Geología

El municipio de Roquetas de Mar ocupa una llanura pliocuaternaria que se extiende al borde meridional de Sierra de Gádor, Campo de Dalias, que se fue formando por los aluviones que tienen su origen en la erosión y derrames de dicha Sierra. El extremo Norte del municipio recoge las estribaciones de la Sierra, con alturas que superan los 600 m, apenas a 5 Km. de la costa. Este relieve, considerablemente marcado por abarrancamientos, da paso a la plataforma cubierta por los materiales detríticos, resultado de la denudación de la Sierra. Así, las dos terceras partes del municipio se encuentran por debajo de los 100 m de altitud, expuestas a Levante. Se aprecia en esta zona conos de deyección generados por los aportes de Rambla Honda o de las Hortichuelas, que se han formado en períodos de intensas y torrenciales precipitaciones como producto de la confluencia de la red fluvial ocasional con una llanura costera. La corriente de los torrentes pierde velocidad al llegar al llano, depositando los materiales; la sucesión de niveles y depósitos provoca la colmatación de las áreas, extendiéndose en forma de abanico. Estos sedimentos recubren y enmascaran todos los depósitos anteriores llegando a alcanzar más de 150 m. de potencia, en algunos lugares.

**(https://www.roquetasdemar.es/)**

En la siguiente ilustración (12) se puede apreciar el mapa geológico de la ciudad de Roquetas de Mar.

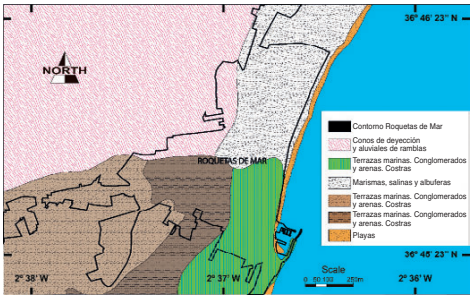



*Ilustración 12. Geología de Roquetas de Mar (Fuente: Universidad de Almería)*

En este enclave urbano durante los pasados días 9, 10 y 11 de octubre del año 2017, se realizaron la toma de datos de los 6 perfiles o 9 tramos que se analizaron, como muestra se ha escogido el primer perfil para esta publicación.

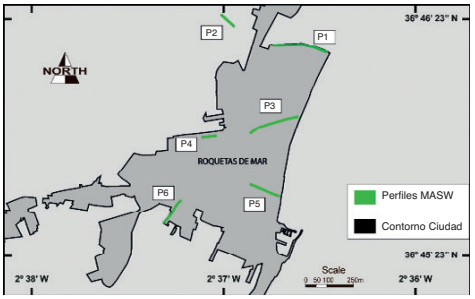



*Ilustración 13. Perfiles realizados en Roquetas de Mar (Fuente: Propia)*

En la imagen superior (13) se muestran los perfiles realizados en Roquetas de Mar con un total de 6, de diversas longitudes, obteniendo un total de 2.192 metros analizados.

Todos los perfiles realizados en Roquetas de Mar fueron con la misma fuente sísmica (pisón compactador manual o "rana").

La inversión realizada desde las curvas de dispersión han sido obtenidas introduciendo un índice de Poisson de 0,4. El coeficiente o índice de Poisson es un parámetro característico de cada material que indica la relación entre las deformaciones longitudinales que sufre el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el mismo. El coeficiente de Poisson está comprendido entre 0 y 0.5

La descripción que se hace de las imágenes (los resultados obtenidos), se hacen según el Eurocódigo 8 por ser la normativa europea de referencia, ser más visuales y más fácilmente interpretables.

En la ilustración 14 se puede observar en primer lugar la zona donde se tomaron los datos con el método **MASW**. Esta zona está muy próxima al mar y con muy

**Perfil Roquetas 1: tramos R1 y R2**

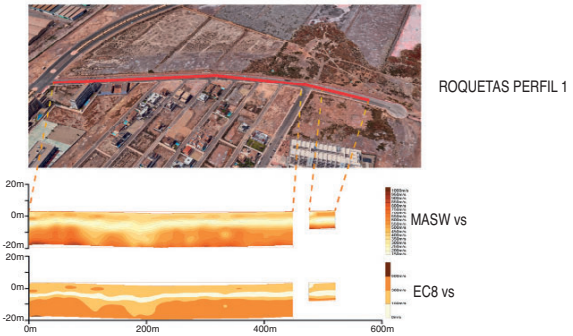



*Ilustración 14. Perfil 1 en Roquetas de Mar (Fuente: Propia)*

poco tráfico. Acto seguido vemos los dos tramos R1 y R2. El tramo R1 consta de 45 estaciones y el tramo R2 de 4 estaciones.

En este perfil se aprecian 3 capas bien diferenciadas. (Según EC8)

- La primera capa, más superficial que se detecta entre la superficie y aproximadamente los 12 metros de profundidad, llegando en algunas zonas incluso a los 20 metros, nos muestra una velocidad de cizalla entre 180 y 360 m/s. Con esto se clasifica como **tipo C: SUELO MEDIO O BLANDO**.
- Una segunda capa embebida dentro de la primera capa y a una profundidad entre los 8 y 10 metros bastante paralela a la superficie, con una velocidad inferior a 180 m/s. Esta capa es del tipo **D: SUELO BLANDO**.
- Una tercera capa que aparece más o menos a los 12 metros de profundidad, bastante paralela a la superficie, excepto en dos zonas que están algo más profundas, con velocidades entre los 360 y los 800 m/s y que llegan a unos 21 o 22 metros de profundidad. La catalogación es de tipo **B: SUELO DURO Y ROCA BLANDA.**

En el tramo R2 se observa que es una continuidad respecto al R1. El tramo R2 no es tan grande como el primero, porque la fuente sísmica tuvo un problema técnico y no se pudo continuar. Aun así, claramente se observa la concordancia de los estratos.

## 3. Discusión y conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos en los distintos perfiles y en la zona de estudio, se va a proceder a abordar toda la información recopilada.

- En la aplicación del método no destructivo **MASW**:
  - Para utilizar el método es necesario disponer de unas herramientas específicas: geófonos, sismógrafo, software específico…
  - Es necesaria una especialización por parte de los técnicos para su aplicación, no solo en esta técnica geofísica, sino también, en otras complementarias para la realización de futuros proyectos.
  - El método es de fácil y rápida aplicación, obteniendo datos fiables del subsuelo.
  - Como es una obra móvil, es decir, es una obra en la cual hay que desplazar el equipo constantemente, es necesario la presencia de protección civil o de la policía local para la ayuda en la organización del tráfico.
  - Esta técnica geofísica es la mejor opción para utilizarla en ciudades con ruido ambiental. Existen otras técnicas geofísicas para realizar la caracterización del subsuelo como sondeos, etc., pero son métodos destructivos y difíciles de realizar en estos medios urbanos, ya que habría que perforar el asfalto, con la problemática que ello conlleva.
  - En este caso y dada la existencia del ruido ambiental de las ciudades, se ha realizado el método activo con fuente sísmica, pero la técnica **MASW** permite realizar no solo la aplicación del método con la fuente activa, sino también utilizar el método pasivo, realizando una comparación entre ambos y combinarlos para llegar a más profundidad en el subsuelo.
  - Gracias al método **MASW** se consigue obtener una clasificación del subsuelo según el Eurocódigo 8, normativa sísmica de referencia a nivel europeo, agrupando los terrenos en función del coeficiente de velocidad de las ondas de cizalladura (Vs). Sin embargo, es conveniente destacar, para la verificación de los datos logrados y corroborar la existencia de los sustratos obtenidos, la realización de sondeos.
- Zona de estudio: Roquetas de Mar.
  - En los perfiles nos encontramos en un entorno en el que la roca dura o de tipo A, se encuentra más o menos a una profundidad de 20 a 22 metros.
  - En los perfiles más próximos al mar se observa una capa de suelo suelto, (ilustración 14) de cohesivo a no cohesivo (tipo D), a poca profundidad y totalmente horizontal con la superficie.
    * Como primera hipótesis: podrían ser arenas muy finas o materiales sedimentarios que hayan sido transportados por el viento hacia el interior de la tierra desde la orilla del mar, quedando "atrapados" entre capas más duras.
    * Como segunda hipótesis: podrían ser canalizaciones de agua, tipo tuberías o filtraciones del terreno que utilicen ese material menos cohesivo y desemboquen en el mar. Como podemos observar en la ilustración 15.

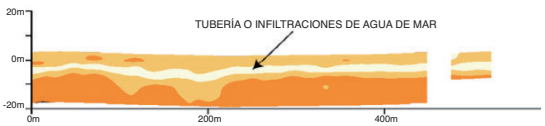



*Ilustración 15. Posible tubería o infiltración de agua en subsuelo (Fuente: Propia)*

## 4. Recomendaciones para la aplicación del método MASW

En situaciones con alto ruido ambiental, la aplicación del método activo puede llegar a ser difícil, ya que el sismógrafo registra numerosas ondas y se debe diferenciar el ruido ambiental de las ondas generadas por nuestra fuente sísmica. Para ello, se pueden aplicar diferentes soluciones:

- Realización de las tomas de datos en distintos horarios:
  Como bien es sabido, las ciudades tienen horas punta (máxima densidad de vehículos, de peato-

nes…) en definitiva, ruido ambiental de bajas frecuencias que provocan la disminución de la calidad de nuestra señal. Tomando los datos en horarios dónde no exista tanto ruido ambiental, el procesamiento de estos será mucho más asequible.

- Combinación de señales para la reducción del ruido ambiental (apilamiento o stacking)
  - Es necesario disponer de un trigger a la hora de la generación de las ondas sísmicas con la fuente activa. Si se apilan más ondas, más limpia se verá la curva de dispersión sobre la que se va a trabajar.
  - Hay un momento en el cual, es indiferente el número de golpes realizados con la fuente sísmica, puesto que no se consigue una mejora sustancial. En ese momento, es el técnico responsable de la toma de datos el que debe decidir cuantos "golpes" se le aplicarán a la placa metálica con la fuente sísmica.
- Utilización de los filtros del software para la reducir el ruido ambiental.
  Una vez que ya tenemos los datos en nuestro programa, podemos aplicarle filtros según las frecuencias registradas por el sismógrafo y así eliminar posibles ruidos o fallos de los geófonos.
- Eliminación de señales muy energéticas que distorsionen nuestro modulo fundamental.
  Eliminando señales que sean más rápidas que nuestras ondas o más lentas, conseguiremos una limpieza en la señal que nos proporcionará resultados más fiables.

Aunque hayamos reducido el ruido ambiental al máximo, siempre podemos hacer una combinación de nuestras curvas de dispersión.

- Combinación de curvas de dispersión para resaltar las ondas con mayor energía
  A la hora de "picar" nuestra curva de dispersión podemos combinarla con la misma curva de dispersión para resaltar las zonas más energéticas y así poder afinar más en el procesado de los datos. Como se puede observar en las ilustraciones 16 y 17.

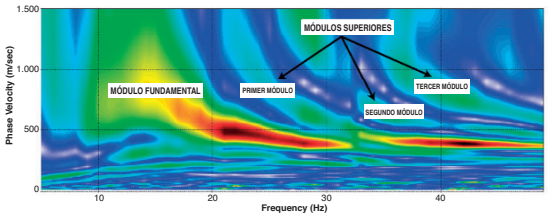



*Ilustración 16. Curva de dispersión simple (Fuente: Propia)*

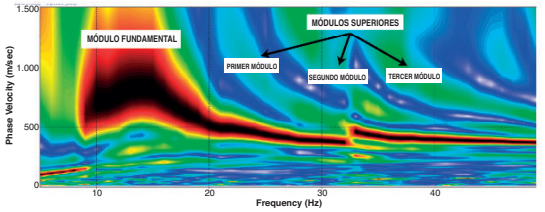



*Ilustración 17. Curva de dispersión combinada (Fuente: Propia)*

Para obtener distintos perfiles y ajustarlos a la realidad debemos ajustar el coeficiente de Poisson.

- Cambios en el coeficiente de Poisson.
  Al ajustar nuestro coeficiente de Poisson al terreno que estamos estudiando, el programa nos devolverá un resultado mucho más fiable que si utilizamos el mismo para todos los perfiles.

Para poder georeferenciar nuestro estudio es conveniente utilizar el GPS.

- Utilización del GPS en nuestro estudio
  Cada vez que tomemos datos en una estación, podemos utilizar el GPS para poder georeferenciar nuestro estudio y luego utilizar múltiples plataformas digitales para incorporar dichos datos a mapas y planos topográficos.

## 5. Futuras líneas de investigación

- Actualmente se encuentra en proceso de fabricación una nueva fuente sísmica activa con la que se pretende llegar a profundidades mayores que las obtenidas en el presente estudio.
- Otra línea de investigación podría ser la comprobación de las variaciones de los resultados con el coeficiente de Poisson según los distintos tipos de terrenos.
- Por otro lado, otra línea será la toma de datos con fuentes activas y con fuentes pasivas para combinarlas y ver su funcionalidad en el procesamiento posterior y los resultados que se puedan obtener.
- La comparación de los resultados obtenidos por el método variando los módulos de las ondas en la obtención de las curvas de dispersión.
- Finalmente, destacar que se podría realizar la búsqueda de cavidades o huecos en los subsuelos y con ellos determinar sus dimensiones.

## 6. Producción científica

Gracias a este estudio, se reflejaron distintas aportaciones científicas, en diferentes congresos tanto a nivel internacional como a nivel nacional.

Expongo los encabezamientos de los distintos congresos:

**Site effects zonation of Roquetas de Mar town (SE Spain) from seismic methods and geotechmical surveys**

M. Arrien[1], A. Garcia-Jerez[1], M. Martínez Segura[2], I. Valverde-Palacios[3], H. Seivane[1], F.J. Sánchez-Sesma[4], M. Navarro[1], F. Luzón[1], J.F.Navarro[2] and J. Piña Flores[4]
**Juan Francisco Navarro López**[2] and J. Piña Flores
(1) Universidad de Almería, Dpto. de Química y Física; Spain; (2) Universidad Politécnica de Cartagena, Dpto. de Ingeniería Minera, Geológica y Cartografica, Spain; (3) Universidad de Granada, Dpto. de construcciones arquitectónicas, Spain ; (4) Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

**Comprobación de la fiabilidad de distintas fuentes sísmicas en la aplicación del Método MASW**

M. Cristina García Nieto[1], Marcos A. Martínez Segura[1], Gregorio Sánchez Olivares[2], **Juan Francisco Navarro López**[1], Pedro Martínez Pagan[1]
(1) Dpto. de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica. Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XII nº 52 30202
(2) Dpto. de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Cartagena
**I Jornadas Doctorales de la UPCT. Lunes 16 de Abril de 2018**

**Application of Multichannel Analisis of surface Waves to obtain soil Classification of El Ejido Town**

Cristina García Nieto[1], Marcos A. Martínez Segura[1], Antonio García Jerez[1], **Juan Francisco Navarro López**[1], Manuel Navarro[1], M. Arrien[1], H. Seivane[1]
(1) Dpto. de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica de la UPCT.

# Drenaje de taludes en explotaciones de lignito negro a Cielo Abierto

**MODESTO ÚBEDA RIVERA**
Vocal y Colegiado nº 148

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

## Generalidades

La Corta a Cielo Abierto **"A",** explotada entre 1981-1991 de 127 ha de extensión, la **"B"** explotada entre 1986-2002 y, **"B. Oeste"** explotada entre 2007-2009 con una extensión total de 329 ha. Situadas en la Val de Ariño[1], aprovecharon un yacimiento de lignito negro del Albiense mediante el sistema de **"minería de transferencia",** en paneles sucesivos de 150 m de altura. Esta formación Albiense tuvo lugar en un medio sedimentario fluvial que determinó la naturaleza de los terrenos constituidos fundamentalmente por arcillas, arenas, arcillas arenosas alternantes con areniscas, argilitas, limolitas y limos.

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

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

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

En la Corta **"B"** se explotaron la **O, P, R.** La **O** con tres niveles, la **P** con seis niveles y la **R** que tenía el carbón de mejor calidad. En esta Corta se extrajeron cerca de 7,7 millones de T. Dio una producción de inicio

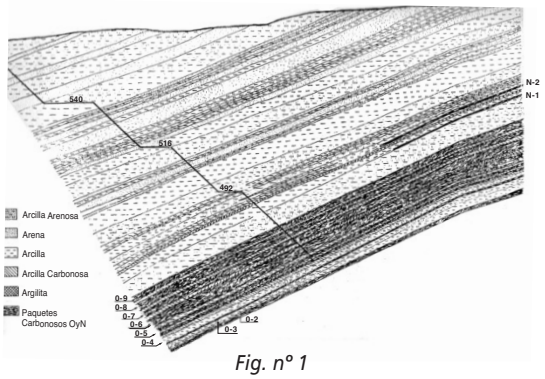
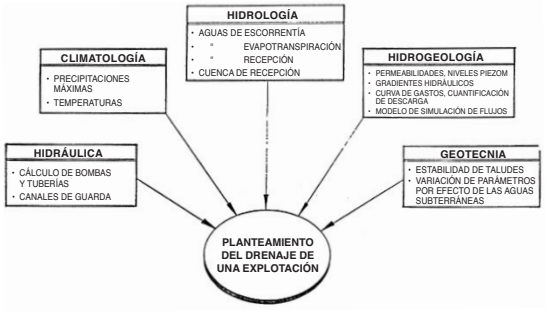



*Fig. nº 1*

en el 1986 de 123.254 T, siendo su máxima producción 600.247 T en el 1992.

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




## Punto de vista hidrogeológico

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

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

1. La Val de Ariño se extiende desde la vertiente meridional de la Sierra de Arcos al Cerro Gorrinero, siendo el límite occidental, el rio Escuriza y el oriental los Cerros de Andorra.

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

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

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

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

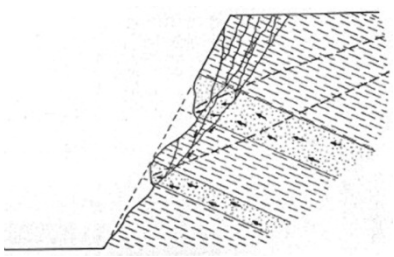


*Fig. nº 2 A. Efecto de socavación el agua en el talud*

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

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

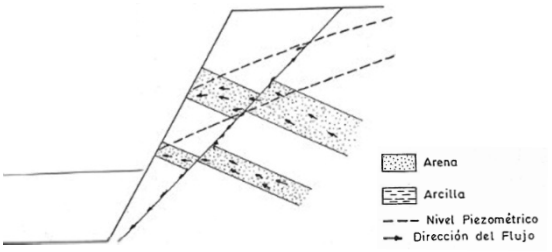



*Fig. nº 2 B. Empuje lateral del agua*

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

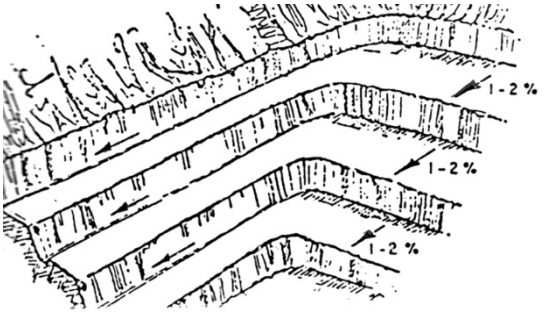



*Fig. nº 3*

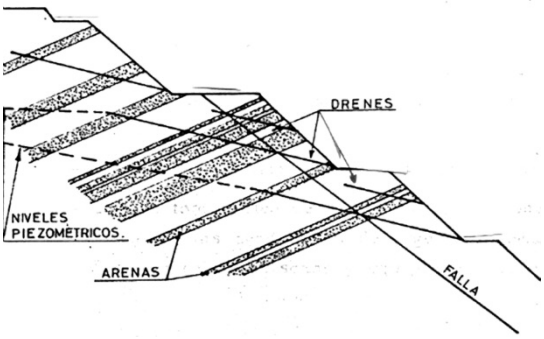
La tercera fue desarrollar la explotación de cada panel en dos formas; una en la que se profundiza la mina en los bancos superiores sin llevar el talud a su posición definitiva, y otra en que, mientras se extrae el carbón de los bancos ya abiertos, se retranqueaban los taludes hasta su posición final.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

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

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

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

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




*Esquema de drenajes en talud*

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

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

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

*Sonda de medición de niveles piezométricos*

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

Los sondeos se realizaban con una sonda Neptuno 1500, fig. nº 4, por el sistema de rotación y circulación directa de lodos.

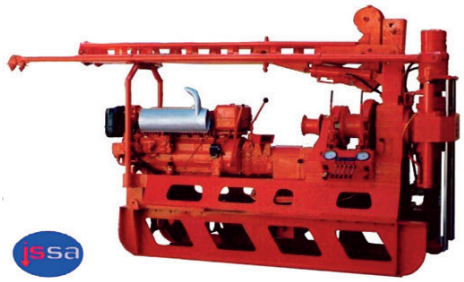


*Fig. nº 4*

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

Las características de esta sonda eran:

| | |
|---|---|
| **Cabezal de rotación:** | |
| Velocidad | 150-1000 rpm |
| Par | 240 m Kg |
| Ángulo de perforación | 360º |
| **Sistema hidráulico:** | |
| Empuje | 55 KN |
| Extracción | 77,5 KN |
| Velocidad de empuje | 15,9 cm/seg |
| Velocidad de extracción | 12,7 cm/seg |
| Maniobras | 6 m |
| Longitud del husillo | 750 m/m |
| **Mordaza hidráulica:** | |
| Capacidad axial | 47 KN |
| Diámetro agujero | 93,5 m/m |
| **Cabrestante de maniobra:** | |
| Potencia | 60 KN |
| Diámetro del cable | 16 m/m |
| Capacidad | 45 m |
| **Cabrestante wire line:** | |
| Potencia | 10 KN |
| Elevación | 241 m/seg |
| Capacidad | 800 m |
| Diámetro del cable | 6 m/m |

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

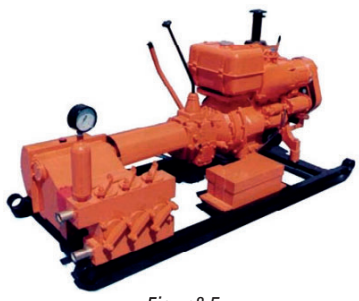


*Fig. nº 5*

Las características principales de esta bomba de inyección eran:

1. Caudal máximo ..... 226 l/minuto
2. Presión máxima ..... 35 bar
3. Motor ..... Diesel
4. Variación caudal ..... Caja de cambios
5. Montaje ..... Chasis de patines

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

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

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

El procedimiento que seguíamos para la realización de drenes era:

a) Perforar con tricono de 3" hasta un máximo de 40 m.
b) Recrecer la perforación a 4 ½".
c) Entubar con tubería de PVC de 90 m/m (si en este tramo existían niveles de arena, la tubería se ranuraba).
d) Perforar el resto del sondeo con diámetro de 3".
e) Entubar con tubería ranurada de PVC de 50 m/m que servía de filtro para la extracción de agua.

La razón por lo que el 1er tramo se perforaba en 2 pasadas de 3" y de 4 ½", se basaba en que la maniobra de recrecimiento era más rápida que si perforabamos directamente con 4 ½", por lo que se disminuía el tiempo en que la pared del sondeo permanecía abierta antes de que se introdujera la tubería de PVC de 90 m/m para sujetarla y de esta manera se reducía la posibilidad de derrumbamiento de la misma y la ejecución del resto del sondeo se ejecutará en menos tiempo, antes de introducir la tubería filtrante. Fig. nº 6.

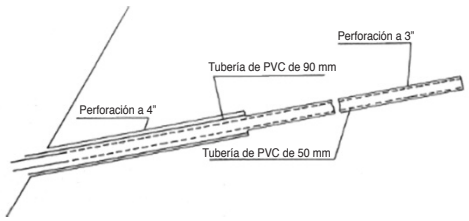



*Fig. nº 6. Esquema de un sondeo*

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

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

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

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

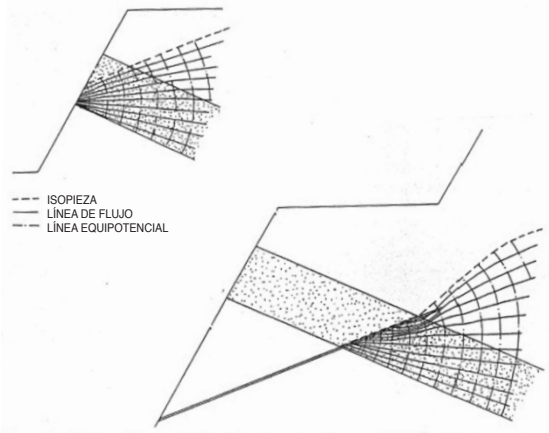



*Fig. nº 7.*

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

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

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

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

## Fuentes

Propias y vividas

Simposio internacional del agua en la minería.

Drenaje de taludes. Abril Gómez, H.

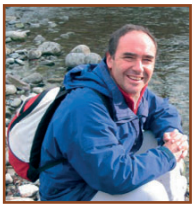
VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Tomo 4. Barcelona 1984

Andorra (Teruel) actuaciones ambientales en centros mineros de ENDESA.

# Legislación

| B.O.A. | FECHA | EMITIDO | EXTRACTO DEL CONTENIDO |
|---|---|---|---|
| 96 | 18-05-2020 | Dpto. de Ind. Competitividad y Desarr. empresarial | **Orden ICD/385/2020, de 15 de mayo**, por la que se acuerda el levantamiento de la suspensión de determinados procedimientos relativos a energía y a la actividad minera que no comportan compromiso de gasto. |
| 123 | 23-06-2020 | Director General de la Función Pública y Calidad Serv. | **Resolución de 8 de junio de 2020**, del Director General de la Función Pública y Calidad de Servicios. Por la que se convocan pruebas selectivas para la estabilización del empleo temporal, para ingreso en el Cuerpo de funcionario Técnicos de la Comunidad Autónoma de Aragón, Escala Técnica Facultativa, Ingenieros Técnicos de Minas |
| 144 | 22-07-2020 | Director General de Energía y Minas | **Anuncio del Director General de Energía y Minas**, sobre el otorgamiento del permiso de Investigación "Muga Sur" nº 3524 para sales potásicas y sódicas con una superficie de 25 cuadriculas mineras en los términos municipales de Undués de Lerda y Sos del Rey Católico, a favor de la empresa Geoalcalí S.L. |
| 53 | 11-03-2021 | Dpto. de Ind. Competitividad y Desarr. empresarial | **Orden ICD/119/2021, de 25 de febrero,** por la que se aprueba la convocatoria de ayudas en el marco del "Programa de ayudas para actuaciones de eficiencia energética en PYME". |
| 70 | 31-03-2021 | Departamento de Presidencia y Relaciones Institucionales | **Orden PRI/252/2021, de 9 de febrero,** por la que se dispone la publicación del Gobierno de Aragón, el Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Nordeste y el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Minas y Grados de Minas y Energía de Aragón, para la elaboración de un estudio que analice las posibilidades de implantación de un centro tecnológico de la minería a ubicar en uno de los municipios afectados por el cierre de la actividad minero-energética del carbón en la provincia de Teruel. |
| **B.O.E.** | **FECHA** | **EMITIDO** | **EXTRACTO DEL CONTENIDO** |
| 171 | 19-06-2020 | Minist. para la Trans. Ecol. y Reto Demogr. | **RD 553/2020, de 2 de junio**, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado. |
| 175 | 24-06-2020 | Jefatura del Estado | **RD-Ley 23/2020, de 24 de junio**, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica. |
| 250 | 19-09-2020 | " | **Ley 3/2020, de 18 de septiembre**, de medidas procesales y organizativas para hacer frente al COVID-19 en el ámbito de la Administración de Justicia. |
| 303 | 18-11-2020 | " | **RD-Ley 34/2020, de 17 de noviembre**, de medidas urgentes de apoyo a la solvencia empresarial y al sector energético, y en materia tributaria. |
| 305 | 20-11-2020 | Minist. para la Trans. Ecol. y Reto Demogr. | **Orden TED/1079/2020, de 11 de noviembre**, por la que se establecen las bases reguladoras para la concesión de ayudas a la Prevención de Riesgos y Seguridad Minera en el ámbito de una minería autóctona y sostenible. |
| 17 | 20-01-2021 | " | **RD 27/2021, de 19 de enero de 2021**, por el que se modifica el RD 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos y el RD 110/2015, de 20 de febrero sobre RAEE. |
| 23 | 27-01-2021 | Jefatura del Estado | **RD Ley 2/2021, de 26 de enero**, de refuerzo y consolidación de medidas sociales en defensa del empleo. |
| 62 | 13-03-2021 | " | **RD Ley 5/2021, de 12 de marzo**, de medidas extraordinarias de apoyo a la solvencia empresarial en respuesta a la pandemia de la COVID-19. |
| 72 | 25-03-2021 | " | **Ley 1/2021, de 24 de marzo**, de medidas urgentes en materia de protección y asistencia a las víctimas de violencia de género. |
| 77 | 31-03-2021 | Minist. para la Trans. Ecol. y Reto Demogr. | **Orden TED/308/2021, de 17 de marzo**, por la que se concede la renovación de la autorización de explotación de la Central Nuclear de Cofrentes. |
| 87 | 12-04-2021 | " | **Orden TED/340/2021**, de 8 de abril, por la que se modifica la Orden TED/1293/2020, de 28 de diciembre, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de ayudas dirigidas a pequeños proyectos de inversión que generen o mantengan el empleo, promoviendo el desarrollo alternativo de las zonas mineras, para el ejercicio 2020-2023. |
| 89 | 14-04-2021 | Min. de la Presidencia, Relaciones con Cortes y Mem. Democrática | **RD 264/2021, de 13 de abril**, por el que se aprueban las Normas Técnicas de Seguridad para las presas y embalses. |

# Otra aproximación a la restauración de canteras: La restauración geomorfológica, como base para una restauración ecológica exitosa



**JOSÉ MANUEL NICOLAU IBARRA**

*José Manuel Nicolau Ibarra[1], José Francisco Martín Duque[2], Cristina Martín Moreno[2], Ignacio Zapico Alonso[2], María Tejedor[2]*

1. *Universidad de Zaragoza. Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior (Huesca).*
2. *Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas.*

## Minería y sostenibilidad ambiental

La extracción de minerales y rocas es una actividad necesaria para el bienestar de nuestra sociedad. Consumimos minerales en casi todas las actividades que realizamos. No es necesario explicar esto a los lectores de Aragonito.

Disponer de una naturaleza saludable que proporcione un flujo de servicios ecosistémicos, resulta también imprescindible para la supervivencia y el bienestar de la sociedad. Hablamos de ecosistemas que sigan aportando el oxígeno que respiramos, el agua que bebemos, los polinizadores que permiten las cosechas de tantas frutas y verduras, los bosques que regulan el clima, limpian la atmósfera de contaminantes, controlan las inundaciones y la calidad del agua; la biodiversidad que nos protege de patógenos/zoonosis y es la gran despensa de la humanidad de donde obtenemos medicinas y alimentos. Y no hay que olvidarse de otros servicios más intangibles, como el bienestar emocional que proporciona estar en la naturaleza y su efecto terapéutico. Costanza et al. (1997) estimaron entre 16 y 54 billones de dólares al año el valor de los bienes y servicios que nos presta la biosfera, es decir, entre 1 y 3 veces el producto mundial bruto. El desarrollo sostenible, lo que ha de sostener, mantener, conservar, son esos servicios que nos proporciona la naturaleza, imprescindibles, pero en drástica disminución en las últimas décadas.

El problema es que la extracción de minerales produce un impacto ambiental que reduce los servicios que recibimos de la naturaleza. Y el impacto ambiental de la minería es muy intenso porque afecta a todos los compartimentos de los ecosistemas terrestres, a saber: **a)** compartimento productor: vegetación y fauna; **b)** compartimento regulador: suelo; y **c)** compartimento de anclaje: topografía y geología. Y también a la atmósfera y los ecosistemas acuáticos situados aguas abajo. Por ello, encajar la minería en un modelo de gestión sostenible de un territorio es una tarea difícil y compleja. Sin duda, la restauración es una actividad imprescindible para ello, aunque quizá no suficiente. Habría también que reducir el consumo, reutilizar y reciclar minerales y realizar planes de ordenación minero-ambiental.

## Las limitaciones de las restauraciones convencionales

El resultado de numerosas restauraciones mineras está siendo insatisfactorio en muchas zonas del mundo. Es decir, los servicios ecosistémicos que aportan muchas canteras restauradas son escasos y frecuentemente inferiores a los de los ecosistemas originales. Esto no es de extrañar, pues crear un ecosistema funcional —un bosque, por ejemplo— donde antes hubo una cantera es un reto de gran complejidad.

¿Cuál es la causa de los magros resultados de tantas restauraciones? La más frecuente es la acción erosiva de la escorrentía que limita severamente el desarrollo del suelo y la vegetación, al menos en climas con un régimen de precipitaciones de mucha energía como el mediterráneo (Nicolau, 2003). Y esta acción destructiva de la escorrentía está causada, principalmente, por el diseño topográfico convencional que se aplica de manera generalizada: **berma-talud-cuneta**, como se muestra en la **figura 1**. Ese tipo de topografía —que no existe en la naturaleza— cuando recibe precipitaciones de alta intensidad tiende a formar regueros y cárcavas, pues el sistema de drenaje construido —cunetas— no tiene la capacidad necesaria para evacuar los picos de escorrentía. A menudo el agua queda retenida en las bermas, ocasionándose su rotura y la formación de barranqueras en los taludes. Por otro lado, los taludes —sin red de drenaje— pueden experimentar procesos de erosión laminar y en regueros muy intensos. Éstos se ven favorecidos por una circunstancia muy frecuente en estas topografías mineras: la entrada de escorrentías exógenas por la cabecera de los taludes a causa del incorrecto funcionamiento de cunetas superiores o bermas. El problema se agrava cuando los sustratos que se han extendido son erosivos y poco permeables.

¿Esto quiere decir que todas las restauraciones con topografía talud-berma-cuneta no han funcionado? Obviamente no. Todos conocemos ejemplos de restauraciones exitosas con esa topografía. Por ejemplo, algunas explotaciones de carbón a cielo abierto llevadas a cabo en Teruel de las que ya hablamos en el Aragonito 21, con taludes suaves y cortos y amplias platafor-

mas (Nicolau et al, 2011). O incluso otras más abruptas pero muy bien ejecutadas con sustratos poco erosivos. Sin embargo, consideramos que se trata de una "tecnología" de otra época, ya superada por la nueva aproximación de la Restauración Geomorfológica, como los nuevos modelos de coches sustituyen a los buenos modelos de antaño. En todo caso, hay un aspecto que siempre ha limitado a la restauración convencional talud-berma-cuneta: su escasa integración paisajística, debida a sus formas rectilíneas.

*Figura 1. Ejemplos de bloqueo del desarrollo del suelo y de la vegetación por la acción erosiva de la escorrentía. De arriba abajo: cantera en Bogotá, Colombia; mina de carbón a cielo abierto en Teruel, España; mina de carbón a cielo abierto en El Cesar, Colombia; cantera en Valencia, España.*

## Nuevo paradigma en las restauraciones mineras

Dado que la erosión hídrica es el principal factor limitante de las restauraciones mineras, a causa, principalmente, de una geomorfología (topografía y sustrato) propensa a la erosión hídrica, el nuevo modelo de restauración ha de tener una base geomorfológica que sea estable, de manera que haya un manejo experto de la escorrentía. En la naturaleza las formas de relieve que conforman los paisajes no son cunetas, bermas y taludes. La cuenca hidrológica es la unidad funcional y básicamente se compone de distintos tipos de laderas y de un sistema de cauces fluviales para el drenaje. Sólo la construcción de relieves con geoformas naturales y capacidad de evacuación de la escorrentía, ajustados a las condiciones climáticas de la zona, puede garantizar la estabilidad geomorfológica e hidrológica del ecosistema minero restaurado (Hanckok et al 2020).

El tipo de sustrato es el otro elemento clave para construir una geomorfología estable frente a la erosión. En las restauraciones convencionales se ha hecho hincapié en el contenido en materia orgánica de los sustratos a la hora de seleccionarlos. Ello es correcto, pero, dada la escasez de tierra vegetal en muchos proyectos, también se pueden utilizar sustratos con buenas propiedades físicas, aunque su contenido en materia orgánica sea bajo. Se trata de seleccionar sustratos con buena capacidad de infiltración y de almacenamiento de agua, gracias a su textura equilibrada y a una cierta pedregosidad. Ésta, además de favorecer la infiltración y reducir la evaporación del agua del suelo, frena la erosión. Las denominadas "formaciones superficiales" —los depósitos de coluvión, tan abundantes en las zonas de montaña— funcionan muy bien como sustratos de restauración minera y, con enmiendas orgánicas, incrementan su capacidad de nutrir a la vegetación.

¿Qué herramientas hay disponibles para diseñar y construir un relieve geomorfológicamente estable? Los dos únicos métodos existentes para hacerlo de manera directa son el método ***GeoFluv*** para materiales no rocosos y el método ***Talud Royal*** para rocosos. Adicionalmente, existen diversos modelos de erosión (MUSLE, RUSLE, WEPP) o de evolución topográfica (SIBERIA), que pueden ser útiles para el diseño geomorfológico, aunque de manera indirecta: con ellos se puede testar la respuesta erosiva de las topografías y suelos a fin de modificarlos hasta que den tasas de erosión aceptables, pero no permiten diseñar las geoformas a construir.

## El método GeoFluv

De momento, la Restauración Geomorfológica sólo cuenta con el método **GeoFluv** como herramienta formal para diseñar y ejecutar el modelado topográfico para la restauración ecológica de espacios afectados por minería para materiales no rocosos (Martín Duque & Bugosh, 2013). El método **GeoFluv** está patentado en EEUU, y dispone del software (Natural Regrade) para ejecutarlo (Carlson Software and Bugosh, 2005). Su esencia es restaurar cuencas hidrográficas, que es la forma de organización espacial más común de los ecosistemas terrestres. GeoFluv-Natural Regrade se preguntan: ¿cuáles serían las formas del terreno más estables en el espacio minero que precisa ser restaurado? Y una vez interpretadas esas formas del terreno, se diseñan y se construyen. El método comienza, con la búsqueda de un paisaje natural de referencia del que se obtiene información de las formas del terreno que son estables para los materiales y contexto (fisiográfico y climático) de la cantera, la cual se incorpora como inputs del software (Bugosh y Eckels, 2006).

A partir de ahí se diseña el tipo de red de drenaje (densidad y morfología de canales y valles) y el perfil de las laderas de los interfluvios que se formarían durante un periodo largo de tiempo, dados unos determinados materiales, fisiografía y clima **(Figura 2).** De este modo, las laderas y canales construidos, que replican a los 'naturales', son estables porque están en equilibrio con esas condiciones ambientales. En esencia, es como si se 'comprimiera' el tiempo que un paisaje necesita para ser estable, 'construyéndolo' con dicha estabilidad desde el principio.

*Figura 2. Esquema que representa el planteamiento de la Restauración Geomorfológica con el método GeoFluv: A partir de un paisaje natural de referencia se construye la restauración evitando las formas convencionales de talud-cuneta-berma.*

Otro aspecto destacable es que la zona restaurada se encuentra hidrológicamente integrada en la cuenca natural en la que se inscribe, es decir, que recibe la escorrentía procedente del paisaje natural situado

aguas arriba y la cede, aguas abajo, a los cauces naturales. Los canales de guarda y las balsas de retención de sedimentos ya no son necesarios.

En las siguientes direcciones se muestran algunas experiencias de restauración **GeoFluv** en España, de las cuales se muestran imágenes en la **figura 3:**

- Restauración Geomorfológica Alto Tajo: **https://vimeo.com/110782382**
- Life Tecmine: **http://agroambient.gva.es/es/web/life-tecmine; http://agroambient.gva.es/es/web/life-tecmine/videos-promocionals**
- Life Ribermine: **https://liferibermine.com/es/homepage_es-2/**
- Esculpiendo paisajes estables: El caso de la escombrera Nuria / Sculptingstablelandscapes: the case of theNuriawastedump: **https://vimeo.com/130539337**

*Figura 3. Ejemplos de canteras con restauración geomorfológica en España. De izquierda a derecha y de arriba abajo: Aurora (CEMEX) proyecto LIFE Ecorestclay. Machorro (CAOBAR). Pastor I (CEMEX) proyecto LIFE Ecorestclay. Somolinos (ayuntamiento de Somolinos, Guadalajara)*

## El modelo SIBERIA

La restauración de canteras, en general, y la restauración geomorfológica con métodos como GeoFluv-Natural Regrade, pueden mejorarse con el uso de "modelos de evolución del paisaje". El más usado a nivel mundial se llama **SIBERIA**, desarrollado y ampliamente usado en Australia. De modo muy sintético, este método predice, sobre un modelo digital de elevaciones (MDE), dónde se formarán cárcavas, y cuál será su morfología, sobre el propio MDE. Estas predicciones pueden hacerse para el periodo de tiempo que se estime (dentro de 10, 50, 100, 500 años…). Con estas predicciones, se pueden cambiar los diseños de restauración, o adoptar medidas protectoras extraordinarias. El uso conjunto de GeoFluv y SIBERIA ha sido testado en Australia (Hancock et al., 2019) y está siendo utilizado, actualmente, en el marco de LIFE RIBERMINE (**https://liferibermine.com/es/homepage_es-2/**).

## Metodología para la Restauración Geomorfológica: el método Talud Royal® para la restauración de frentes rocosos

El talud Royal® (http://www.geniegeologique.fr/), creado y patentado por el geólogo francés Paul Royal, propone un método que consigue, simultáneamente, otorgar la máxima estabilidad a los desmontes rocosos de infraestructuras lineales y conseguir una extraordinaria integración visual y ecológica. Fue diseñado para la restauración de desmontes de carreteras, pero puede ser igualmente aplicado a frentes mineros rocosos. El método consiste en analizar la evolución geomorfológica que sufren las mismas rocas del frente de explotación en laderas de paisajes del entorno, que se consideran referentes. La evolución geomorfológica de las laderas naturales (referente) se trata de comprimir en el tiempo en el desmonte rocoso de la cantera. El resultado es un talud muy estable, visualmente muy atractivo, y con las máximas ventajas ecológicas **(Fig. 4).**

*Figura 4. Ejemplos de aplicación del método Royal en autopistas de Francia. El método se está aplicando a la restauración del frente de la cantera Santa Engracia (Alto Tajo, Guadalajara) en el proyecto LIFE RIBERMINE* **(https://liferibermine.com/es/homepage_es-2/).**

## Y después de la Restauración Geomorfológica ¿qué?

La Restauración Geomorfológica elimina el principal factor limitante para la regeneración de una comunidad vegetal funcional que pueda proporcionar servicios. A partir de ahí se ha de trabajar en la conformación del suelo y en el desarrollo de la vegetación. Más que plantar y sembrar las especies de la comunidad vegetal objetivo, se trata de crear las condiciones abióticas y bióticas más favorables para que tal comunidad pueda evolucionar en la dirección indicada. Existen numerosos ejemplos de buenas revegetaciones mineras en nuestro contexto geográfico; no obstante, al igual que con la geomorfología, nuevas aproximaciones y técnicas se están abriendo paso, con un planteamiento más ecológico que agronómico. Esperamos poder tratar esta cuestión en próximas publicaciones.

## Referencias


Bugosh, N. and Eckels, R. 2006. Restoring erosional features in the desert. New landform design software and automated machine guidance combine in award-winning reclamation project. *Coal Age*, 111: 30-32.

Carlson Software and Bugosh, N. 2005. Fluvial Geomorphic Landscape Design Computer Sofware. US Patent Office, publication number WO/2005/036331, international application number PCT/US2004/02995.

Hancock, G., Martín Duque, J.F., Willgoose, G. 2019. Geomorphic design and modelling at catchment scale for best mine rehabilitation – the Drayton mine example (New South Wales, Australia). Environmental Modelling and Software 114: 140 151.

Hancock, G.R., Martin Duque, J.F. and Willgoose, G. 2020. Mining rehabilitation – using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands, *Ecological Engeneering*, 155, 105836.

Martin-Duque, JF &Bugosh, N. 2013. En: García Alvarez, A. & Ramón Travieso, R. (eds): Restauración Ecológica en Minería. De la teoría a la práctica. Fundación Ciudad de la Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España. Ponferrada, León, España. 31-46 pp

Nicolau, J. M. 2003. Trends in relief design and construction in opencast mining reclamation. *LandDegradation and Development* 14: 215-226.

Nicolau, J.M., Espigares, T., Merino, L., Moreno, M., Nyssen, S. y Pérez-Domingo, S. 2011. Aspectos ambientales de la minería del carbón a cielo abierto en Teruel. *Aragonito* 21: 22-26.

# Entrevista con

## FERMÍN SERRANO SANZ

### Comisionado del Gobierno de Aragón para la Agenda 2030

***CURRÍCULUM***

*Casado y padre de 2 hijos.*

***Formación académica:***

- *Licenciado en Ingeniería Informática.*
- *Máster en Gestión de la Innovación por la UNIZAR.*

***Trayectoria profesional:***

- *Desde marzo 2018 hasta septiembre 2019, Comisionado para la Economía del Conocimiento e Innovación del Gobierno de Aragón.*
- *Desde 2014 colabora con la Comisión Europea como experto en temas de innovación abierta y participación ciudadana.*
- *Ha trabajado en la Fundación Ibercivis, en el Instituto de Biocomputación de los Sistemas Complejos de UNIZAR.*
- *Ha realizado estancias en entidades como el CERN, ArsElectronica o el CSIC.*
- *Ha participado en decenas de proyectos internacionales y ha impartido más de un centenar de conferencias en la confluencia de ciencias, tecnología, sociedad y política.*
- *Fue uno de los 100 de Cotec.*

***¿Qué funciones realiza el Comisionado del Gobierno de Aragón para la Agenda 2030? ¿Qué objetivo tiene?***

Mis funciones son las de impulso y coordinación de políticas y actuaciones de todas las consejerías para conseguir los ODS. También me corresponde apoyar y asesorar directamente al Presidente Lambán ya que mi comisionado depende orgánicamente de la Presidencia, muestra del compromiso con las transformaciones integrales que requiere la Agenda 2030.

***¿Cuáles son las principales dificultades que puede interferir en el cumplimiento de su cometido?***

Más allá de las dificultades y tensiones sobrevenidas por la pandemia que afectan a toda la gestión pública, al ser un cargo sin competencias propias, para cada actuación es necesario ir de la mano siempre con los departamentos competentes. En esta legislatura, con un cuatripartito en el gobierno, lo cierto es que el día a día está siendo muy satisfactorio y se está trabajando de forma coordinada. Creo sinceramente que tener la Agenda 2030 como brújula ayuda a esa coordinación general.

***Ya en 2018 se comentaba que en 2020 el cien por cien de los españoles conocería la Agenda 2030. Estamos en fecha. ¿Cómo valoraría la situación actual?***

Entre la población general es muy difícil llegar al 100% pero la cifra sigue subiendo, gracias a la implicación de medios de comunicación, agentes socioculturales, etc. Pero es muy difícil llegar al 100% en casi nada. Me gustaría destacar que en las empresas y en el sector privado esa cifra sí que está cerca ya del 90%.

***¿Qué les diría a los más escépticos que opinan que en la Agenda 2030 hay mucha teoría y pocas acciones específicas para lograr los ODS?***

Les diría que piensen en las distintas escalas de acción. La Agenda 2030 se planteó como un gran marco mundial que debe ir concretando y adaptándose a la realidad de cada país, de cada empresa o de cada institución. Y si el foco se pone en las autoridades públicas, hay ejemplos más que notables para demostrar que se equivocan. Desde el primer minuto de la nueva Comisión Europea presidida por Von der Leyen, se ha insistido en que la Agenda 2030 es la principal estrategia de crecimiento y competitividad sostenible de Europa y, por eso, tanto el Pacto Verde Europeo, como el Marco Financiero Plurianual como los nuevos fondos NextGeneration EU van dirigidos a la consecución de los ODS.

En resumen, que, o demuestras que contribuyes a la Agenda 2030 o no podrás recibir ni un euro de financiación europea. Y, por supuesto, esto se plasma en todos los Estados Miembros y, por ejemplo, en todas las inversiones y reformas recogidas en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia que fija el mayor impulso económico de las últimas décadas en nuestro país.

Igualmente, todas las estrategias y convocatorias regionales en Aragón van dirigidas por las directrices de la Agenda 2030. En definitiva, es muy difícil encontrar acciones públicas o privadas que no estén alineadas con los ODS, es inevitable.

***La Agenda 2030 está basada en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) que la ONU aprobó en el año 2000 y cuya meta era para unos 15 años (2015), pero su implantación ha sido desigual. ¿Esta Agenda 2030 va a completar los Objetivos que no se lograron con los ODM?***

Sí. Los ODM parecían decir que el desarrollo sostenible era cosa de unos pocos y esto se ha visto superado ya con los ODS, que interpelan a los países más desarrollados y que ponen el foco en la involu-

cración del sector privado para poder conseguir los impactos necesarios. Esa visión holística es necesaria y se ha mostrado muy acertada. Por un lado, la pandemia nos ha mostrado cruelmente el grado de interrelación a escala global. Por otro lado, hasta los mayores grupos financieros ya han visto que el desarrollo sostenible es más que una urgencia y están acelerando las inversiones hacia lo "verde".

***¿Qué son las "políticas palancas" en cuanto a la implementación de los ODS de la Agenda 2030?***

Son políticas aceleradoras agrupadas de forma coherente por un objetivo compartido, insistiendo en la visión holística y en actuar en varios ODS a la vez. Las políticas *palanca* para la Agenda 2030 representan áreas prioritarias de actuación para el Gobierno de España que igualmente asumimos desde el Gobierno de Aragón.

***¿El gasto social imprevisto por la emergencia va a interferir en el calendario de la Agenda 2030?***

La crisis económica desde luego que tensiona el cumplimiento de los ODS al reducir la capacidad de inversión en el corto plazo y dedicar gran parte de recursos para lo más urgente. Pero, afortunadamente, en Europa tenemos fondos adicionales, los NextGeneration EU, para poder acelerar las transformaciones pendientes que necesitan la Agenda 2030. Transformaciones como la modernización del sistema de cuidados y la teleasistencia hubiesen necesitado más tiempo que lo que van a suponer ahora que están todos los mecanismos en marcha.

***¿Qué papel debe tener o tiene el sector privado en la implementación de la Agenda 2030?***

El sector privado es un aliado necesario del sector público y del tercer sector, de la gente. Las empresas son entidades empleadoras y, por tanto, creadoras de cultura, y hacen una labor muy importante transmitiendo valores a sus propios empleados. También al resto de empresas de su cadena de valor: proveedores, clientes, etc. Asumir como propia la Agenda 2030 está teniendo un efecto arrastre que va más allá de las oportunidades o responsabilidades en una empresa o un autónomo en particular.

***¿Cómo valora la actitud de los jóvenes universitarios y no universitarios ante la Agenda 2030, que para ellos les será imprescindible?***

Las mayores movilizaciones de la historia las estamos viendo estos años, lideradas por jóvenes, en torno a la lucha contra los efectos del cambio climático, o para reivindicar más reconocimiento y oportunidades para todas las mujeres en distintos ámbitos. Su compromiso con la Agenda 2030 está de sobra demostrado y eso también está animando a muchas empresas que ven cómo el mundo (y los consumidores) cambiarán en los próximos 10 años.

***¿En estos objetivos que hay de utopía y que de realidad?***

Creo que gran parte de las 169 metas tienen algo de inalcanzable en algunas partes del mundo pero esta ambición la veo positiva. Frente a ciertos movimientos a escala global aislacionistas que pretenden revertir los avances conseguidos en un marco global, la Agenda 2030 fija un marco de trabajo y un horizonte en positivo. Esto tiene un efecto movilizador que es necesario, que nos invita a todos a movilizar más esfuerzos y recursos si cabe en esa dirección.

***¿Se puede conocer cada cierto tiempo el conjunto de indicadores-medidores de la situación de Aragón con respecto al Desarrollo Sostenible Nacional?***

En la web del Gobierno de Aragón (www.aragon.es) tenemos un apartado dedicado a cada uno de los 17 ODS donde se pueden ver las medidas del Plan de Gobierno que avanzan hacia dicho ODS, y también los indicadores implicados. Estos indicadores han sido y están siendo desarrollados en colaboración con otras Comunidades Autónomas y el Instituto Nacional de Estadística. Además, el informe de progreso anual del Gobierno de España recoge los avances de nuestra comunidad.

***¿Qué significado tiene "la necesidad de generar alianzas"?***

O todos, o ninguno. Debemos trabajar juntos, cada uno con nuestras competencias y posibilidades. Por supuesto hay que exigir más a quien más puede, pero el ODS 17 viene a explicitar que solos no llegaremos tan lejos ni tan fuertes que yendo juntos.

***Ya se ha consumido más de un tercio del plazo dado ¿Llegaremos a tiempo para cumplir los ODS?***

Si no lo hacemos, no será porque no lo hayamos intentado. Seguramente no consigamos llegar a todas las metas como decía, pero eso no debe limitar ni desanimarnos a hacer todo lo que está en nuestra mano.

***Si la Agenda 2030 es responsabilidad de todos ¿Cómo el Gobierno de Aragón puede involucrar al sector privado, que busca los mayores beneficios, para que adopten medidas correctoras que nos acerquen a los ODS?***

El concepto de competitividad sostenible es clave en este aspecto. Las propias empresas ya se dan cuenta que no vale solo lo que se plasma en la cuenta de resultados, que importan los intangibles y que los beneficios deben reportar a toda la cadena de valor, empezando por sus propios trabajadores. Desde el Gobierno de Aragón impulsamos medidas de reconocimiento, premios, mesas de diálogo social y co-gobernanza, así programas de formación para que todos podamos exprimir el potencial del desarrollo sostenible.

***De los 17 ODS ¿Cuáles considera que pueden ser los más complicados y los más fáciles de conseguir con la minería?***

La minería tiene algo que aportar a los 17 ODS, y es necesario encontrar un balance adecuado en las contribuciones a cada uno de ellos. En primer lugar,

la minería ha tenido un papel muy importante en el **ODS 8** de desarrollo económico y el **ODS 9** de infraestructuras, creando oportunidades de empleo y desarrollo empresarial en Aragón para sectores tan importantes como la energía o la agricultura (ODS 2). Ahora bien, parte de los problemas sistémicos que han motivado la Agenda 2030 tienen que ver con la sobreexplotación de recursos finitos naturales y con la degradación de ecosistemas terrestres y estos cambios están afectando al sector profundamente tanto desde la parte normativa como por operativa. Pero la descarbonización está siendo muy complicada, por dar un ejemplo.

Si miramos a las actividades propias de la minería, la innovación conlleva una reducción de emisiones **(ODS 13),** una mayor seguridad laboral **(ODS 3),** a incrementar el uso de energías limpias en un sector de altos consumos **(ODS 7)** o a hacer un uso más eficiente del agua **(ODS 6).** Estoy seguro de que el propio sector minero es el principal agente capaz e interesado en mitigar y revertir esos efectos negativos. Por último, me gustaría destacar el balance entre hombres y mujeres **(ODS 5),** que está descompensado pero me consta que se están tomando medidas para incorporar más mujeres al sector. Esto es algo que pasa en muchas ingenierías y en la mayoría de los países del mundo pero debemos trabajarlo continuamente.

***¿Cómo cree que será nuestro día a día dentro de 10 años (2030) con la crisis climática en la que estamos inmersos?***

En mi etapa profesional anterior a la gestión pública participé en varios *thinktank* y laboratorios de perspectivas futuristas que disfruté mucho, mezclando una parte de evidencias con una parte de ciencia ficción. Creo que no me corresponde ahora trasladar esa segunda parte. Simplemente diré que las cifras objetivo de la acción climática de las instituciones y de las empresas están ahí… y eso impactará en nuestra vida cotidiana como ciudadanos seguros, desde el tipo de vida que llevaremos, a las tecnologías que usaremos dentro y fuera del cuerpo. Lo que los modelos climáticos nos dicen es que el incremento de temperaturas generalizado en todas las regiones del planeta va a provocar una mayor variabilidad y un desorden, con mayores episodios extremos y de mayor importancia. Pero quiero quedarme con lo que también dicen esos mismos expertos: estamos a tiempo. Si nos ponemos ya, y si todos movilizamos más esfuerzos, todavía somos capaces de evitar que los avances conseguidos por la humanidad se vean en peligro por una serie de riesgos entre los que destaca el cambio climático, y aumentar nuestra resiliencia como sociedad frente a esos episodios que, si bien serán puntuales, cada vez serán más frecuentes.

***¿Cuál puede ser la contribución de los Ingenieros Técnicos de Minas a la Agenda 2030?***

Más allá de las contribuciones como sector que he introducido brevemente antes, lo que recomendamos a todos los profesionales de cualquier sector es incorporar los **ODS a su día a día** y aprovecharlos. Esto pasa por conocer la Agenda 2030 en general y por rebuscar las mejores prácticas entre la enorme cantidad de documentación disponible, tanto en el sector de la minería como en otros ámbitos. A partir de ahí, cada profesional podrá priorizar los ODS y los contenidos más relevantes para su propia organización, e involucrar a otras personas y responsables de su entorno y, entre todos, fijar los objetivos clave alcanzables que pueden ser compartidos públicamente y para los que seguramente haga falta tejer alianzas. Una vez en camino, **se deben integrar los ODS en las estructuras internas, en los procedimientos y en los proyectos.** Cada vez es más frecuente encontrar criterios de alineamiento con los ODS en propuestas, en memorias justificativas o en modelos de gestión, por ejemplo. Por último, no olvidarse de comunicar tanto los motivos como los resultados de este proceso. Y ojo, podemos pensar en usarlos a nivel local pero también a nivel global ya que el uso compartido de ese nuevo alfabeto que son los ODS permiten comunicar más fácilmente qué se está haciendo con cualquier persona del mundo.

***Para finalizar, ¿Cómo le gustaría completar esta frase?: "cuando dentro de un tiempo deje el cargo, estaría satisfecho si…"***

… He hecho todo lo que estaba en mi mano… y algo más, siempre en línea con la visión del Presidente Lambán de **aspirar a dejar Aragón algo mejor** que estaba cuando empezó su mandato, **en los planos verde, social y digital**.

**Muchas gracias.**

# Uso de Drones (UAV) para labores topográficas

**ALFREDO SERRETA OLIVÁN**

*Profesor titular de UNIZAR del área de Expresión Gráfica en la Ingeniería.*

*Imparte las asignaturas de Cartografía y Sistemas de Información Geográfica y Topografía, Cartografía y Fotogrametría en la Escuela Politécnica Superior de Huesca.*

*Socio fundador de la Spain-off de la UNIZAR, "Scanner, Patrimonio e Industria", especializada en Escáner 3D y fotogrametría aérea y terrestre.*

## 1. Introducción

El uso de drones en labores topográficas ha llegado para ser un instrumento más en la toma de datos topográficos, con sus muchas ventajas y algunos inconvenientes. En este artículo vamos a tratar de mostrar el estado actual de esta tecnología y las perspectivas de futuro.

Empezaremos con el nombre. El nombre de "drones", proviene de la palabra *drone* en inglés, que significa en castellano zángano (el macho de las abejas) y que en las colmenas, para evacuar el calor en ellas, agita las alas, haciendo un ruido que nos hace recordar al ruido que provocan los motores de los aparatos voladores que se utilizan para hacer topografía.

También son llamados UAV del inglés (Unmaned Aerial Vehicles) traducido al castellano como Vehículos Aéreos no tripulados.

Si nos ceñimos a esta definición, entrarían los pequeños drones recreativos de apenas unos 200 gramos y autonomía de minutos y posibilidad de vuelo de algunos cientos de metros, hasta los drones militares de miles de kilos de peso y autonomía de casi un día de vuelo y algunos miles de kilómetros. En este pequeño artículo nos ceñiremos a pequeños artefactos voladores a los que podemos tener acceso, de como mucho 5 Kg de peso, y algunos cientos de metros de autonomía, que es a lo que los usuarios civiles podemos tener acceso, tanto por su costo, como por los requisitos administrativos para poder operar con ellos.

## 2. ¿Cómo funcionan? Principios básicos de fotogrametría aérea

La forma en la que funcionan estos sistemas de fotogrametría son conocidos desde hace tiempo y se basa en el principio por el cual, para conocer las coordenadas de un punto en una imagen, es necesario tomar dos fotografías de la misma zona desde dos puntos diferentes. Como se puede observar en la **figura 1**, si tomamos dos fotografías de un punto del terreno este punto quedará reflejado en el fotograma y es posible reconstruir en qué dirección, desde el eje óptico del fotograma, se encuentra ese punto. Si ese mismo punto es captado por otro fotograma, podemos saber en qué dirección, con respecto a ese otro fotograma, está ese punto. Si además conocemos las posiciones de las cámaras, el problema de la posición x, y, z del punto captado se puede hallar por la intersección de ambas direcciones que ya conocemos sobre el fotograma y el eje óptico de cada fotograma.

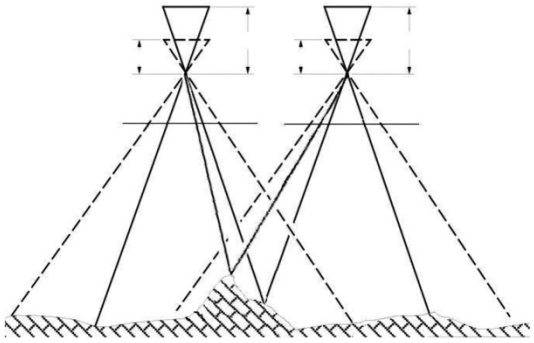


*Figura 1. Desde un fotograma se puede conocer la dirección en la que se encuentra un punto del suelo. Inter-seccionando esas direcciones desde dos fotogramas se es capaz de obtener la posición x, y, z de los puntos comunes de los dos fotogramas.*

De esta forma, ya sea la fotogrametría analógica o digital, desde aviones, satélites o drones, se es capaz de calcular la posición x, y, z de un punto. Para ello, hasta no hace mucho tiempo, se utilizaban fotografías tomadas desde aviones y, con unos costosos restituidores analógicos, el operador del restituidor identifica ese punto en los dos fotogramas de forma manual y era capaz de obtener la coordenada de ese punto. Estos operadores iban punto por punto, línea por línea, curva por curva, realizando la restitución topografía clásica. Todo esto ha quedado revolucionado por la aparición de la tecnología digital que ha posibilitado de forma muy barata, desde drones, la toma de fotogramas, de otra forma inasequibles y el procesado es sustituido por software en ordenadores personales, que de forma automática identifica los puntos comunes de los dos fotogramas y calcula la posición de cada punto (pixel en fotografía digital) utilizando la capacidad de cálculo disponible actualmente con un

ordenador personal, impensable hace solamente unas décadas.

Así pues, estamos en disposición de utilizar unos métodos, que ya eran conocidos pero, por fin, asequibles y puestos a disposición de usuarios, gracias a la revolución digital que permite la toma de fotogramas digitales desde plataformas que vuelan (drones) y procesados en ordenadores personales.

## 3. La necesidad de la utilización del GPS

Como hemos visto, para tener una cartografía completa de una zona, es necesario disponer de todos los puntos desde al menos dos fotogramas. Para ello es necesario asegurar que eso ocurra. Los drones son capaces, por medio del software, según sea las características ópticas de la cámara embarcada en el dron y la altura de vuelo, calcular la carencia de fotogramas que debe tomar para que esto ocurra. Esto en fotogrametría se denomina **solapamiento**. El solapamiento mínimo entre fotogramas, para que esto ocurra, es del 50% pero, normalmente, el solapamiento mínimo es del 60% y es muy habitual el del 70% e incluso del 80% para evitar que alguna eventualidad nos asegure llegar al menos al 50%.

Por otra parte le tenemos que transmitir la zona sobre la que queremos hacer el levantamiento topográfico, para que el dron, de forma automática, haga el vuelo necesario y no cubra o no se exceda de la zona de tomas de fotogramas, y quede cubierta la zona de estudio asignada.

Afortunadamente el software fotogramétrico del dron hace todas esas funciones y calcula por nosotros todos estos parámetros, pero para ello es necesario que el dron vaya equipado con un GPS para asegurarnos lo siguiente:

a) La posición del dron y la cámara.
b) La altura de vuelo.
c) El plan de vuelo para poder asegurar que vamos a volar sobre la zona que nos interesa realizar el levantamiento.

La única variable que deberemos informar será la precisión del vuelo, que está directamente relacionada con la altura. El nombre que recibe esa precisión es **GSD** (Ground Sample Distance) y se define en centímetros por pixel. Es decir, por el tamaño en el fotograma de cada pixel en la realidad. Unos valores usuales son de 2-5 cm por pixel, lo que da idea de la precisión que se puede obtener desde un dron. Cuanta más precisión se desee, más bajo deberá ser el vuelo, más largo será el procesado de los fotogramas y menos superficie será cubierta en un vuelo. Así pues, es un compendio de todos estos factores, el que nos haga decir la altura de este. El software del dron es capaz de calcularnos, en función de la óptica de la cámara y la altura, esa precisión y nosotros, como usuarios, eligiendo la altura del vuelo podemos cambiar esa precisión.

Para todas estas labores, controlar la zona de vuelo, altura y carencia de toma de fotogramas, es suficiente con un **GPS/GNSS** de navegación de precisión limitada, similar al que podemos llevar hoy en día en nuestros teléfonos móviles y que todos los drones llevan y utilizan.

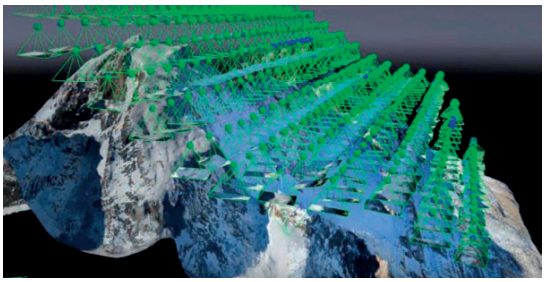


*Figura 2. Plan de vuelo realizado para la cartografía del glaciar de Monteperdido (Huesca) con un ala fija. Altura de vuelo máxima de 120 metros del suelo, solapamiento del 70% entre fotogramas y GSD de 3 cm/pixel.*

## 4. La necesidad de Dianas o un GPS/GNSS de precisión

Si se ha entendido el proceso por el cual se puede calcular la posición de un punto, es necesario que ese punto esté reflejado al menos de dos fotogramas, conocer las características de la cámara y conocer la posición de ésta.

Como hemos visto, todos lo drones vienen equipados con un GPS/GNSS que les permite realizar el plan de vuelo que cubra la zona sobre la que queremos realizar éste, la altura y la carencia de toma de fotogramas, que asegure el solapamiento que deseamos, usualmente entre el 60% y 70%. Pero esto no es suficiente para conocer con la precisión requerida los puntos desde los cuales se han tomado los diversos fotogramas y poder resolver esa posición con la debida precisión requerida. Existen dos soluciones a este problema.

### 4.1. Utilización de un GPS/GNSS precisión centimétrica

Se trataría de que el dron en cuestión llevara un sistema GPS/GNSS RTK, o en postproceso, que nos asegurara conocer la posición de la cámara con una precisión de centímetros, aparte de poder obtener el levantamiento en un sistema de coordenadas con exactitud, como puede ser, el oficial para la cartografía española UTM ETRS89. Esta solución por operatividad y facilidad de uso es la óptima, pero eso implica que los costes de esos tipos de drones se disparan. En el momento que escribo estas líneas, el dron más barato que embarca estos sistemas tiene un coste a partir de 7000 Euros.

Para la obtención de la corrección diferencial estos sistemas RTK pueden trabajar con una base de referencia propia, o utilizando algún sistema de estaciones de referencia de correcciones diferenciales GNSS, utilizando la telefonía móvil, como puede ser, la Red Aragea del Gobierno de Aragón.

También es posible hacer una corrección de esto datos en postproceso, utilizando las correcciones RINEX de alguna de la estaciones de referencia.

Si se conoce con precisión la posición de las cámaras a priori, como es el que provee el sistema GPS/GNSS de precisión, el proceso de cálculo de la posición de los puntos se acorta ostensiblemente.

### 4.2. Utilización de Dianas/puntos de apoyo

Otra solución trataría de conocer puntos de algunas de las coordenadas sobre los fotogramas, de manera que la posición de las cámaras se pudiera conocer de forma indirecta, al conocer e identificar de forma manual esos puntos con coordenadas de precisión y relacionarlos con los puntos calculados con las coordenadas del GPS/GNSS del dron, de poca precisión. De esta forma el software del procesamiento de datos es capaz de reconstruir la posición de cada cámara, con precisión desde donde fue tomado el fotograma. Esta forma de trabajar penaliza el tiempo de procesado de los datos y es más tediosa en campo.

Para utilizar este método es necesario en cada vuelo un mínimo de 3 puntos de coordenadas conocidas, pero es bueno el tener alguno más, siendo usual el disponer de 9 a 10 puntos. Esto en la fotogrametría clásica es lo que se denominaba puntos de apoyo, que pueden ser esquinas de bordillos, marcas de pintura u otros puntos identificables en el fotograma. En muchas ocasiones se utilizan dianas de cartón, plástico, etc., como las que se muestran en la **figura 3 y 3 bis.**

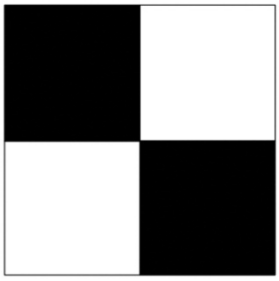


*Figura 3. Dianas de fotogrametría, de tamaño A3 dispuesta en cartón pluma*

*Figura 3 bis. Diversos tipos de dianas utilizadas en fotogrametría, todas de tamaño A3. La imagen corresponde a un estudio de diversos tipos de dianas, y su visibilidad a diferentes alturas de vuelo e iluminaciones.*

Usualmente estas coordenadas utilizan un GPS/GNSS-RTK, que tampoco es una tecnología barata, pero que podemos alquilar o muy habitualmente disponer para la realización de otros trabajos de topografía, como equipamiento de la oficina técnica de nuestro gabinete de trabajo y para otros trabajos de topografía.

## 5. Software de planificación y procesamiento

Existen muchos software de procesamiento de datos de drones, tanto para la planificación de la zona a volar, como para planificar el solape y altura de vuelo y procesamiento. Algunos drones vienen con su propio software y también es posible adquirirlos a parte. Uno de los más conocidos es el de soluciones PIX4D, que se puede adquirir y pagar por uso, o como licencia sin límite de uso. Otro software muy utilizado es el Agisoft Methasape.

El procesado de los datos se puede hacer con casi cualquier ordenador personal, eso sí, si el ordenador tiene un procesador de última generación, tiene una tarjeta gráfica dedica, un disco sólido y una gran cantidad de RAM, el tiempo de procesado se reduce significativamente. No obstante, hay que destacar, que para un procesado típico de 200 fotogramas, el procesado de los datos puede llevar a un ordenador a más de 8 horas. Eso sí, no necesitaremos estar trabajando nosotros personalmente, lo hará él sólo y con una mínima asistencia por nuestra parte.

## 6. Productos finales y precisión

Con el procesamiento de los datos obtenidos, se obtiene en primer lugar una nube de puntos, de millones de puntos que, dependiendo de la calidad de la cámara y altura de vuelo, será de una precisión de unos pocos centímetros.

Es importante destacar que el producto a partir del cual se elaborarán todos los demás es una nube de puntos, que es tan densa que a simple vista si a cada punto le damos el color del pixel que le corresponde parece casi una fotografía, pero cada uno de esos puntos con su coordenadas.

A partir de esa nube de puntos de las superficie que se ha tomado con los fotogramas, se puede obtener un fichero LAS de puntos, un DEM de elevaciones, una malla, unas curvas de niveles y unas ortofotos, con un tamaño espectacular de algunos centímetros, donde, si el vuelo es lo suficiente bajo, es posible hasta distinguir colillas de cigarros.

Uno de los inconvenientes es, que es tal la cantidad de puntos que nos genera, que muchas veces tendremos que disponer de software especializado para poder tratar tal cantidad de datos. Afortunadamente poco a poco la mayoría de las aplicaciones de topografía, trazado y, ya todas las aplicaciones de GIS, son capaces de manejar esa ingente cantidad de datos.

*Figura 4. Vista de la nube de puntos generada de la Escuela Politécnica Superior de Huesca. Los puntos de las banderas son las dianas que deben ser identificadas previamente en los fotogramas para poder calcular esa nube de puntos.*

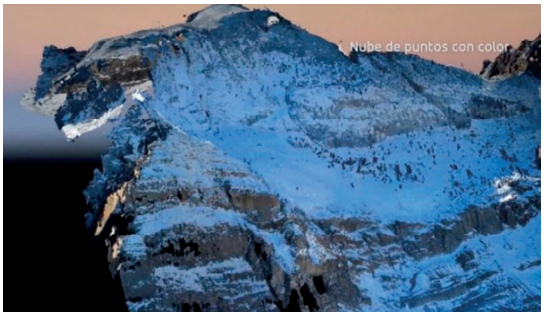



*Figura 5. Vista de la nube de puntos del glaciar de Monteperdido en noviembre de 2017. Se puede observar que su aspecto es casi como una fotografía.*

## 7. MDT/DMS, Ventajas e inconvenientes, precisión

La precisión que se puede obtener con un dron no supera en ningún caso a la que se puede obtener con un método topográfico clásico, o incluso podíamos decir, dependiendo de la altura de vuelo y cámara, que es ligeramente inferior pero tiene una gran ventaja: la cantidad de millones de puntos por hectárea de un dron, contra en el mejor caso unos cientos de puntos por hectárea, la posibilidad de llevarnos en una imagen todos los elementos de la topografía del terreno, sin olvidarnos de ninguno y poder, en cualquier momento, revisar la nube de puntos para obtener las coordenadas de algún elemento, que en principio no tenía relevancia y a posteriori se quiere conocer. Todo ello es una gran ventaja

Pero a su vez, esto último es un gran inconveniente, el dron solo obtiene el **DMS**, Modelo Digital de la Superficie, es decir, lo que se ve en los fotogramas desde el dron. Por ejemplo, si hay árboles, setos, cultivos, el modelo obtendrá la superficie de esa cobertura vegetal y no la del terreno, **MDT**, Modelo Digital del Terreno que es la que mayoritariamente interesa en topografía.

Bien es cierto que existen herramientas de limpieza y, eliminación e interpolación para "limpiar" la vegetación, edificios,…pero no dejan de ser interpolaciones que son tediosas de realizar y que nos generan incertidumbre sobre la precisión final del terreno y de su MDT. En levantamientos donde la vegetación no exista o sea testimonial, como pueden ser las canteras, explanaciones de obras en ejecución, cultivos herbáceos de invierno recién sembrados, estas pegas no se dan y los drones pueden ser de gran ayuda. En otras zonas, como las zonas boscosas, debemos valorar las precisiones requeridas y deberemos completar o incluso desechar la posibilidad de realizar una cartografía con dron porque puede que no sea el método más adecuado, y haya alguna alternativa dentro de la topografía clásica más adecuada.

## 8. Tipos de Drones

Existen fundamentalmente dos tipos: **Multicópteros y Drones de Ala Fija**. Cada uno de estos tiene sus ventajas e inconvenientes. A continuación pasamos a describirlos, por su tipología. La práctica totalidad de drones que se utilizan son de propulsión eléctrica, posibilitada por el desarrollo de potentes baterías de hidrogel que tienen una alta capacidad de dar una máxima potencia pico con respecto a su tamaño.

### 8.1. Multicópteros

Son drones con más de un motor, usualmente 4, que se mueven cambiando el par de cada motor, **fig. 6**. Sus características las podemos resumir en los siguientes puntos.

- Son relativamente lentos.
- Muy estables al viento.
- Muy ineficientes energéticamente, la autonomía de vuelo suele ser de unos 20 minutos.
- Mucha facilidad para el despeje y aterrizaje.
- Pueden llevar cámaras más pesadas y de mayor calidad.
- Se adaptan mejor a vuelos en zonas quebradas y topografías abruptas, como puede ser una cantera.
- Las cámaras se puede poner en diferentes posiciones, no solo cenital, sobre la perpendicular del suelo, por lo que es más apropiada para levantamientos en terrenos quebrados.
- Rendimiento típico máximo de unas 25 ha/día.

*Figura 6. Dron multicóptero de 4 motores. Se puede observar la cámara que no está en posición nadiral (hacia el suelo) si no que se encuentra oblicua. Es posible observar la antena GPS, imprescindible para el control del dron.*

### 8.2. Drones de Ala Fija

Su aspecto exterior es como el de un avión, que se muestra en la **figura 7**.

- Son más rápidos que los multicópteros.
- Menos estables al viento, que los multicópteros.
- Más eficientes energéticamente, autonomía de vuelo de 1 hora.
- Más delicados para el despegue y aterrizaje.
- Se adaptan mejor a vuelos en zonas onduladas y relieves suaves. Pueden trabajar en zonas montañosas, pero son más difíciles de trabajar en zonas abruptas.
- Rendimiento típico máximo de unas 300 Ha/día.

*Figura 7. Dron de ala fija en este caso con un solo motor en la zona trasera. Se puede observar la antena del telecontrol*

## 9. Otros tipos sensores

En este escrito nos hemos centrado en sensores ópticos, dentro del rango del espectro visual que, hoy por hoy, es el más ampliamente utilizado y el que más se puede utilizar. No obstante, existen otros tipos de sensores de uso especializado y su uso es minoritario. Estos son, con algunas utilidades:

- **Cámaras multiespectrales**. Se puede hacer con ellas teledetección y su principal uso es en agricultura, para ver y estudiar el estado sanitario, hídrico de los cultivos. **Fig. 8.**

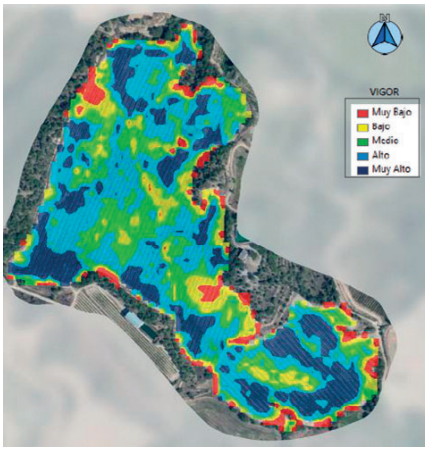



*Figura 8. Imagen tomada sobre un viñedo con una cámara multi-espectral, donde a partir de los datos obtenidos se es capaz de obtener el NVDI, índice de vigor y caracterizar el vigor de la viña con objeto de mejorar el manejo agronómico de la misma y realizar tratamientos fitosanitarios, riegos, abonados y recolección diferencial.*

- **Cámaras térmicas.** Con ellas se hacen teledetección y su principal uso es en agricultura, para ver y estudiar el estado sanitario, hídrico de los cultivos. También para inspección de funcionamiento de paneles solares e inspección de aisladores y líneas de alta tensión.
- **Escáner 3D/LIDAR.** Ya se puede disponer de sensores LIDAR sobre un drón, de manera que es un pulso láser el que recoge la topografía de la zona. Hoy por hoy son un poco pesados y muy caros. Son unos sensores muy interesantes, ya que pueden llegar a eliminar la vegetación, En los próximo años es posible que puedan cambiar la forma de datos en topografía desde un dron, pero hoy por hoy son muy caros.

## 10. Limitaciones de uso y barreras para su uso

Los drones son elementos voladores que deben ser usados sobre sitios seguros y que pueden ser utilizados de forma voluntaria o involuntaria pudiendo resultar peligrosos para la seguridad de las personas o atentar contra su privacidad. El sentido común es el mejor límite para su uso pero, como los humanos no somos muy prudentes, existe una legislación que restringe mucho su uso, desde mi punto de vista, mucho más de lo razonable. Existen una serie de limitaciones que hay que tener en cuenta, para su uso profesional.

- Obligatoriedad de obtener un título de piloto, tras un curso de formación.
- Tener un reconocimiento médico.
- Obtener un título de piloto para cada tipo de dron expedido por un centro certificado.
- Tener un seguro de Responsabilidad Civil.
- Estar dado de alta en la Agencia Española de Seguridad Aérea.
- La práctica imposibilidad de hacer vuelos sobre aglomeraciones de gente y ciudades.
- No es posible alejarse más de 500 metros del punto de despegue y se debe mantener la visión con el dron.
- No se puede superar los 120 metros de altura del suelo (este último punto no es demasiado importante, los vuelos raramente superan los 80 metros para tener la calidad requerida)

El incumplimiento de estos puntos está bajo un riguroso y duro régimen sancionador.

Existen otras limitaciones climatológicas que hay que tener en cuenta:

- Se debe intentar volar en condiciones de luz homogénea, evitando que se pase de sol a nublado, para que la iluminación de las ortofotos y otros productos visuales sea homogénea.
- No es posible volar con fuertes vientos que comprometan la estabilidad de los drones.
- No se debe volar con lluvia, nieve, niebla…, que haga que no tenga suficiente nitidez los fotogramas y pueda humedecer la electrónica del dron, y éste pueda fallar.

provodit ingeniería

www. provodit.es


**OFICINA FRAGA:**
Huesca, 66 – Entlo.
22520 Fraga (Huesca)
Telf. 974 471 903

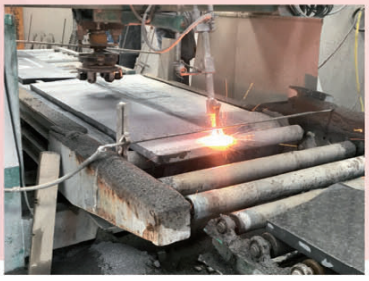
**OFICINA ZARAGOZA:**
Octavio Paz, 11-13, Local 3
50018 Zaragoza
Telf. 876 539 382

provodit@provodit.es


## MINERÍA Y RECURSOS NATURALES

## INSTALACIONES INDUSTRIALES

## GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA



## GESTIÓN DE RESIDUOS

## MEDIO AMBIENTE

## TOPOGRAFÍA - VUELOS CON DRON

## SEGUIMIENTO RESTAURACIÓN GARANTIAS AMBIENTALES

Ámbito: España y Portugal

RioTinto · Cobre SanRafael · matsa TRAFIGURA | MINING GROUP · BERKELEY minera ESPAÑA S.L. · CLC Cobre Las Cruces, S.A.

## ENERGÍAS RENOVABLES

## CURSOS DE FORMACIÓN MINERA