

UNA APUESTA POR EL DESARROLLO  
LOCAL SOSTENIBLE

# UNA APUESTA POR EL DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE

EMILIO ROMERO MACÍAS  
(CORD.)



Universidad  
de Huelva



COLLECTANEA

152

2010

©

Servicio de Publicaciones  
Universidad de Huelva

©

Emilio Romero Macías  
(Cord.)

Tipografía

Textos realizados en tipo Perpetua de cuerpo 11,5, notas en  
Perpetua de cuerpo 8/auto y cabeceras en versalitas de cuerpo 10.

Papel

Offset Blanco de 80 g/m<sup>2</sup>  
Certificado FSC

Encuadernación

Rústica, cosido con hilo vegetal

Printed in Spain. Impreso en España.

I.S.B.N.

978-84-92944-22-4

Depósito legal

H 265-2010

Imprime

Artes Gráficas Bonanza, S.L.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito del Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.

C.E.P.

Biblioteca Universitaria

Una apuesta por el desarrollo local sostenible / Emilio Romero Macías  
(coord). --- Huelva : Universidad de Huelva, 2010  
1000 p.; 30 cm. - (Collectanea (Universidad de Huelva ; 152)  
"Se recogen las actas del XI Congreso Internacional sobre Patrimonio  
Geológico y Minero, XV Sesión Científica de la SEDPGYM".  
ISBN 978-84-92944-22-4

1. Desarrollo sostenible - Congresos. 2. Conservación de los recursos  
naturales - Congresos. 3. Geología - Congresos. I. Pérez Macías, Emilio, coord.  
II. Universidad de Huelva. III. Título. IV. Serie.  
55(063)  
553.04(063)

Presentación Rector Rector de la Universidad de Huelva	13
Presentación Presidente de Presidente de SEDPGYM	17
<b>CONFERENCIAS</b>	
EL PATRIMONIO INDUSTRIAL MINERO.- EL PLAN DIRECTOR DE LA CICE COMO INSTRUMENTO PARA LA CONSERVACIÓN / J. M. Pérez	17
VALORIZACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO. EL CASO SINGULAR DE LAS MINAS DE ALMADÉN (CIUDAD-REAL), DE CIERRE MINERO A PATRIMONIO MUNDIAL / L. Mansilla	41
EL IMPACTO ECONÓMICO DE LA EXPANSIÓN MINERA DEL SIGLO XIX: EFECTOS INDUCIDOS EN EL TEJIDO PRODUCTIVO DE LA PROVINCIA DE HUELVA / J. J. García	57
<b>COMUNICACIONES</b>	
<b>Sección 1: “Patrimonio Geológico”</b>	
CONSERVACIÓN Y VALORIZACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO / A. González; D.J. Carvajal	71
LA DESAPARICIÓN DE UN LUGAR DE INTERÉS GEOLÓGICO EN LA COSTA OCCIDENTAL DE ALMERÍA (ESPAÑA) POR LA FUERTE PRESIÓN ANTRÓPICA DESDE LOS AÑOS 50 / B. Lores y P. A. Robledo	81
DRENAJE ÁCIDO DE MINA Y METALES DISUELTOS: DEL IMPACTO AMBIENTAL AL PATRIMONIO MINERO. APLICACIÓN AL CASO DE MINA HERRERÍAS EN LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA. / J.A. Grande, T. Gómez, M.L. de la Torre, T. Valente, C. Barranco. V. Domínguez, J. Graiño	87
LAS AGUAS PETRIFICADORAS DE HUANCVELICA (PERÚ) SEGÚN TESTIMONIOS COLONIALES DE LOS SIGLOS XVI A XVIII / E. Orche y M.P. Amaré.	99
LOS SISTEMAS HÍDRICOS DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE HUELVA: PATRIMONIO GEOLÓGICO Y CULTURAL. / R. Garrido	113
GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE LAS GEOFORMAS EN EL MONUMENTO NATURAL LA BARRUECOS, MALPARTIDA DE CÁCERES (CÁCERES, ESPAÑA) / S.J. Martín y E. Rebollada	121
EL TRAVERTINO DE BANYOLES: MÚLTIPLE INTERÉS PATRIMONIAL / P. Alfonso; D. Parcerisa; A. Sarri; J.M. Mata	131
LOS CABEZOS DE HUELVA: PATRIMONIO GEOLÓGICO Y CULTURAL / R. Garrido y E. Romero	139
SOBRE EL HALLAZGO DE 10 PETROGLIFOSTALLADOS IN SITU, A MODO DE TABLEROS, EN LA PIZARRAS DE LUARCA, EN LA PLAYA DE PORTIZUELO (ASTURIAS) / P. Fandos	147
DE CÓMO MUCHAS CUEVAS SE VEN QUE HAN SIDO MINAS / P. Fandos	159
<b>Sección 2: “Patrimonio Minero”</b>	
EL PUERTO DE HUELVA, CLAVE EN LA EXPORTACIÓN DE MINERALES EN LOS INICIOS DEL SIGLO XX / A.M. Mojarro	179
LAS TELERAS DEL LLANO DE LOS PLANES: PATRIMONIO HISTÓRICO EN LA CUENCA MINERA DE RIOTINTO (SW SPAIN). / J.A. Grande; T. Gómez.; M.L. de la Torre; T.M. Valente; C. Barranco, V. Domínguez, J. Graiño.	195

EL FERROCARRIL “PEÑARROYA-PUERTOLLANO”, NEXO ARTERIAL DE LA MINERÍA Y LA METALURGIA EN SIERRA MORENA CENTRAL (1904/1970) / J.L. Hernando	205
LA MINA-CUEVA VICTORIA (SIERRA DE CARTAGENA. MURCIA): MINERALIZACIONES E HISTORIA MINERA / J. I. Manteca, M. A. Pérez, M. A. López - Morell y C. García	213
EL CANTE DE LAS MINAS: UN EXTRAORDINARIO PATRIMONIO MINERO INTANGIBLE / E. Orche.	225
LA MINERÍA EN LA SIERRA DE PARAYAS (MALIAÑO, CANTABRIA), 1840-1920 / Gerardo J. Cueto	237
MINA PASTORA, ALISEDA (CÁCERES): CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO DEL PATRIMONIO / E. Rebollada, M. Arias y P. Gumiel	249
RECORRIDO A TRAVÉS DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO DE LA COMARCA DE LA COMUNIDAD DE CALATAYUD: DESDE CALATAYUD AL FRASNO, TOBED Y A CODOS (ZARAGOZA, ARAGÓN) / J. M. Mata, A. Pocovi, J. Vilaltella y C. Vintró	255
RECORRIDO DESDE ESTOPIÑAN DEL CASTILLO A FET, ESTALL Y MONTFALCÓ, A TRAVÉS DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO DE LA COMARCA DE LA RIBAGORZA (ARAGÓN) / J. M. Mata, A. Pocovi, J. Vilaltella y C. Vintró	263
RECORRIDO A TRAVÉS DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO DEL MUNICIPIO DE FAYÓN ( <i>CUENCA LIGNITÍFERA DE MEQUINENZA</i> , BAJO ARAGÓN DE CASPE / BAIX ARAGÓ DE CASP). ZARAGOZA, ARAGÓN / J. M. Mata, A. Pocovi, J. Vilaltella y C. Vintró	273
RECORRIDO DESDE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA A ALMONACID DE LA SIERRA Y ALPARTIR, A TRAVÉS DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO DE LA COMARCA DE VALDEJALÓN (ZARAGOZA, ARAGÓN) / J. M. Mata, A. Pocovi, J. Vilaltella y C. Vintró	281
RECORRIDO POR EL <i>PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO</i> DE LA COMARCA DEL ARANDA: DESDE VIVER DE LA SIERRA A SESTRICA, BREA DE ARAGÓN, ILLUECA Y TIERGA (ZARAGOZA, ARAGÓN) / J. M. Mata, A. Pocovi, J. Vilaltella y C. Vintró	289
RECORRIDO POR EL <i>PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO</i> DEL BAJO ARAGÓN, DESDE SENO A AGUAVIVA, MAS DE LAS MATAS, FOZ CALANDAY ALCORISA (BAJO ARAGÓN, TERUEL) / J. M. Mata, A. Pocovi, J. Vilaltella y C. Vintró	299
ESTUDIO DE LA SUBSIDENCIA DE LA ZONA MINERA DE SURIA: MÉTODOS DE MEDICCIÓN / L. Sanmiquel	309
PUENTES DEL FERROCARRIL DE RIOTINTO / E. Romero; J.L. Gómez; J.M. Dávila y Fco. J. González	323
LA MINERÍA DEL GRAFITO EN LA SIERRA DE ARACENA (HUELVA). BREVE HISTORIA Y VALOR PATRIMONIAL / J.C. Fernández	345
NOTAS SOBRE EL PATRIMONIO MINERO DEL SUR DE LA PROVINCIA DE HUELVA / R. Garrido y D. J. Carvajal	359
<b>Sección 3: “Arqueología e Historia”</b>	
APORTACIÓN AL CONOCIMIENTO DE LAS INSCRIPCIONES ROMANAS DE FUENCALIENTE (CIUDAD REAL) / C. García	373

EL MERCADO DE LA COCA DE POTOSÍ EN EL SIGLO XVI: UN ESLABÓN FUNDAMENTAL PARA LA MINERÍA DE LA PLATA EN LA AMÉRICA HISPANA / E. Orche.	385
LA MINERÍA DE LA CORONA ESPAÑOLA EN INDIAS DESDE CARLOS I A FELIPE IV. DESCUBRIMIENTO Y LABOR DE MINAS. / M.C. Calderón	397
FUENTES PARA EL ESTUDIO DE LA MINERÍA EN LA HISTORIA. DE LAS MINAS DE CARBÓN DE PIEDRA EN LOS REINADOS DE CARLOS III Y CARLOS IV. / M.C. Calderón	407
LA PRENSA DE LA CUENCA MINERA DE HUELVA ANTE LA GRAN HUELGA DE 1920 / M. P. Díaz	417
LA EXPLOTACIÓN PREHISTÓRICA E HISTÓRICA DE LA MONTAÑA DE MALAVER (RONDA, ESPAÑA): UN PATRIMONIO MINERO SINGULAR / J. A. Lozano, A. Morgado, A. Martín-Algarra, P. Aguayo, D. García, F. Moreno, J. Terroba	431
LA GESTIÓN LABORAL DE LA PROPIEDAD DE LA TIERRA POR LA “RIOTINTO COMPANY LIMITED”. Retribución en especie o la exportación del modelo británico del s. XVIII para controlar el asociacionismo de la clase trabajadora. / R. Fernández	443
ARCHIVOS MINEROS HISTÓRICOS ADHERIDOS AL SISTEMA ANDALUZ DE ARCHIVOS. EL ARCHIVO MINERO DE LA FUNDACIÓN RÍO TINTO: ARCHIVO HISTÓRICO MINERO DE LA FUNDACIÓN RÍO TINTO AHFRT Y SOCIEDAD FRANCESA DE PIRITAS DE HUELVA SFPH. / M. C. Calderón	459
LOS ARCHIVOS HISTÓRICOS PROVINCIALES COMO FUENTES PARA EL ESTUDIO DE LA MINERÍA / M. C. Calderón	477
FUENTES DOCUMENTALES PARA EL ESTUDIO DE LA MINERÍA EN ANDALUCÍA I. / M. C. Calderón	495
FUENTES DOCUMENTALES PARA EL ESTUDIO DE LA MINERÍA EN ANDALUCÍA II / M. C. Calderón	513
FUENTES DOCUMENTALES PARA EL ESTUDIO DE LA MINERÍA EN ANDALUCÍA III. PATRIMONIO MINERO E INSTITUCIONES DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA: CONSEJERÍA DE CULTURA. / M. Carmen	531
FUENTES DOCUMENTALES PARA EL ESTUDIO DE LA MINERÍA EN ANDALUCÍA IV. LA CONSEJERÍA DE EMPLEO Y LOS CENTROS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES. / M. C. Calderón; J. Carvajal	545
FUENTES DOCUMENTALES PARA EL ESTUDIO DE LA MINERÍA EN ANDALUCÍA V. LOS ARCHIVOS DE LAS ANTIGUAS EMPRESAS MINERAS. LA SOCIEDAD FRANCESA DE PIRITAS DE HUELVA Y SU REGLAMENTO DE RÉGIMEN INTERIOR. / M. C. Calderón	563
SITUACIÓN DE LOS ARCHIVOS MINEROS EN ESPAÑA. EL ARCHIVO HISTÓRICO MINERO DE FUNDACIÓN RÍO TINTO / J. M. Pérez	579
LA METALURGIA DE RIOTINTO DURANTE EL PERÍODO DE SU REHABILITACIÓN (1725-1783) / M. Ortiz; J. C. Fortes; E. Romero; J.M. Dávila; J.J. Prieto.	593
EL FERROCARRIL MINERO DE CALA (HUELVA): APUNTES HISTÓRICOS. / R. Garrido	601
LOS MÉTODOS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA COMO RECURSO PARA LA ARQUEOLOGÍA URBANA E INDUSTRIAL / F. Prat, S. Romero, F. Salguero y F. Moreno	611

EDIFICIOS ROMANOS RELACIONADOS CON LAMINERÍA DE OTERO DE HERREROS (SEGOVIA) / S. Valiente y M. Ayarzagüena	625
ESTUDIO DE MATERIALES DEL YACIMIENTO MINERO DE EL CERRO DE LOS ALMADENES (OTERO DE HERREROS, SEGOVIA). ALGUNAS PRECISIONES CRONOLÓGICAS. / J. Salas; F. Ramos; M. Ayarzagüena	635
EL INICIO DE LA MÁQUINA DE VAPOR Y SU APLICACIÓN A LOS FERROCARRILES DE RIOTINTO / J.C. Fortes; E. Romero; J.M. Dávila; J.J., Prieto y M. Ortiz	647
ROTAE URIONENSIS, LAS NORIAS ROMANAS DE RIOTINTO (HUELVA, ESPAÑA) / A. Delgado y M.C. Regalado	659
MUSEALIZACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO EN RIOTINTO (HUELVA, ESPAÑA) / A. Delgado y M.C. Regalado	677
GUILLERMO SCHULZ, UN DOCUMENTO EN EL OLVIDO: “Croquis provisional de una parte del terreno carbonífero de Asturias con la indicación de los caminos y puertos necesarios para su explotación en grande”. / G. Laine; P. Glez-Pumariega y L. García	695
<b>Sección 4: “Protección Y Valoración”</b>	
AVANCES EN VALORIZACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO DE LA THARSIS SULPHUR & COPPER COMPANY LTD. / A. González; D. J. Carvajal; J. M. Carvajal	705
UN CENTRO MINERO-RECREATIVO EN SOTIEL, HUELVA: UN SUEÑO POSIBLE / F. Carnero	715
LOS VACÍOS DE RIOTINTO. AYER, HOY ¿SIEMPRE? / M. García	727
APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD GEOTÉCNICA DE LOS MINADOS ROMANOS DE <i>LAPIS SPECULARIS</i> CON VISTAS A SU APROVECHAMIENTO TURÍSTICO: LA MINA ROMANA DE LA MORA ENCANTADA DE TORREJONCILLO DEL REY (CUENCA) / L. Jordá, J. C. Guisado, M. Arlandi y R. Jordá	737
UNA EXPERIENCIA PIONERA EN EUROPA PARA LA VALORIZACIÓN DEL PATRIMONIO INDUSTRIAL: EL ECOMUSEO DE LE CREUSOT (BORGOÑA, FRANCIA) / M. C. Cañizares	749
PROCESO DE VALORIZACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO DE THARSIS / J. M. Carvajal y A. Carloni	761
CAMINOS DE HIERRO VERSUS VÍAS VERDES COMO EJE DE UN NUEVO MODELO DE TURISMO EN LA PROVINCIA DE HUELVA / E. Romero, J. C. Fortes y J. L. Gómez	769
MINAS HUÉRFANAS. / G. Martín	785
PROYECTO PARA UN CENTRO DE INTERPRETACIÓN DE LA SAL EN LAS SALINAS DE CABO DE GATA (ALMERÍA, ESPAÑA). / J. del Val	793
CRITERIOS DE RESPONSABILIDAD SOCIAL CORPORATIVA EN LA MINERÍA / C. Vintró	803
LOS SISTEMAS DE GESTIÓN EN LA MINERÍA DE CATALUÑA / C. Vintró	815
UN ACERCAMIENTO AL PAISAJE MINERO ANDALUZ DESDE SU CONSIDERACIÓN COMO PAISAJE CULTURAL / M.I. Alba	825

LA RECUPERACIÓN DE LAS SALINAS DE INTERIOR DE CATALUÑA COMO FUENTE DE DESARROLLO SOCIOECONOMICO LOCAL / C. Mesa; M. Martínez; F. Bascompte y E. Vall	833
CORRALES, DONDE LA MINAY EL RIO SE UNEN AL MAR / E. Molero	847
DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO EN ÁREAS URBANAS: EL MIOCENO DE LA MONTAÑA DE MONTJUIC (BARCELONA) / D. Parcerisa; D. Gómez-Gras; P. Alfonso; J.M. Mata	865
LOS INVENTARIOS DE MINAS ABANDONADAS COMO HERRAMIENTA PARA EL DESCUBRIMIENTO Y SELECCIÓN DEL PATRIMONIO MINERO. EL CASO DE ANDALUCIA. / P. Orche	875
TRABAJOS DE REHABILITACIÓN LOCOMOTORA ELEONORE, CASTRILLÓN, ASTURIAS / G. Laine; I. Fanjul; J. Fernández y L. García	887
<b>Sección 5: “Valores Didácticos”</b>	
UNA APROXIMACIÓN A LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN EL CENTRO DE INTERPRETACIÓN DE PUERTO LOBO, SIERRA DE HUÉTOR (GRANADA) / F. Moreno, R. Rey, J.M. Morales y J.C. Gómez	895
PATRIMONIO E ITINERARIOS MINEROS DE LA COMARCA ANDORRA-SIERRA DE ARCOS: VALORES DIDÁCTICOS INTRÍNSECOS. / A. Pizarro	905
REAPROPIACIONES DE UN ESCENARIO TURÍSTICO: CHILLIDA, TINDAYAY POBLACIONES LOCALES / A. Santana, P. Díaz y A. J. Rodríguez	917
MINERÍA, PATRIMONIO MINERO Y TURISMO: UNA ALIANZA ESTRATÉGICA / D. J. Carvajal y A. González	929
O “ROTEIRO DAS MINAS E PONTOS DE INTERESSE MINEIRE E GEOLOGICO DE PORTUGAL: UMA REALIDADE” / J.B. Lemo; P. Falé	937
PUESTA EN VALOR Y DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO A PARTIR DE ACTUACIONES DE RESTAURACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE ZONAS DEGRADADAS POR LA ACTIVIDAD MINERA EN LA FAJA PIRÍTICA ONUBENSE. / F. J. González	943
NUEVOS ENTORNOS DIDÁCTICOS: INTEGRACIÓN DE LAS TICs EN LOS CENTROS DE INTERPRETACIÓN Y MUSEOS GEOLÓGICO-MINEROS. / D. Ponce	957
EL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO DE LA PROVINCIA DE HUELVA: PROPUESTA DE ITINERARIO TURÍSTICO Y DIDÁCTICO PARA SIETE DÍAS (I-DÍAS 1, 2 Y 3) / R. Garrido y D. J. Carvajal	963
EL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO DE LA PROVINCIA DE HUELVA: PROPUESTA DE ITINERARIO TURÍSTICO Y DIDÁCTICO PARA SIETE DÍAS (II-DÍAS 4 Y 5) / R. Garrido y D. J. Carvajal	971
EL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO DE LA PROVINCIA DE HUELVA: PROPUESTA DE ITINERARIO TURÍSTICO Y DIDÁCTICO PARA SIETE DÍAS (III- DÍAS 6 Y 7) / R. Garrido y D. J. Carvajal	979
PUESTA EN VALOR DE YACIMIENTOS GEO-ARQUEOLÓGICOS: UNA APROXIMACIÓN A LA HISTORIA DE LA MINERÍA EN CATALUNYA / M. Genera	987



# APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD GEOTÉCNICA DE LOS MINADOS ROMANOS DE *LAPIS SPECULARIS* CON VISTAS A SU APROVECHAMIENTO TURÍSTICO: LA MINA ROMANA DE LA MORA ENCANTADA DE TORREJONCILLO DEL REY (CUENCA)

## GEOTECHNICAL APPROACH TO THE STABILITY OF THE GYPSUM ROMAN MINES OF “*LAPIS SPECULARIS*” GYPSUM. THE TOURISTIC DEVELOPMENT OF LA MORA ENCANTADA MINE IN TORREJONCILLO DEL REY (CUENCA PROVINCE)

L. Jordá Bordehore<sup>1</sup>, M.J. Bernárdez Gómez<sup>2</sup>, J. C. Guisado di Monti<sup>2</sup>,  
M. Arlandi Rodríguez<sup>1</sup> & R. Jordá Bordehore<sup>3</sup>.

1): Geoconsult Ingenieros Consultores S.A. (c/ Valentín Beato 24, 4ª - 8B / 28037 Madrid).  
e-mails: l\_jorda@geoconsult.es - m-arlandi@geoconsult.es

(2): Museo Histórico-Minero Felipe de Borbón (ETSI-Minas de Madrid – c/ Ríos Rosas 21 / 28003 Madrid)  
e-mails: mjbernardez@lapisspecularis.org - jcguisado@lapisspecularis.org

(3): Rudnik Ciencias de la Tierra S.L. (c/ De la Cañada 5-A 2º izq. / 28270 Bustarviejo - Madrid)  
e-mails: rafael\_jorda@hotmail.co

### RESUMEN

La actual comunidad de Castilla-La Mancha cuenta con un singular y significativo patrimonio histórico-minero en las antiguas explotaciones mineras romanas de *lapis specularis* o yeso espejuelo. Este distrito minero se localiza en las actuales provincias de Cuenca y Toledo, si bien, es en la provincia de Cuenca, donde se encuentran la mayoría de las minas y de los complejos mineros que lo integran.

Utilizado en época romana principalmente como cristal de ventana para cierre arquitectónico en vanos y ventanales, este recurso minero experimentó un notable dinamismo exportándose a todo el Imperio Romano durante su explotación básicamente en los siglos I y II d.n.e., teniendo como principal coto de producción y calidades a los filones segobrigenses de Hispania.

Hoy en día, los vestigios de esta antigua minería histórica, conforman un legado cultural cuantificado en veinticinco complejos mineros distribuidos en dieciséis municipios castellano manchegos, que junto con sus cientos de minas y pozos, suman un valioso entramado arqueológico relacionado con el ámbito minero, como son las ciudades, poblados, calzadas e infraestructuras dependientes o al servicio de la actividad minera romana que se desarrolló en su momento.

### ABSTRACT

The Castilla La Mancha Community has an outstanding roman mining heritage. The gypsum roman mines are located in Cuenca and Toledo provinces. Gypsum was used for windows. This ore has been exported to the whole Roman Empire mainly in 1st and 2nd centuries. The main mining locality was the surroundings of Segobriga.

Nowadays this mining heritage covers 25 mining areas along 16 towns, with hundreds of adits and shafts. It is an outstanding archaeological site related to mining activities. There are also roman towns, villages, roads, bridges, and civil Works which were related to those activities.

For some years, the team which is studying this roman mining heritage develops a cultural, social and touristic use of some of the sites. The mine named “La Mora Encantada” in Torrejoncillo del Rey, has been chosen as one of the most interesting ones. Some workings such as cleaning and lightening have been accomplished to facilitate the visit through the mine and show the mining activities and geology. A geotechnical report has also been accomplished in order to guaranty the stability of the adit, galleries and chambers. The methodology used in this mine will be extrapolated to other mines to be visited

Desde hace ya unos años, el equipo de intervención e investigación que estudia las minas, lleva desarrollando una serie de actuaciones con objeto de poner en valor y posibilitar el uso social y cultural de los minados romanos como destino turístico. De este modo, en la mina de la Mora Encantada de la localidad conquense de Torrejoncillo del Rey, se han realizado varios trabajos con la finalidad de hacer de la misma una mina visitable para el público, donde pueda explicarse al visitante la actividad minera del *lapis specularis* de época romana, como las características particulares de su geología.

Con tal fin, se han llevado a cabo en el interior del minado el acondicionamiento y la limpieza de la mina, junto a la iluminación eléctrica de la misma y a otra serie de trabajos entre los que destacan los referidos en esta comunicación en relación a la geotecnica.

La intervención geotécnica desarrollada en la Mora Encantada, ha servido para garantizar el soporte y la estabilidad estructural del macizo rocoso donde fue excavada la mina, así como experiencia piloto donde el método, junto a los datos y conclusiones obtenidos, son susceptibles de ser utilizados y extrapolables a otras actuaciones similares a desarrollar en minas y cavidades subterráneas que se pretendan hacer turísticas, y en donde conviene aplicar las medidas correctoras necesarias junto con las suficientes garantías de seguridad.

**PALABRAS CLAVES:** *Lapis Specularis*, Distrito Minero, Indicio Minero, Mina de la Mora Encantada, Yeso Selenítico, Minería de Interior.

**KEY-WORDS:** *Lapis Specularis*, Mining Distric, Mining Sign, Mora Encantada Mine, Selenite Gypsum, Underground Mining.

## INTRODUCCIÓN

«En Hispania la piedra especular se extrae de gran profundidad por medio de pozos; también se la encuentra en el interior de otra roca, bajo tierra, de donde se extrae el bloque entero o se corta, pero, en general, se puede sacar con facilidad, por hallarse aislada en forma de lascas. Hasta ahora, nunca han aparecido piezas mayores de cinco pies de longitud. Es manifiesto que, en dicha área, la humedad de la tierra, a causa de ciertas emanaciones, se endurece y petrifica en forma de cristales». (Plinio el Viejo: *Historia Natural*, XXXVI – 161).

Las minas romanas de *lapis specularis* constituyen un peculiar y particular legado de la actividad minera romana que se gestó en Hispania principalmente en época Imperial. En la Comunidad Autónoma de Castilla - La Mancha, esta herencia del pasado se acredita y documenta en los cientos de minados de este recurso lapídeo que se distribuyen por sus provincias de Cuenca y Toledo y que, junto con los recientemente identificados y descubiertos minados romanos de yeso especular del área de Almería, en Andalucía, forman el conjunto minero de yeso especular que se explotó en España durante la Antigüedad.

Dentro del proyecto de investigación *Cien mil pasos alrededor de Segóbriga* que estudia e interviene en los minados de yeso selenítico y en su patrimonio asociado, se pretende entre otras actuaciones, acondicionar y hacer posible la visita para el gran público de algunas de las minas más significativas y con mejor accesibilidad de los antiguos minados con que cuenta el distrito minero.

Entre las iniciativas ya puestas en marcha, se ha llevado a cabo una serie de actuaciones en la mina romana de La Mora Encantada, situada en la localidad conquense de Torrejoncillo del Rey. Uno de los últimos trabajos en la mina ha sido el estudio geotécnico de la cavidad, como protocolo técnico necesario previo al acondicionamiento de seguridad y a su puesta en valor como recurso visitable. A continuación, desarrollamos los objetivos, método y conclusiones, a los que se ha llegado en el proceso de ejecución del mismo.

### **Objetivo del trabajo**

El espacio subterráneo visitable, especialmente aquel ligado a minas abandonadas, requiere de los adecuados estudios que garanticen su estabilidad. La geotecnia es la disciplina que estudia la interacción entre el terreno o geología y las estructuras que se apoyan o excavan en él. Una cavidad artificial, como estructura que es, requiere que se garantice su estabilidad, y máxime cuando se van a realizar trabajos en ella y posteriormente se pretende el acceso de visitantes a la misma, con la responsabilidad que ello conlleva.

En el presente trabajo se estudia el comportamiento geotécnico del macizo rocoso en el cual se excavó una de las minas romanas de *lapis specularis* más características: La Mora Encantada de la localidad conquense de Torrejoncillo del Rey<sup>1</sup>. Con este primer estudio, se pretende hacer extensivo el trabajo a un gran número de minados.



Figura 1: Acceso a la mina. (mine adit)

El proyecto que aquí se inicia, tras la toma de los datos geológico – geotécnicos en varias minas, intenta establecer unas condiciones geomecánicas tipo (unidades o litotipos). A partir de las clasificaciones geomecánicas y de un modelo constitutivo (Hoek-Brown, 1980), se establecerán las condiciones límite de tamaño de galerías y cámaras, en función de la profundidad y de la calidad de terreno. En estudios y campañas posteriores, se validará este modelo en varios de los enclaves en los cuales se han producido desprendimientos, dolinas y chimeneas, así como verificar la teoría en aquellas zonas que presentan por el contrario elevada estabilidad.

La conclusión final de la investigación que se realizará a lo largo de 2010 – 2011, es dilucidar qué zonas o situaciones pueden entrañar riesgo de colapso o inestabilidades internas sobre todo, en función del tamaño de las cámaras. Igualmente, se pretende establecer un rango de profundidades en las que se corre el riesgo de formación de socavones en superficie.

### **Metodología**

El estudio geotécnico de una Obra Subterránea tiene diferentes grados de detalle según lo avanzado del proyecto, el tipo de uso que se le va a hacer, y como no, del presupuesto o asignación económica disponible. En general, el proceso de estudio de la estabilidad de una cavidad o túnel conlleva los siguientes cálculos o pasos:

1. Elaboración de un modelo geométrico.
2. Elaboración de un modelo geológico – geotécnico.
3. Estudio preliminar en base a clasificaciones geomecánicas.

<sup>1</sup> Nuestro agradecimiento personal a Ana López y Alberto Jordá que nos ayudaron durante los trabajos de campo.

4. Estudio tensodeformacional mediante elementos o diferencias finitas.
5. Estudio de posibles cuñas.

En el caso del estudio preliminar de minas abandonadas, el presupuesto es en general escaso, además de no ser normalmente factible la ejecución de sondeos y pruebas de laboratorio. Por el contrario en estos casos “juega a favor” un hecho muy importante, disponemos de la cavidad ya excavada (Figura 2), luego es más sencillo la toma directa de datos fidedignos y representativos a escala real.

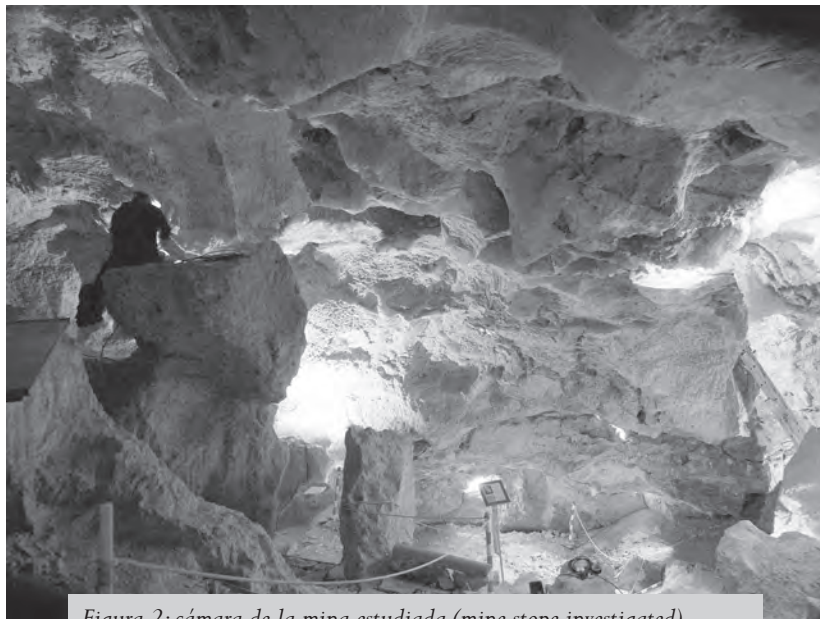


Figura 2: cámara de la mina estudiada (mine stope investigated)

La metodología que se propone está basada en las clasificaciones geomecánicas. Una clasificación geomecánica es una puntuación del macizo rocoso en base a unos criterios preestablecidos, donde es posible a partir de los datos, clasificar el terreno en categorías (las cuales nos dan una idea de la estabilidad del conjunto, variando entre completamente estables a grados mayores de inestabilidad que requieren refuerzos).

Las clasificaciones, del tipo que sean, se basan en unas observaciones de campo ordenadas en ciertos puntos clave de la obra denominadas “estaciones geomecánicas”. Esta metodología tiene además el enorme interés de ser no destructiva, por lo tanto sería ideal para el estudio de cuevas o minas turísticas y zonas de especial delicadeza geológica.

En muchos casos la cantidad de información disponible en el entorno de la mina o cavidad, hace superfluo, y poco operativa, una metodología en base a sondeos y técnicas destructivas.

Se impone pues, en este caso, una metodología no destructiva en base a estaciones geomecánicas, las cuales pueden combinarse donde así se requiera con técnicas de auscultaciones geofísicas para detectar la continuidad de galerías en zonas no accesibles<sup>2</sup>.

### Proceso de análisis

En campo se realizarán medidas mediante brújula tectónica, mientras que la resistencia de matriz y juntas, se determinará mediante el empleo de un esclerómetro (Figura 3). Igualmente, se emplearán tablas y correlaciones tal y como sugiere la ISRM (International Society of Rock Mechanics) para mediciones de campo, especialmente los perfiles JRC de rugosidad de las juntas.

A partir de las estaciones geomecánicas, por un lado se clasificará el macizo



Figura 3: Toma de medidas de resistencia de la matriz rocosa mediante esclerómetro. (Determination of the intact rock Uniaxial Compressive Strength using Schmidt hammer)

<sup>2</sup> A este respecto, las intervenciones de detección geofísica realizadas en las minas romanas de *lapis specularis* de la Mudarra (Huete – Cuenca), entre 2005 y 2006, fueron determinantes en la localización de algunos de los minados, así como en la confirmación de la continuidad y desarrollo de algunas de las minas ya conocidas.

rocoso de acuerdo con los criterios de Bieniawski (RMR) y Barton (Q), de los cuales pueden obtenerse estimaciones sobre vanos máximos y necesidades de sostenimiento. Con estos datos de campo, se establecerá un modelo constitutivo según el criterio de Hoek-Brown para el macizo rocoso y será el empleado posteriormente en los cálculos tenso deformacionales.

Dada la irregularidad general de los minados, lo más operativo es emplear métodos numéricos en 2D (diferencias o elementos finitos) en este caso particular, el programa Phases de la casa Rocscience. Mediante estos métodos se estudiara la concentración de tensiones alrededor de la cavidad, así como zonas tensionadas. También es posible evaluar la cubeta de asientos, así como establecer las condiciones de cobertera a partir de las cuales resulta inestable la cavidad y pueden desarrollarse dolinas.

### *Clasificaciones geomecánicas en la mina de La Mora Encantada*

Clasificar geomecánicamente una masa o macizo rocoso, consiste en otorgarle una puntuación según una metodología o criterio preestablecido. Una vez puntuado el macizo, se “sitúa” dentro de una categoría de entre varias existentes, en función del rango de puntuación. Cada una de estas categorías, se puede traducir en una serie de recomendaciones sobre longitud de pase, tiempo de estabilidad de los vanos, necesidades y tipos de sostenimiento, etc.

En el caso que nos ocupa, se ha seleccionado la metodología RMR de BENIAWSKY y Q de BARTON para la parte subterránea.

*“Las clasificaciones geomecánicas surgieron de la necesidad de parametrizar observaciones y datos empíricos, para evaluar medidas de sostenimiento de túneles. (...) Se puede decir que hoy día las clasificaciones geomecánicas son un método de uso generalizado en el proyecto y construcción de túneles. Las clasificaciones geomecánicas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y de aquí estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel.”(GONZÁLEZ VALLEJO et al., 2002).*

La gran aportación de estas clasificaciones ha sido la de parametrizar y establecer un lenguaje común entre geólogos, ingenieros y constructores. En el caso de las minas, las clasificaciones y en especial los estadillos de trabajo, deben de estar en cierto modo pre-diseñados o pre-establecidos para las características propias del entorno: fracturas según una única familia (modelos de capas), cuñas, zonas de intensa fracturación, fallado y circulación de agua, emboquilles, etc.

### *Clasificación geomecánica Q*

Esta clasificación fue desarrollada por BARTON, LIEN y LUNDE en 1974. Está basado en la evaluación numérica de seis parámetros dados por la expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

- RQD: Rock Quality Designation: es el índice de calidad de la roca, uno de los parámetros más relevantes en mecánica de rocas.
- J<sub>n</sub> es el índice de diaclasado, e indica el grado de fracturación del macizo rocoso.
- J<sub>r</sub> es el índice de rugosidad de las discontinuidades.
- J<sub>a</sub> es el índice de alteración de las discontinuidades.
- J<sub>w</sub> es un coeficiente reductor por presencia de agua.
- SRF o “Stress reduction factor” es el coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso.

Estos valores están reflejados en unas tablas que figuran en la literatura (por ejemplo en CORNEJO y SALVADOR, 1996).

Para diseñar el sostenimiento a instalar, Barton utiliza las dimensiones de la excavación a realizar y el tipo de uso que se va a dar a la obra (ESR) para definir la “Dimensión Equivalente” ( $D_e$ ) de la excavación.

$$D_e = \frac{B}{ESR}$$

Donde B es la anchura de la excavación (m), y ESR es un parámetro función del nivel tensional que se obtiene de la tabla mostrada a continuación en función del uso que se vaya a dar a la excavación.

TIPO	DESCRIPCIÓN	ESR
A	Minas abiertas temporalmente	3 - 5
B	Pozos verticales	2,5 - 2
C	Minas abiertas permanentemente. Túneles hidroeléctricos. Túneles piloto y galerías de avance para grandes excavaciones	1,6
D	Cavernas de almacenamiento. Plantas de tratamiento de aguas. Túneles pequeños de carretera y ferrocarril	1,3
E	Centrales eléctricas subterráneas. Túneles grandes de carretera y ferrocarril. Cavernas de defensa civil. Boquillas e intersecciones	1
F	Centrales nucleares subterráneas. Estaciones de ferrocarril. Pabellones deportivos y de servicios	0,8

Tabla 1: Valoración del parámetro ESR. (Valuation of parameter ESR.)

Esta dimensión, junto al número Q, sirve para definir nueve categorías de sostenimiento, basándose en pernos de anclaje repartido, hormigón proyectado reforzado con fibra de acero y cerchas de acero. Toda esta información, se ha resumido en un ábaco (CORNEJO y SALVADOR, 1996).

### Clasificación geomecánica RMR

Fue desarrollada en Sudáfrica por BENIAWSKI en 1973, y posteriormente revisada por el mismo autor en 1976 y 1979, siendo la última de ellas la de 1989. Permite relacionar los índices de calidad con parámetros de diseño. La clasificación tiene en cuenta como principales los parámetros siguientes:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciados de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

Los cinco primeros constituyen el denominado RMR básico. La incidencia de estos parámetros se expresan mediante un índice llamado “Rock Mass Rating”: RMR que varía de 0 a 100. Para aplicar la clasificación RMR, se divide el macizo a lo largo del eje del túnel o mina en tramos que tengan unas características geológicas más o menos uniformes.

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
VALORACIÓN	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

Tabla 2: Clases de según la puntuación del RMR. (Classes of according to the score of the RMR.)

## RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MINA DE LA MORA ENCANTADA

Sumando	Puntuación	Justificación
RMR 1: RCS	4	Resistencia a compresión simple variable entre 18 y 42 MPa Obtenidas a partir del esclerómetro.
RMR 2: RQD	20	RQD mayor de 90%. Priest y Hudson: $\lambda = 10 \text{ juntas}/2,20 \text{ m} = 4,54$ RQD = $100 e^{-0,1 \lambda} (0,1 \lambda + 1) = 92,34\% \rightarrow$ Parece algo elevado sin embargo los yesos presentan una elevada recuperación y caso de una escasa fracturación se obtienen una mayoría de testigos de más de 10 cm.
RMR 3: espaciado juntas	15	1 a 2 m.
RMR 4: estado juntas	27	Continuidad 1 a 2 m $\rightarrow$ 4 puntos. Apertura: No $\rightarrow$ 6 puntos. Rugosidad: muy elevada JRC entre 8-10 y 14- 16, A gran escala ondulada $\rightarrow$ 5 – 6 puntos. Meteorización de las juntas: ligeramente descolorida GMI $\rightarrow$ 6 puntos. Relleno: No $\rightarrow$ 6 puntos.
RMR 5: presencia de agua	15	Seco.
<b>RMR<sub>básico</sub> = <math>\sum RMR_i</math></b>	81	Por lo tanto: Clase I a II de Bieniawski: Muy buena a buena.

Tabla 3: Puntuación del RMR en la mina de La Mora Encantada (Score of the RMR in the mine of La Mora Encantada.)

Factor de Barton	Valor	Justificación
RQD	92,34	Determinado mediante Priest y Hudson
Jn	4- 9	Difícil de estimar: 2 o 3 familias de diaclasas
Jr	1,5	Diaclasas planas, rugosas e irregulares
Ja	2	
Jw	1,0	seca
SRF	1	Justificación tensiones: $\sigma_c/\sigma_1$ $\rightarrow \sigma_c \approx 28 \text{ MPa}$ $\sigma_c \text{ mass} = 6 \text{ (Hoek) MPa}$ $\rightarrow \sigma_1 = \sigma_v = 26 \text{ KN/m}^3 * 20 \text{ m} = 530 \text{ KPa} = 0,53 \text{ MPa}$ $\rightarrow \sigma_c \text{ mass}/\sigma_1 = 6/0,5 = 12$ luego rango tensiones medias SRF = 1
Q	<b>Q<sub>max</sub> = 17,25</b> <b>Q<sub>min</sub> = 7,67</b>	

Tabla 4: Puntuación del índice Q en la mina romana de La Mora Encantada (Score of index Q in the Roman mine of the Mora Encantada)

Para definir el grado de estabilidad o tipo de sostenimiento a partir del índice Q, se requieren dos parámetros: Diámetro equivalente del túnel y ESR (Excavation support ratio), así como el valor de Q. Podemos afirmar que las minas y cuevas visitables, deben de enmarcarse en la categoría ESR = 0,8. Considerando la Q media y un De de 6 m la cámara es estable. Sin embargo, si se considera solamente el valor mínimo, y aunque pudiera pecarse de excesivamente conservador, la cámara requeriría algún refuerzo.

Si no se llevase a cabo estudios de mayor detalle y una adecuada supervisión, habría que reforzar o bien limitar el paso bajo los vanos. Sin embargo, un cálculo mediante elementos finitos, permite ir más allá en la modelización y poder ajustar más el Factor de Seguridad del estudio. Por otro lado, no se considera adecuado un estudio de cuñas, debido a que no aparecen familias predominantes de juntas.

### *Cálculo tenso deformacional*

Se empleará para modelizar la envolvente de rotura del material el Criterio Generalizado de Hoek y Brown, es un criterio de rotura empírico que establece la resistencia del macizo rocoso en función de las tensiones principales mayor y menor. En general, es aplicable a macizos rocosos isótropos, que en la práctica se traducen a macizos “intactos” o muy poco fracturados (donde empleamos la formulación de 1980), o por el contrario, muy fracturados, más de cuatro familias de fracturas semejantes, y teniendo muy de cerca el factor escala.

MINA DE LA MORA ENCANTADA	Parámetro	Valor	Fuente
<b>Parámetros de entrada</b>	RCS ó $\sigma_{ci}$	28 MPa	Esclerómetro
	Peso específico $\gamma$	26 KN/m <sup>3</sup>	Bibliografía
	GSI	73	Correlación con RMR y apreciación visual GSI
	$m_i$	10	Librería programa RocData
	Factor D	0	Excavación manual (cuidada)
<b>Resultados criterio H-B</b>	$\sigma_t$ (macizo)	-0.365644 MPa	
	Em	19887.4 MPa	
<b>Ajuste Mohr Coulomb</b>	Rango de ajuste (general- túneles)	H = 20 m Carga litostática: $\sigma_v = \sigma_z = \gamma \cdot h = 530$ KPa	
	C	2.129 MPa	
	$\varphi$	37.14 °	
K0 = 0,5 (estimación)			

Tabla 5: Estimación de los parámetros del macizo rocoso a partir de la hoja de cálculo Rocdata  
(Estimation of the parameters of the rocky bulk from the spreadsheet Rocdata.)

### *Cálculo mediante elementos finitos –bidimensional*

Los cálculos se han efectuado con el programa comercial Phases2 V.6, que opera mediante el método de elementos finitos. Con este programa se han realizado cálculos bidimensionales que modelizan las diferentes fases constructivas. Phase2 puede modelizar diferentes modelos de rotura como: Cam-Clay, Cam-Clay modificado, y Duncan-Chang para aplicaciones de suelos; Hoek-Brown, Hoek-Brown generalizado para el análisis de la resistencia de los macizos rocosos, y Mohr-Coulomb, el cual puede ser modificado en función de la profundidad.

### *Sección modelizada y estudiada*

Se ha tomado como modelo de cálculo la sala de mayores dimensiones de la mina (Figuras 2 y 4), situada a la “entrada” y al comienzo de la misma. Además, los riesgos geotécnicos más importantes de estas grandes cámaras radican en posibles subsidencias y dolinas cuando están próximas a la superficie. La sala presenta algunos bloques



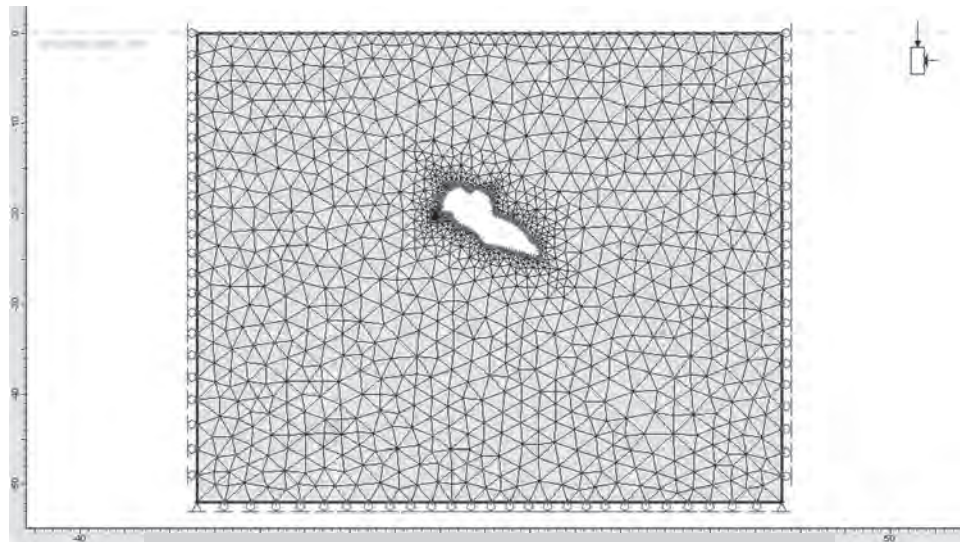


Figura 4: Malla de cálculo para elementos finitos. (Finite element grid)

caídos en tiempos pretéritos y se encuentra a una profundidad media de unos 20 m, con una disposición irregular, siendo el ancho máximo de la sala de unos 7 m y su altura de 9,6 m.

Como condiciones de contorno y simular la realidad, se limitan los desplazamientos en las esquinas del perímetro discretizado (Figura 4). La superficie del terreno es libre de sufrir desplazamientos verticales y horizontales, mientras que los bordes verticales, sólo pueden desplazarse en sentido vertical, de igual manera el fondo discretizado, sólo puede moverse en sentido horizontal.

El factor de seguridad mínimo del terreno está en el entorno de 1,30 con los criterios establecidos y en zonas muy concretas de la excavación. En general está en el entorno de 2 o muy superior. En cuanto a los desplazamientos máximos en el vano, estos son del orden de 0,00036 m (0,36 mm), es decir, despreciables (Figura 8).

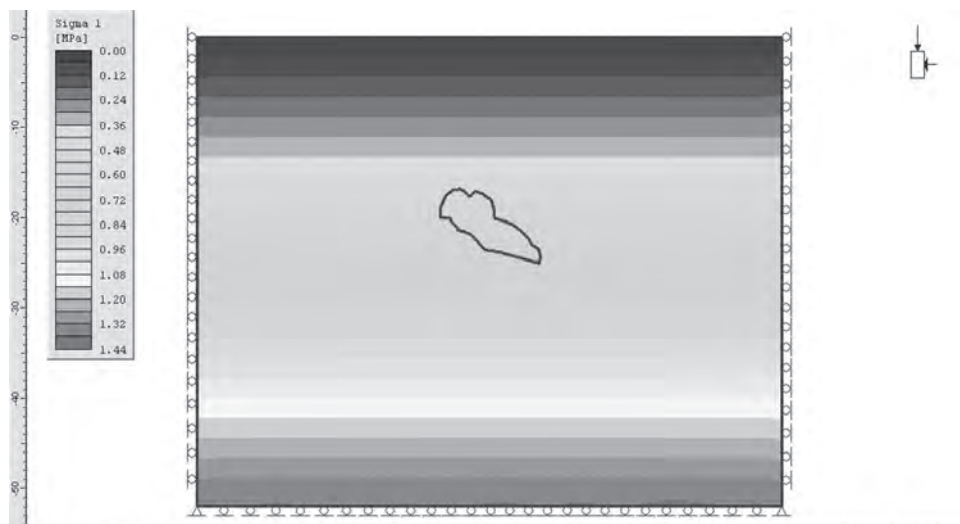


Figura 5: Estado de la tensión principal mayor (sigma 1) en la fase inicial. La tensión principal mayor coincide con la carga litostática. Se ha supuesto una  $\sigma_h = \sigma_v * K_0$  donde  $K_0$  es 0,5. (Major principal stress in first stage is assumed to be the lithostatic.  $K_0 = 0,5$ )

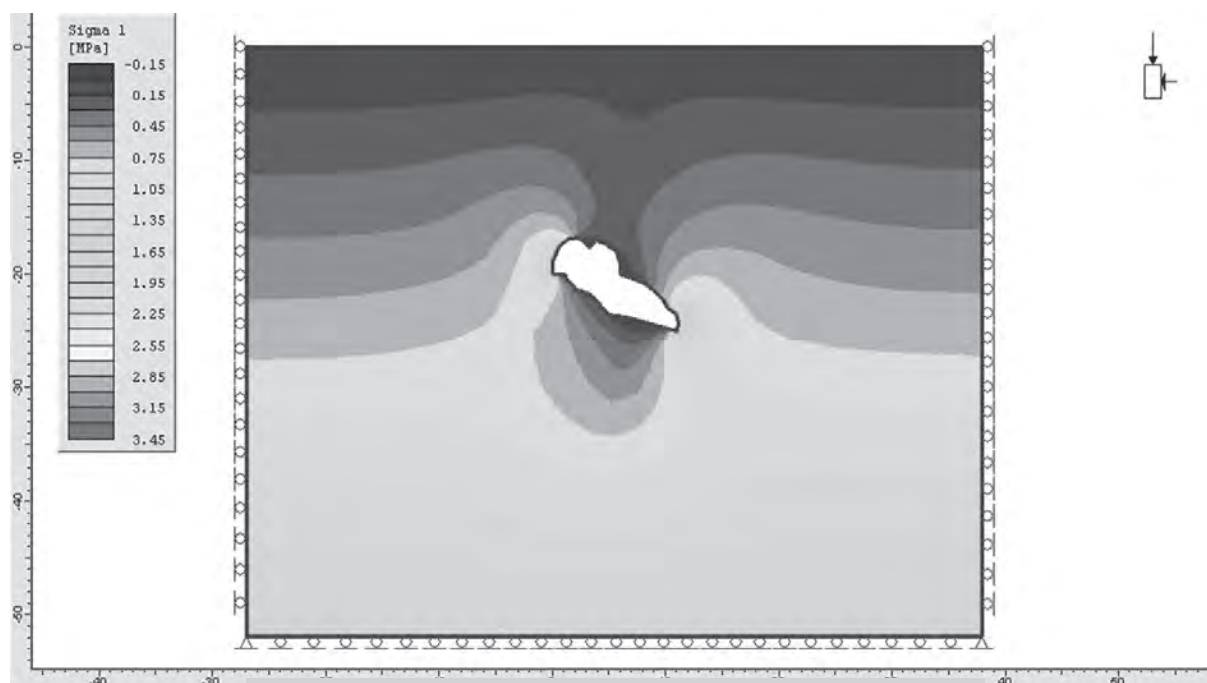


Figura 6: Fase 2 y final del cálculo: excavación de la cavidad, resultado final sin fases constructivas. (Second and last stage in the model: slope excavation)

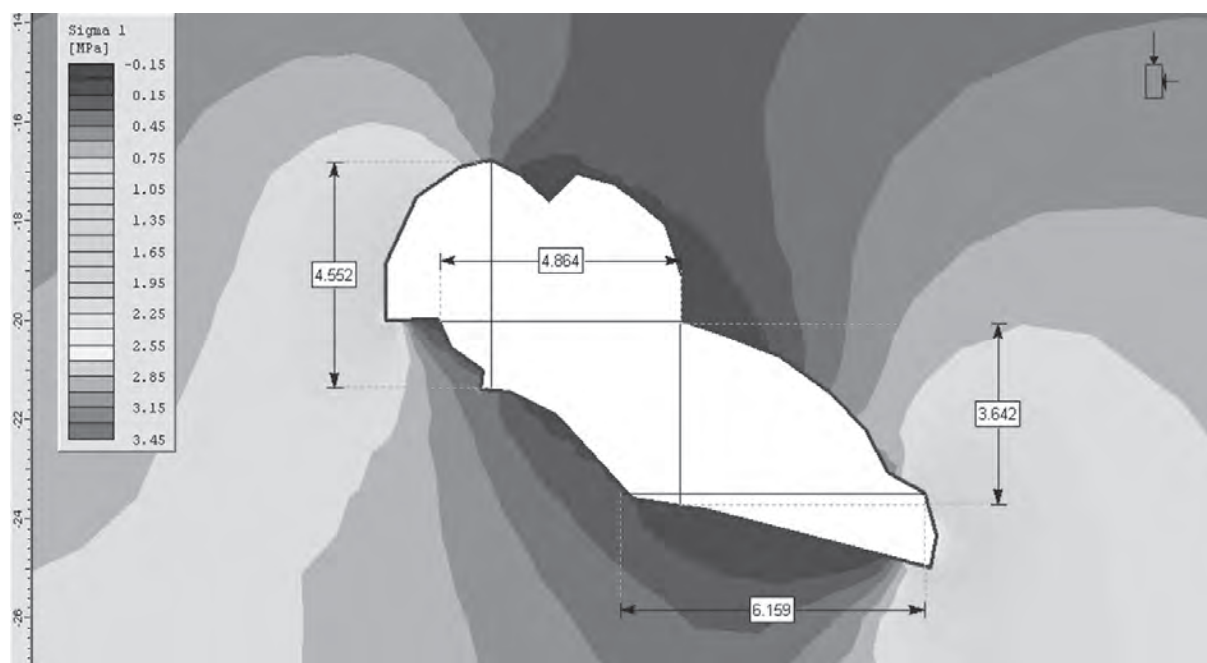
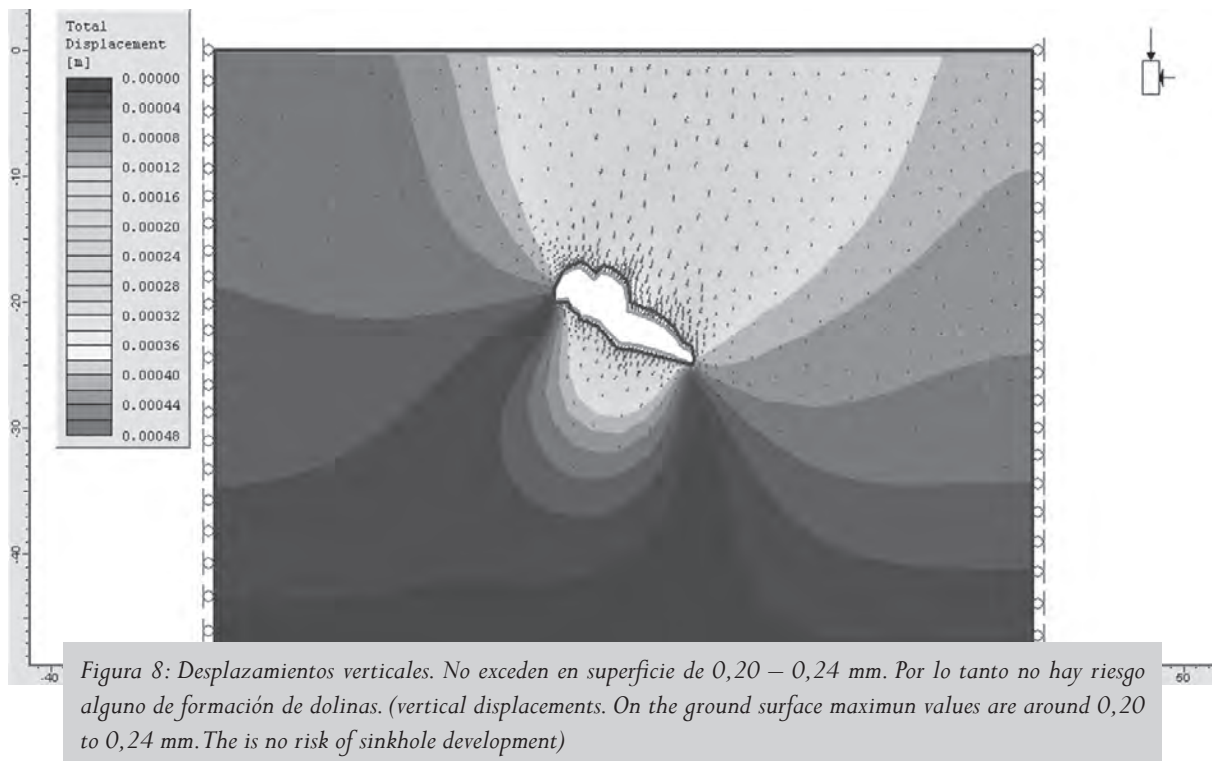


Figura 7: Sobre estas líneas dimensiones de la Sala. La leyenda de la izquierda es la tensión principal máxima. Fuera del contorno de la cavidad se sitúa en 0,5 a 1,0 MPa. En las proximidades de la excavación se produce una concentración de tensiones en algunos puntos, llegando a 2 MPa mientras que en clave se producen distensiones de hasta  $-0,15$  Mpa (tracciones). (Stope width. Legend on the left is major principal stress. Outside the stope sigma 1 is between 0,5 and 1,0 MPa. Around the stope stress concentration develops and sigma 1 rises to 2 MPa in some parts, while in the roof tractions of  $-0,15$  MPa are found)



## CONSIDERACIONES FINALES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Según se desprende del estudio de las clasificaciones geomecánicas, como del modelo tenso deformacional, la cavidad es estable y se encuentra en régimen elástico. Como cabría esperar de una mina histórica abierta hace 2000 años, es frecuente que las mayores inestabilidades hayan progresado hacia colapsos, manteniéndose estables las minas en mejores condiciones. Conviene sin embargo verificar posibles desprendimientos y desconchones en los mayores vanos de la mina, especialmente en zonas donde algunos cambios en las condiciones ambientales, puedan hacer empeorar los parámetros geotécnicos. Por su parte las galerías mineras más pequeñas y estrechas, poseen lógicamente un factor de seguridad muy elevado.

Dados los movimientos tan pequeños producidos por el terreno en su estabilización, no se producirá ningún tipo de socavón o dolina. Resulta interesante validar estos modelos matemáticos y parámetros del litotipos en minas romanas cercanas donde se hayan producido colapsos, y de esta forma, establecer un ábaco que establezca los vanos máximos y las profundidades mínimas, a partir de las cuales evolucionan o han evolucionado las inestabilidades geotécnicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bieniawski, Z.T. (1973) *Engineering classification of jointed rock masses*. Trans South African Institute of Civil Engineers 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T. (1976) Rock mass classification in rock Engineering. En: Exploration for rock Engineering, proc. Of the symp. (Ed. Z.T.Bieniawski) 1, 97-106 Cape Town, Balkema
- Bieniawski, Z.T. (1979) The geomechanics classification in rock Engineering applications, Proc. 4th congress Int.Soc.Rock Mech. Montreux 2, 41-48
- Bieniawski, Z.T. (1989) *Engineering rock mass classifications*. Wiley, New York.
- Cornejo Álvarez, L., y Salvador Martínez, E. 1996. *Manual de túneles interurbanos de carretera*. Ed. Gobierno Vasco, Departamento de Transportes y Obras Públicas. 211 pp.
- González de Vallejo, et al. 2002. *Ingeniería Geológica*. Ed. Pearson Educación, Madrid, 715 pp.

